

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет (ННІ) КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
конструювання машин і обладнання
_____ проф. В.С. Ловейкін
« ____ » _____ 2025 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему: РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ МАНІПУЛЯТОРА НА
ТРАНСПОРТНОМУ ЗАСОБІ

Спеціальність 133-Галузеве машинобудування

Гарант освітньої програми

д.т.н., проф. _____

Булгаков В.М.

Керівники бакалаврської кваліфікаційної роботи

д.т.н., проф. _____

Ловейкін В.С.

к.т.н., асистент _____

Кадикало І.О.

Виконала _____

Сябрук Марина Сергіївна

Київ – 2025

Додаток Д

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (ННІ) КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Конструювання машин і обладнання

д.т.н., проф

Ловейкін В.С.

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

— ” — 2025р.

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Сябрук Марина Сергіївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 133- Галузеве машинобудування

(код і назва)

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи _____

Розрахунок конструкції маніпулятора на транспортному засобі

затверджена наказом ректора НУБіП України від —46— грудня 2024р. № 2265-Є”

Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру _____

27.05.2025

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи

Перелік питань, які потрібно розробити:

Перелік графічних документів (за потреби) _____

Дата видачі завдання —3— лютого 2025р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

Ловейкін В.С.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Кадикало І.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняла до виконання _____

Сябрук М.С.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	6
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ	10
1.1. Види маніпуляторів	10
1.2. Платформи, на яких розміщуються ПР	16
1.3. Види захватних пристроїв.....	27
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ	36
2.1. Розрахунок грейфера на стійкість	36
2.2. Розрахунок сил, які діють на ківш при зачерпуванні.....	43
2.3. Розрахунок грейфера одноканатного	44
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ	57
3.1. Загальні вимоги з охорони праці.....	57
3.2. Вимоги, щодо використання обладнання.....	59
3.3. Безпека під час вантажно-розвантажувальних робіт.	61
3.4. Мінімальні вимоги безпеки при використанні засобів індивідуального захисту.....	63
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ	66
4.1. Загальні положення.....	66
4.2. Розрахунок вартості капітального бюджету	67

					<i>01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Сябрук М.С.</i>			<i>Зміст</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Кадикало І.О.</i>					4	79
						<i>НУБіП України</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Ловейкін В.С.</i>						
<i>Затверд.</i>								

4.3. Річні розрахунки продуктивності, машино-годин та експлуатаційних витрат.....	68
4.4. Рентабельність та строк окупності.....	72
ВИСНОВОК	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	78

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

РЕФЕРАТ

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему: «Розрахунок конструкції маніпулятора на транспортному засобі» – складається з чотирьох (4) розділів, що розміщені на сімдесяти дев'яти (79) сторінках друкованого тексту, вісімнадцяти (18) рисунків, семи таблиць (7), висновку, двадцяти восьми (28) літературних джерел, додатків та графічної частини.

Пояснювальна записка бакалаврської кваліфікаційної роботи містить наступні розділи:

- вступна частина;
- огляд і аналіз існуючих конструкцій;
- розрахунок конструкції;
- охорона праці;
- техніко-економічні показники.

Грейферні захватні пристрої на мобільних платформах відіграють ключову роль у сучасних технологічних процесах забезпечуючи ефективну роботу. Поєднання високої маневреності та гнучкості дозволяє автоматизувати операції у різних сферах.

Основні сфери застосування включають:

- Будівельна галузь: навантаження та переміщення сипких матеріалів, прибирання будівельного сміття;
- Логістика та порти: вивантаження суден, барж, вагонів;
- Металургія: переміщення шлаків, брухту, коксованого вугілля;
- Гірничо-добувна промисловість: збирання та навантаження руди;
- Муніципальна сфера: прибирання побутових та негабаритних відходів у міських умовах.

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Сябрук М.С.			Реферат	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Кадикало І.О.					6	79
Н. Контр.		Ловейкін В.С.				НУБіП України		
Затверд.								

Особливу увагу приділено сільському господарству, де грейферні ЗП є ефективним засобом механізованого оброблення значних обсягів органічної і неорганічної маси. Основні напрями використання:

- Складування та переміщення гною та силосу;
- Оброблення компосту та біомаси;
- Завантаження кормових сумішок;
- Очищення зрошувальних каналів, водойм;
- Збирання коренеплодів та овочевих відходів.

Ключові слова: грейфер, захватний пристрій, мобільна платформа, матеріали, навантаження, механізація, сільське господарство.

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасне виробництво не обходиться без використання автоматизованих систем і маніпуляторів. Один із найпоширеніших видів – це грейферний захватний пристрій, який широко використовується в машинобудуванні, сільському господарстві, металургії, будівництві та в багатьох інших сферах промисловості.

Із-за високого рівня сезонного навантаження важливим аспектом є створення обладнання, яке буде працювати безперебійно в інтенсивному режимі. Грейфер забезпечує легке та швидке переміщення матеріалів, таких як гній, солома, комбікорм, що буде актуальним при обслуговуванні різних комплексів.

Самі грейферні захватні механізми можуть бути використані як і в екскаваторах, так і в портових кранах, металургійних маніпуляторах, сільськогосподарських навантажувачах, та ін. Вони є важливою складовою для автоматизації виробничих процесів у машинобудуванні. Таке широке застосування вони досягли завдяки своїй універсальності, високій продуктивності та можливості роботи у тяжких умовах. Вірно підібраний розрахунок конструкції забезпечить ефективність при застосуванні, та безпеку експлуатації.

Для аграрної промисловості розробка грейферів є важливим напрямом, оскільки ефективність конструкції маніпулятора залежить від характеристик та можливостей адаптації до різних умов експлуатації. Сучасні вимоги передбачають високу точність, швидкість, енергоефективність та безпеку, що потребує всебічного технічного обґрунтування, точних розрахунків та правильності проектування.

					<i>01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Сябрук М.С.</i>			<i>Вступ</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Кадикало І.О.</i>					8	79
						<i>НУБіП України</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Ловейкін В.С.</i>						
<i>Затверд.</i>								

Тема дипломної роботи обумовлена потребою у вдосконаленні конструкції з метою підвищення витривалості конструкції, ефективності та надійності для оптимального виконання завантажувально-розвантажувальних робіт. Із сучасним використанням методів проектування геометричні параметри пристрою та стабільна робота в умовах підвищених навантажень буде оптимізованою.

Метою даного дослідження є розрахунок грейферного захватного пристрою, що дозволить обґрунтувати вибір оптимальної конструкції та забезпечити її ефективне використання в промисловості, зокрема в галузевому машинобудуванні.

Дане дослідження має зробити вагомий внесок у загальний розвиток мехнізації сільського господарства. Актуальність, практична спрямованість та новизна роботи визначають її значимість для сьогодення і для подальшого розвитку аграрної галузі.

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ

1.1. Види маніпуляторів

В процесі еволюції робототехніки поняття «промисловий робот» постійно мінялось та перетворювалося, тому в різній літературі існують різні визначення.

Згідно з визначенням міжнародної організації стандартів (ISO), промисловий робот – це автоматизована машина, стаціонарна або пересувна, яка складається із виконавчого пристрою у вигляді маніпулятора з декількома ступенями вільності та програмованого пристрою програмного керування для виконання у процесі роботи рушійних та управляючих функцій. Останньою ланкою виконавчого пристрою є захватний пристрій, який дозволяє тримати різні інструменти, деталі або прилади.[1]

Розглянемо термінологію, для загального розуміння та ознайомлення:

Промисловий Робот (ПР) – це автономний пристрій, яка складається із виконавчого пристрою у формі маніпулятора (характеризується кількома ступенями рухомості) із перепрограмованим пристроєм програмного керування (виконання функцій руху та управління, спрямованих на оптимізацію процесів).

Маніпулятор – це керований пристрій (або машина) для виконання рухових функцій (імітація рухів людської руки), оснащений робочим органом.

Конструкція маніпулятора являє собою багатоланковий механізм із ступенем рухомості (від 3-х до 9-ти) з поступальними чи обертальними ланками, що закінчується робочим органом у виді захоплювача. [2]

					<i>01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Сябрук М.С.</i>			<i>Огляд і аналіз існуючих конструкцій</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Кадикало І.О.</i>					10	79
<i>Н. Контр.</i>		<i>Ловейкін В.С.</i>				<i>НУБіП України</i>		
<i>Затверд.</i>								

Історія розвитку ПР умовно налічує 3 історико-технічні покоління:

Перше покоління ПР. Це покоління роботів було в основному механізовані маніпулятори із жорстко програмованими діями, які не мали здатності реально контролювати виконання завдань та не були інтегровані із зовнішнім середовищем. Вони були оснащені базовим обладнанням, а сервоконтролери відсутні. Особливістю є сильний шум, який виникав, коли їхні ЗП стикалися з механічними опорами, також виникали клацання, удари при зіткненні. Приводи майже всі були пневматичними, що обмежувало точність. Основними задачами були прості логістичні операції: завантаження-розвантаження, подача заготовок, маніпуляції без складної логіки. Вони функціонували без врахування варіацій об'єкта чи оточення. Це були системи «одного завдання», жорстко прив'язані до структури конкретного виробництва. (рис.1.1)

Друге покоління ПР. Промислові роботи другого покоління були базовими програмованими машинами з частковими можливостями само адаптивної поведінки та елементарними функціями розпізнавання зовнішнього середовища. Ці системи вже використовували сервоприводи, сервоконтролери які дозволяли їм виконувати як точкове позиціонування, так і контурний рух. Їх система керування складалася з мікропроцесорів або програмованих логічних контролерів, які могли бути програмовані оператором через панель управління. Ці роботи могли виконувати більш складні завдання, але їхня універсальність залишався обмеженою, оскільки програмне ядро створювалось для кожного робота окремо не зважаючи вже про виконання якихось завдань, на них також треба було писати окрему програму. Таким чином, ці роботи виявилися пристроями, призначеними для конкретного застосування, було дуже важко використовувати одного робота

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для різних завдань, оскільки це вимагало б модифікації контролера та перепрограмування ПЗ і ПЛК. (рис.1.2)

Третє покоління ПР. Роботи третього покоління є високотехнологічними системами, які втілюють у собі взаємодію як з оператором, так і з навколишнім середовищем. Вони здатні не лише точно виконувати рухові операції, а й самостійно реагувати на зміну ситуації та адаптувати дії відповідно до реального часу. Ці роботи були забезпечені більш складною інформаційною базою. Їх можна було програмувати і в режимі он-лайн, і в режимі офлайн, що дозволяло використовувати мову найкращого рівня для написання програм. Можливість програмувати офлайн розширила можливості самих роботів: вони можуть опрацювати дані з датчиків і змінювати свої рухи відповідно до того, що відбувається навколо. Крім того, діагностичні можливості можуть бути значно покращені: ці роботи роблять не тільки аналіз на виявлення несправностей, але й ідентифікують про місцезнаходження несправності та її тип. Важливою особливістю є також наявність певних адаптивних інтелектуальних здібностей. Ці можливості залучаються для виконання більш складніших завдань, використовуючи інформацію, що надходить від систем технічного зору або сприйняття, для локалізації об'єктів і управління їхньою поведінкою відповідно до поставлених цілей. (рис.1.3) [3]

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис.1.1. Робот першого покоління
Unimate



Рис.1.2. Робот PUMA другого
покоління



Рис.1.3. Робот третього покоління ABB Flex-Pitcher

Для коротшого і легшого ознайомлення з поколіннями роботів можна ознайомитися із таблицею 1.1.

Таблиця 1.1. Покоління роботів-маніпуляторів.

Роботи першого покоління	Роботи з жорстким програмним керуванням
Роботи другого покоління	Адаптивні роботи (ті, які пристосовуються)
Роботи третього покоління	Інтелектуальні роботи

Конфігурацію робочої зони ПР визначають його внутрішнім механізмом (кінематична схема) і системою координат, в якій працює маніпулятор ПР.

Розрізняють такі види систем координат роботів:

- декартова;
- сферична;
- кутова, розглянемо їх.

Декартова система характеризується рухом об'єкта до цільової точки вздовж прямих ліній ПР по двох (плоска прямокутна) чи трьох (просторова прямокутна) взаємно перпендикулярних напрямках X, Y, Z . (рис.1.4, а,б)

Плоска сферична система визначається переміщенням об'єкта маніпулювання в 1 площині координат, відповідно до напрямків радіус-вектора R і кута φ . (рис.1.4, в)

Циліндрична сферична система описує рух об'єкта в площині координат, відповідно напрямків радіус-вектора R і кута φ , але додатково враховує вісь Z , яка є перпендикулярною цій площині. (рис.1.4, г)

Сферична система визначається рухом об'єкта до точки в просторі, представленому радіус-вектору R , а також кутових поворотів φ і Θ цього радіуса що відбувається у 2 взаємо перпендикулярних площинах. (рис.1.4, д)

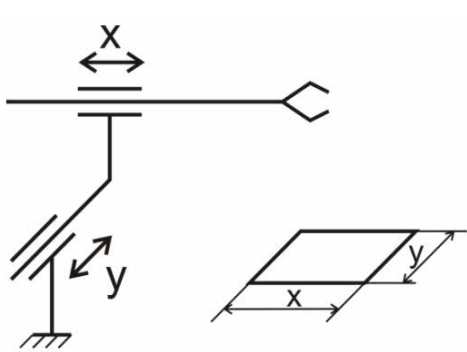
Кутова система характеризується тим, що переміщення об'єкта в напрямку радіус-вектора реалізується через відносні кутові оберти ланок руки ПР, кожна з яких має постійну довжину.

Плоска кутова система – рух в межах однієї площини, за рахунок кутових Θ і Ω поворотів ланок. (рис.1.4, е)

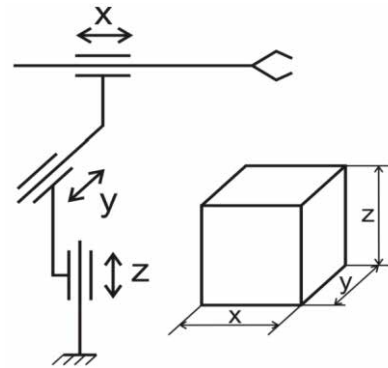
Циліндрова кутова система – рух в одній площині за рахунок обертів кутових Θ і Ω ланок і в площині, перпендикулярній по осі Z . (рис.1.4, є)

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

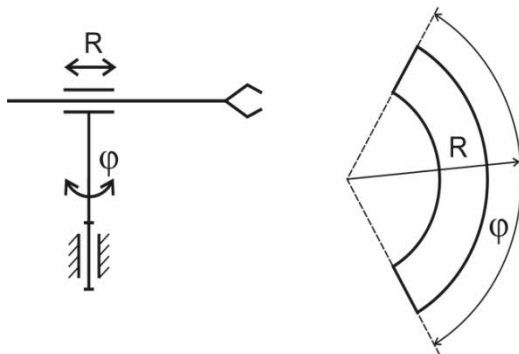
Сферична ангулярна система – просторовий рух за рахунок кутів Θ , Ω_1 і Ω_2 поворотів ланок, одна з ланок обертається в площині, що перпендикулярна до площини повороту іншої. (рис.1.4, ж) [2]



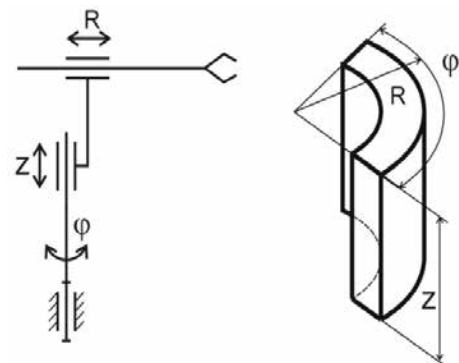
а)



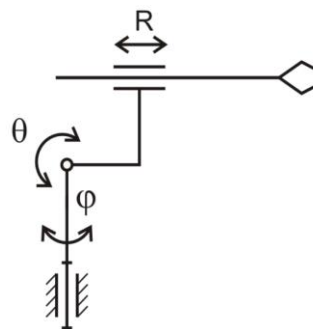
б)



в)



г)



д)



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ

Арк.

15

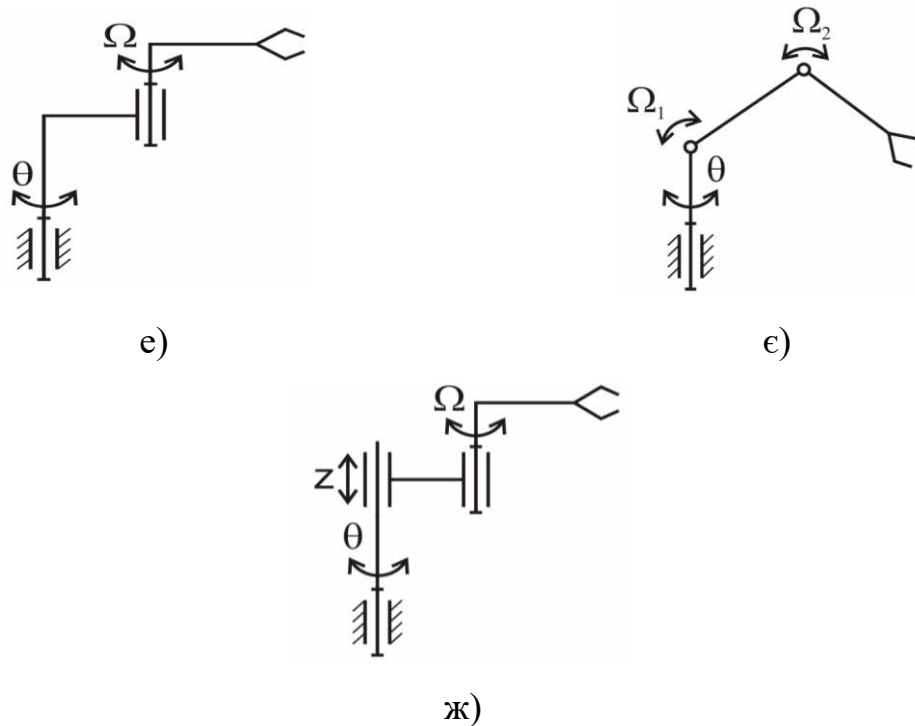


Рис.1.4. Види робочих зон ПР: а – плоска декартова; б – просторова декартова; в – плоска сферична; г – циліндрична сферична; д – сферична: е - ангулярна плоска; є - ангулярна циліндрична; ж – ангулярна сферична.

1.2. Платформи, на яких розміщуються ПР

До категорії ПТМ належать агрегати і механізми, основною функцією яких є маніпуляції з підйоманням і переміщенням вантажів на невеликі відстані, на відміну від дальнього транспорту (залізничного, автомобільного, водного і повітряного), призначеного для логістики вантажу на великі дистанції. Протягом всієї історії розвитку людства його виробнича діяльність безперервно була пов'язана з процесом підняття і переміщення вантажів. Результатом тому є те, що люди постійно прагнули удосконалити наявні підймальні пристрої та розробити нові рішення, спрямовані на підвищення функціональності. [7]

Розглянемо види, та проведемо аналіз існуючих платформ призначених для інтеграції ПР.

- Автомобільні шасі

Одним із поширених варіантів розміщення є встановлення маніпулятора на вантажному автомобілі. Це забезпечує високу мобільність та одзволяє ефективно використовувати техніку в різноманітних галузях, включаючи машинобудування, будівельну сферу та логістику.

Розглянемо як приклад встановлення маніпулятора Нува на автомобілі (рис. 1.5).

Всі крани Нува універсальні і можуть містити різні конфігурації. Сучасні крани містять багато нових технологічних рішень, таких як схема динамічного навантаження, яка забезпечує завчасну перевірку вантажопідйомності крана на основі стійкості вантажного автомобіля, та система Magic Touch, що забезпечує автоматизоване складання та розкладання механізму для переходу в транспортне та робоче положення. Обидві ці функції підвищують концентрацію водія та можуть зекономити час, а також підвищити продуктивність праці. [8]



Рис.1.5. Кран Нува на автомобільному шасі

Проведемо наше дослідження далі і розглянемо гідрокран від фірми ESSEL (рис.1.6).

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17



Рис.1.6. Гідравлічний маніпулятор фірми ESSEL

Гідравлічний кран був розроблений для забезпечення безпеки операцій. За допомогою гнучкої Z-подібної системи стріли та міцній конструкції, він чудово підходить для виконання високопродуктивної та точної роботи. Цей кран особливо ефективний у лісозаготівельній або переробній промисловості, створений для підвищення продуктивності. Потужна тяга збільшує вантажопідйомність гідравлічного крана та підвищує його підйомну силу під час роботи. Кран оснащений синхронізованим рухом телескопічних подовжувачів, що досягається завдяки ланцюговій системі передачі, що забезпечує легку та ефективну експлуатацію. [9]

- Гусеничні шасі

Маніпулятори, змонтовані на гусеничних платформах, використовуються там, де необхідна висока прохідність та стабільність, зокрема на болотистих місцевостях, сипких ґрунтах та піщаних ділянках. Такі системи часто використовуються у військовій інженерії, дорожньому будівництві та на кар'єрних роботах.

Розглянемо приклад роботи, для розмінування, актуального в наш час.

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Легкий, модульний, переносний робот Mini-CALIBER (рис.1.7), пройшов випробування та отримав рекомендації від Національної асоціації тактичних офіцерів (NTOA) Канади.



Рис.1.7. Гусеничний робот для розмінування

Призначений для вирішення швидких тактичних завдань, робот простий в експлуатації та розгортається для швидкого проходження кімнат, коридорів, сходових кліток та замкнутих просторів. Разом з гумовими гусеницями та шарнірними передніми та задніми подовжувачами гусениць, робот безперешкодно піднімається сходами. Додатково він оснащений висувною скобою, що обертається, яка може бути використана для відкривання дверних ручок. [6]

Розглянемо ще один цікавий приклад роботизованої системи, що має не менш важливе значення для життя людини.

Виготовлений компанією NEVI Robotics з Піттсбурга (рис.1.8), бот призначений для таких завдань, як пошуково-рятувальні операції, інспекція промислових цілей або ж для освітніх цілей. «Tready призначений для тих, хто цікавиться міцним і спритним мобільним роботом, який пересувається різними місцевостями», — Камал Картер з компанії.

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

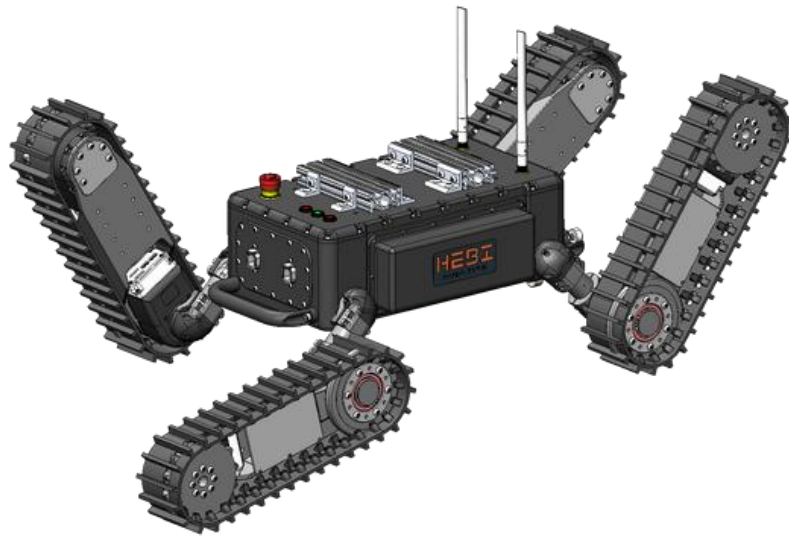


Рис.1.8. Робот Treadu

Treadu складається з центрального прямокутного модуля з чотирма рухливими кінцівками з індивідуальним керуванням, кожна з яких має обертовий гумовий протектор, схожий на танк, на кінці. Ці протектори, іменовані «ластами», можуть горизонтальне положення, під час пересування робота відносно рівними поверхнями, непомітно рухаючись вгору та вниз, щоб відповідати контурам місцевості.

Ключовою перевагою є те, що якщо Treadu натрапить на перешкоду, колода або великий камінь, він зможе розмістити передні ласти на об'єкт, для підняття та перевертання. Він також може підніматися та спускатися сходами, а також ставати на ноги, якщо перевернеться. Крім того, може витримувати занурення під воду на глибину до одного метра протягом півгодини.

Treadu може працювати від двох до трьох годин на одному заряді чотирьох вбудованих батарей. Його міні-комп'ютер Intel NUC підтримує як попереднє програмування для автономного управління, так і бездротове керування через Wi-Fi.[10]

									Арк.
									20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ				

- Залізничні платформи

Даний тип використовується для обслуговування залізничної інфраструктури, вантажних станцій та під час ремонтних робіт на коліях. Основною перевагою є можливість точного позиціонування маніпулятора та його значна вантажопідйомність.

Встановлений на вагон-платформу робот Robel Rail Automation (рис.1.9) розгортає роботизовану раму, оснащену зварювальним роботом і роботом-інструментом, які здійснюють технічне обслуговування колій за допомогою комп'ютера 3D-зварювання безпосередньо на місці.[4]

Robel здатний виконувати такі завдання, як ліквідацію тріщин у рейках та стрілочних переводах, зварювання стиків, відновлення робочих крайок, хрестовин, а також усунення наслідків зносу, роздавлювання та контактномномних пошкоджень.[5] Додатково він здатний виконувати наплавлення та 3D-реконструкцію пошкоджених ділянок, працюючи з різними рейками та марками сталі.



Рис.1.9. Зварювальний залізничний маніпулятор фірми Robel Rail Automation

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

- Стационарні платформи.

Стационарні платформи для кранів-маніпуляторів є критично важливими конструкційними компонентами, що забезпечують стабільну роботу та ефективне виконання вантажопідйомних операцій. Основна функція стаціонарної платформи полягає у формуванні жорсткої та стійкої основи, здатної витримувати значні навантаження, які виникають під час експлуатації крана-маніпулятора. Для досягнення цієї мети в конструкції застосовують високоміцні матеріали, зокрема сталі з підвищеними характеристиками міцності та армований бетон.

За своїм виконанням ці платформи можуть бути монолітними або модульними, що дозволяє адаптувати їх до специфічних вимог конкретних виробничих умов. Крім того, вони можуть бути оснащені додатковими амортизаційними системами для мінімізації впливу вібрацій і коливань під час роботи кранового обладнання.

- Плавучі платформи

Для виконання робіт на водних акваторіях, зокрема у портах, судноремонтні підприємства чи будівництво мостів, використовують крани-маніпулятори, встановлені на баржах чи понтонах. Вони забезпечують можливість здійснення монтажних та вантажних операцій у прибережних зонах.

Подивимось на достатньо поширену платформу, що розташована у Мексиканській затоці.

Морська стаціонарна платформа (МСП) (рис.1.10) — гідротехнічна споруда для буріння та експлуатації нафтових і газових свердловин на морі. Її конструкція складається із декількох опорних блоків, які встановлюються і закріплюються забивними палями на дні моря. На верхньому рівні

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

розміщують все необхідне обладнання. Використовують для буріння та експлуатації куща свердловин на нафту і газ при глибині моря до 500 м.[11]



Рис.1.10. Морська платформа для видобування нафти

Не можна не згадати про морські крани, які використовуються для піднімання тяжких матеріалів на кораблях. Одним із прикладів використання такого крана може бути риболовля (рис.1.11). Кран піднімає риболовні сітки, цим же зменшуючи навантаження на працівників.

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

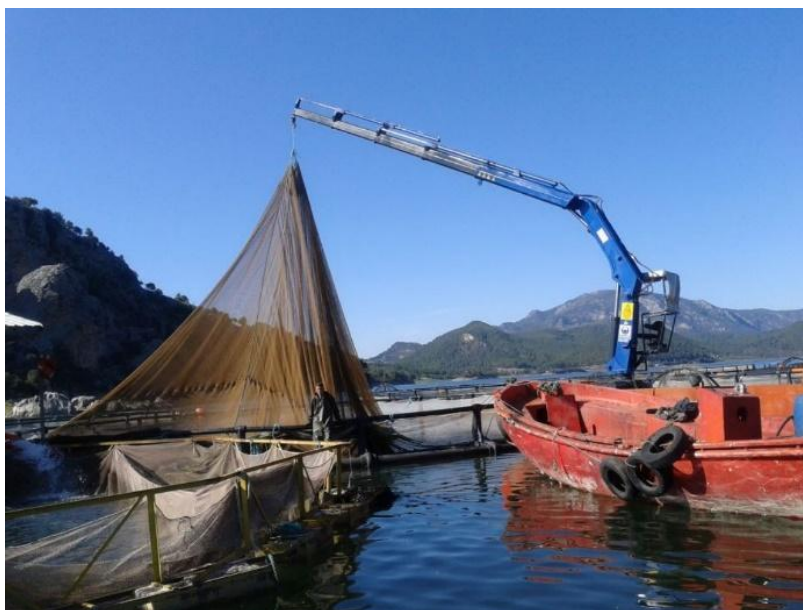


Рис.1.11. Кран для піднімання риболовних сіток

- Причіпні платформи

Причепи, оснащені краном-маніпулятором (рис.1.12) використовуються для логістики та обробки вантажів у сільськогосподарському секторі. Їх конструкція включає міцну металеву раму, здатну витримувати значні навантаження, опорні стійки для надійної фіксації вантажу, а також кран-маніпулятор обладнаний гідравлічною системою, що забезпечує високоточне керування. Завдяки адаптованій колісній базі, такі причепи демонструють високу прохідність на сільськогосподарських угіддях.

Широкий робочий радіус крана-маніпулятора дозволяє виконувати навантажувальні роботи без залучення додаткового обладнання, що скорочує витрати на паливо та робочу працю. Застосування таких причепів підвищує рівень безпеки операцій, оскільки зменшує ризик травмування під час ручного завантаження. Крім того, вони сприяють раціональному використанню ресурсів і зниженню питомого споживання пального.

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24



Рис.1.12. Крани на причепах

У цій роботі ми розглянемо маніпулятор, що розміщується на автомобільному шасі, тож пропоную проаналізувати доцільність встановлення робота саме на автомобілі. Візьмемо для прикладу з порівнянням портовий кран та людську працю, та створимо таблицю 1.2, яка буде наведена нижче.

Таблиця 1.2. Порівняння конструкцій і людської праці.

Характеристика	Маніпулятор на автомобільному шасі	Людська праця	Портовий кран (стаціонарний)
Мобільність	Висока, можливість пересування між об'єктами	Обмежена, залежить від фіз.можливостей працівника	Фіксоване встановлення, зона дії обмежена конструкцією
Швидкість виконання завдань	Висока, автоматичне керування	Залежить від фіз. підготовки та досвіду працівника	Висока, ефективна при великих обсягах вантажів

Характеристика	Маніпулятор на автомобільному шасі	Людська праця	Портовий кран (стаціонарний)
Точність виконання завдань	Висока, завдяки системам управління та датчикам	Відносно низька, залежить від навичок	Висока, за умови автоматизації управління
Безпека	Мінімізація травмування працівників	Високий ризик травм при виконанні небезпечних операцій	Потребує дотримання правил експлуатації
Експлуатаційні витрати	Середні, паливо та технічне обслуговування	Високі, оплата праці, страхування, навчання	Високі, обслуговування та електроенергія
Приклади розміщення маніпуляторів	Вантажні автомобілі, евакуатори,	-	Контейнерні термінали, вантажні порти

1.3. Види захватних пристроїв

Робототехнічна галузь безперервно розвивається, і машини стають дедалі більш універсальними та адаптивними. Ключовим елементом цього перетворення є кінцевий робочий інструмент (End-of-Arm Tooling, EOAT), який дозволяє роботам взаємодіяти з фізичним світом. Саме спосіб, яким EOAT взаємодіє з навколишнім середовищем, визначає легкість його інтеграції у різноманітні виробничі процеси.[14]

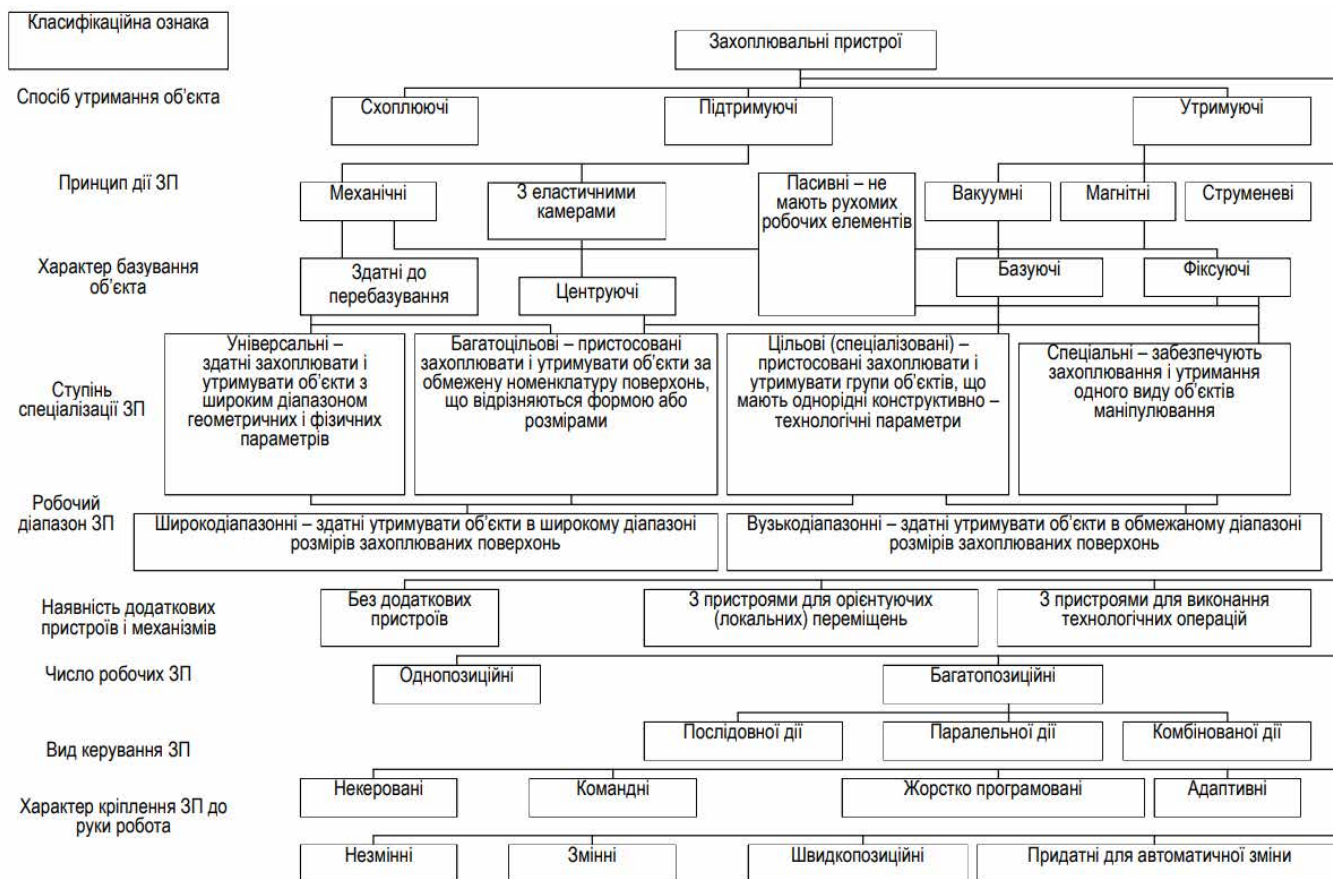
Найважливішою ланкою для ПР, що визначає його функціональні можливості, є захватний пристрій(надалі ЗП). ЗП призначений для захоплення об'єктів та його утримання у заданому положенні.[12] Захвати повинні забезпечувати захват об'єктів значних розмірів та надійно фіксувати їх. Конструктивні та функціональні відмінності ЗП полягають у наступному:

- Здатність працювати із різними об'єктами за формою, розмірами та фізичними властивостями.
- Можливість переміщення об'єктів із різними швидкостями та в різних напрямках за умови необхідній точності.
- Здатність ПР піднімати об'єкти з різних поверхонь та розміщувати їх у потрібне місце чи положення.

Переважно, на ПР встановлюють типові ЗП, які легко замінюються в залежності від специфіки виконання потрібного завдання, [13] зазвичай їх роблять швидкозмінними для оптимізації робочого циклу. [12]

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Механічні захватні пристрої ПР класифікуються за численними ознаками: за рівнем спеціалізації, за способом керування, рівнем



спеціалізації, за характером кріплення, за формою утримування деталі, за кількістю захоплень, за наявністю привода, за кількістю та типом передач, за характером базування деталі, за конфігурацією затискних поверхонь, за вантажопідйомністю, за точністю. Для ближчого ознайомлення, пропоную поглянути на рис.1.13.

Рис.1.13. Класифікація ЗП

Тепер ознайомимося ближче із основними типами ЗП.

Паралельні щелепні захвати. Складаються з двох протилежних щелеп, які здійснюють рух паралельно одна одній, забезпечуючи ефективну

фіксацію об'єктів різної форми та розміру. Такі захвати широко застосовуються у виробництві, складанні та пакуванні, де критично необхідна точність та контрольована сила стиснення.(рис.1.14, а)

Вакуумні захвати. Функціонують за принципом створення розрідження за допомогою вакуумного насоса. Такі захвати застосовуються в харчовій промисловості, поліграфії та виробництві електроніки.(рис.1.14, б)

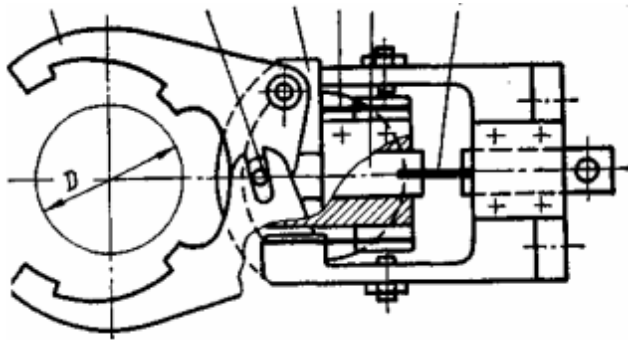
Пальцеві захвати. Оснащені кількома "пальцями" або сегментами, які адаптуються до форми об'єкта під час захоплення. Вони ідеально підходять для роботи з предметами неправильної або складної геометричної форми. Такі захвати часто використовуються для сортування елементів у контейнерах та інших комплексних завдань автоматизації.(рис.1.14, в)

Пневматичні захвати. Приводяться в дію за рахунок стисненого повітря, що контролює рух їхніх щелеп. Вони популярні за рахунок своєї високої швидкості та надійності. Такі захоплювачі можуть бути двощелепними, трищелепними та кутовими.(рис.1.14, г)

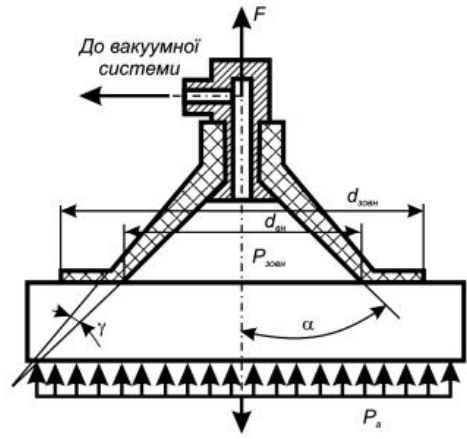
Електромагнітні захвати. Використовують магнітні поля для утримання та маніпулювання феромагнітними об'єктами, металевими компонентами. Вони часто застосовуються у металообробній галузі, переробці та інших секторах, де необхідна робота з металевими деталями.(рис.1.14, д)

Гідравлічні захвати. Використовують рідинну гідравліку для прецизійного управління рухом щелеп. Вони є оптимальними для взаємодії з габаритними і важкими об'єктами, що вимагають значної сили захоплення.(рис.1.14, г) [14]

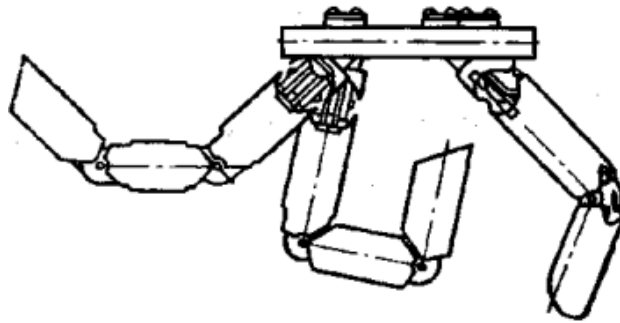
					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



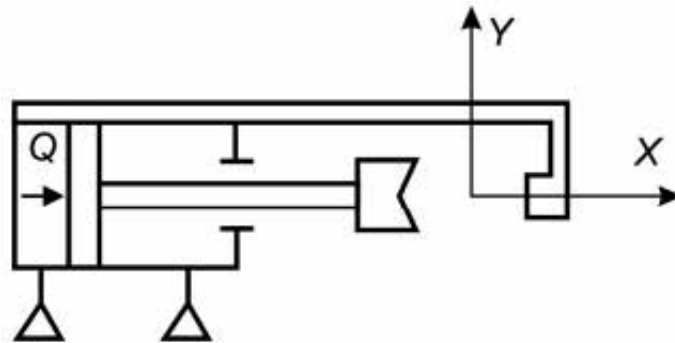
а)



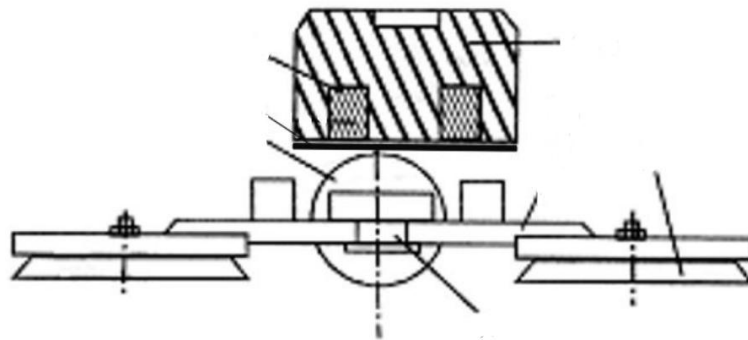
б)



в)



г)



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ

Арк.

30

д)

Рис.1.14. Види захватних пристроїв: а – паралельні, б – вакуумні, в – пальцеві, г – пневматичні, гідравлічні, д – електромагнітні

Під час вантажно-розвантажувальних та складських операцій застосовують ексцентрикові, грейферні захватні пристрої, а також гакові підвіски. Вони утримують об'єкт маніпулювання за рахунок силового замикання, який активується при ході ЗП вгору. [13]

Гакові підвіски – орган для захоплення вантажу, який є однією з найбільш навантажених частин і слугує для забезпечення підвішування вантажу. Гаки класифікують за вантажопідйомністю, кількістю та розташуванням блоків. [17] Основні елементи – гак та рухомі блоки.

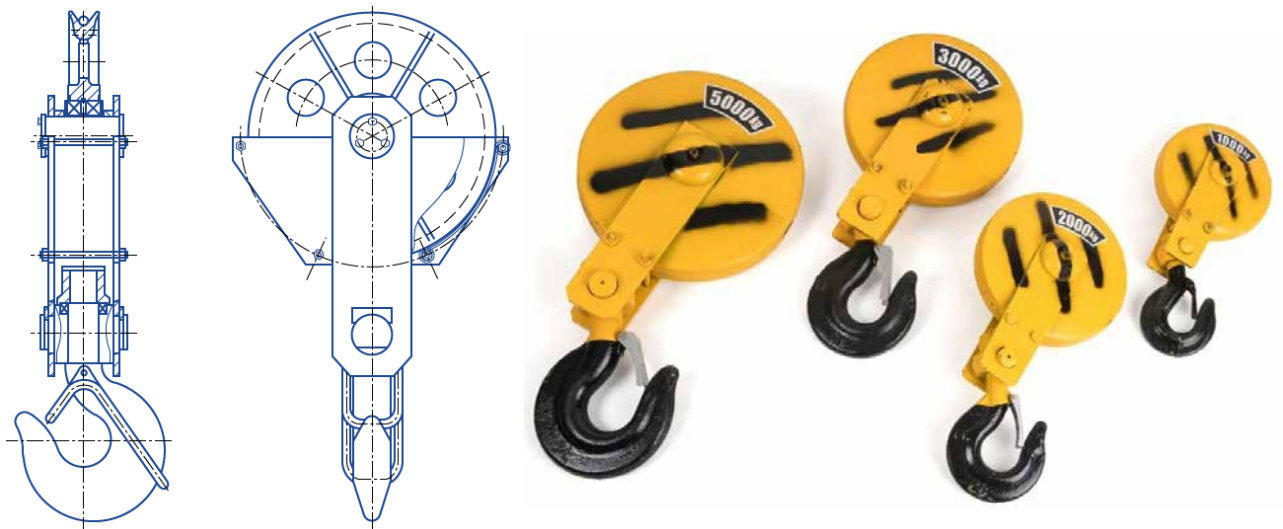


Рис.1.15. Гакова підвіска

Розрізняють 2 основні типи гакових підвісок: вкорочені та подовжені. У вкорочених варіантах блоки розташовані на подовжених цапфах траверси,

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

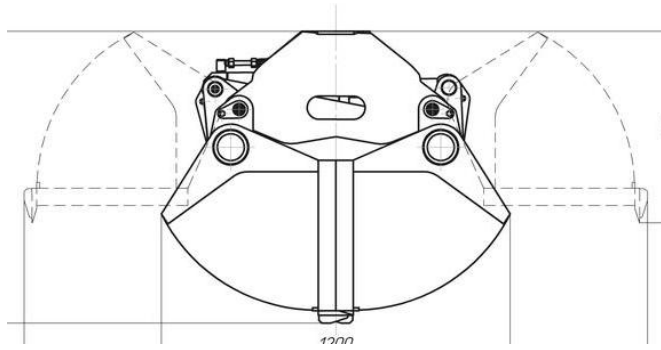
тоді як у подовжених – траверса з'єднана з віссю канатних блоків за допомогою спеціальних щік. [16]

Грейферні захоплювачі – надзвичайно популярне обладнання на екскаватори, маніпулятори або крани. Існує велике різноманіття видів грейферних захватів, що дозволяє підібрати оптимальне рішення для виконання практично будь-яких видів робіт (табл. 1.3). Щелепи грейфера, в основному, при змиканні утворюють саме замкнений ківш. [15]

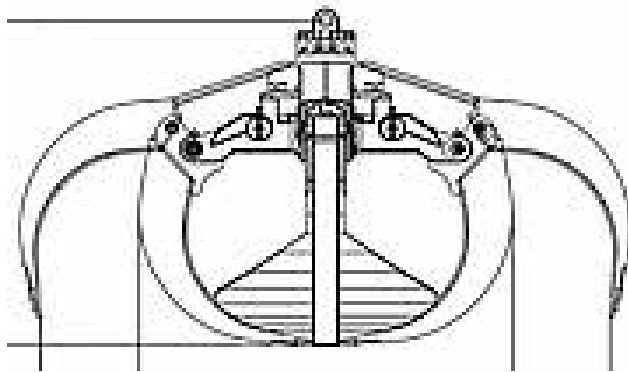
Таблиця 1.3. Розбір грейферного захватного пристрою.

Привід			
Електромеханічний	Гідравлічний	Електромагнітний	Пневматичний
Вид щелеп			
Ковшовий	Апельсинова шкірка		Вилчастий
Щільність замикання			
Закритий	Напівзакритий		Відкритий
Тип кріплення ротора			
Вальний		Фланцевий	
Симетричність			
Симетричні		Асиметричні	

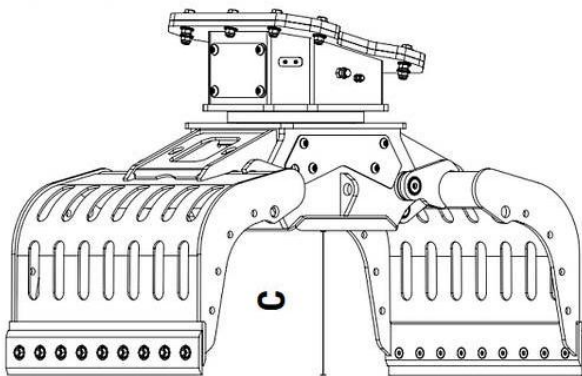
Ковші типу «Апельсинова шкірка»(Orange peel) (рис. 1.16, б) переважно використовуються для переміщення та завантаження. Ковшовий вид щелеп (рис. 1.16, а) для завантаження, розвантаження сипких матеріалів, допомагає при добуванні корисних копалин, для робіт із землею. Вилчастий вид грейфера (рис. 1.16, в) здебільшого застосовується у сільському господарстві, для завантаження соломи, сіна. [15]



а)



б)



в)

Рис.1.16. Види щелеп грейфера: а – ковшовий, б – апельсинова шкірка, в – вилчастий

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ

Арк.

33

На підставі ретельно проаналізованої інформації щодо різновиди грейферів, розглянемо таблицю видів щелеп грейферів, що систематизує їхні конструкції.(табл.1.4)

Таблиця 1.4. Порівняння видів грейферів.

	Ковшовий грейфер	Грейфер "Апельсинова шкірка"	Вильчастий грейфер
Призначення	Сипучі матеріали (пісок, гравій, вугілля, зерно)	Нестандартні або громіздкі об'єкти (металобрухт, каміння)	Довгі або штабельовані об'єкти (труби, колоди, палети)
Конструкція	2 шарнірні щелепи, відкриваються вертикально	Кілька (4-6) радіальних щелеп, сходяться до центру	2 або більше вигнутих або прямих вил на рамі
Принцип дії	Відкриті щелепи опускаються на матеріал, потім захоплюючи його, закриваються під дією гідравлічних циліндрів.	Щелепи розкриваються над об'єктом, потім охоплюючи об'єкт з усіх боків, гідравлічно зводяться.	Вила підводяться до об'єкта, потім для його захоплення піднімаються або зсуваються.
Переваги	Ефективне завантаження сипких матеріалів, проста	Надійне захоплення об'єктів складних форм, велика площа	Зручне переміщення довгих об'єктів,

	конструкція	захвату	обережність при переміщенні
Недоліки	Менш ефективний для окремих або несипучих об'єктів	Неефективний для дрібних сипучих матеріалів	Неефективний для сипучих або нестандартних матеріалів

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ

2.1. Розрахунок грейфера на стійкість

Крани на автомобільних установках є машинами, у яких стійкість перекидання може забезпечуватись тільки власною вагою. Саме у кранах є декілька видів стійкості, які розрізняють як: випробувальна (розраховується), власна (при неробочому стані) та вантажна (проти всіх навантажень у робочому стані).

Для забезпечення оптимальної і безпечної експлуатації грейферного захватного пристрою необхідно дотримуватися деяких вимог, сама конструкція має бути закріплена на твердій поверхні. Для того, щоб побачити чи витримує конструкція навантаження, які будуть діяти при роботі, необхідно провести розрахунок. Він покаже, як грейфер буде залишатися стабільним навіть якщо буде перевантаження або вплив зовнішніх чинників. Умова для перевірки грейфера на стійкість буде такою:

$$K = \frac{M_{уд.}}{M_{кр.}} \geq 1,15, \quad (2.1)$$

де, K — коефіцієнт стійкості крана,

$M_{уд.}$ — відновлювальний момент,

$M_{кр.}$ — граничний момент,

1,15 — мінімальне значення коефіцієнта стійкості.

$$K = \frac{G(b+c)}{1,25Q(A-c)} \geq 1,15, \quad (2.2)$$

тут, $G = 286$ Кн – вага крана,

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Сябрук М.С.			<i>Розрахунок конструкції</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		Кадикало І.О.					36	79
<i>Н. Контр.</i>		Ловейкін В.С.				НУБіП України		
<i>Затверд.</i>								

$Q_B = 70$ Кн – вага вантажу,

$b = 2,6$ – відстань від осі до ребра перекидання,

c – відстань від осі до центра тяготіння крана (визначається за формулою 2.3)

$A = 4,5$ м – виліт крана

$$C = \frac{M_0}{G} - b = \frac{857,4}{286} = 1,02 \text{ м}, \quad (2.3)$$

Тепер, отримавши всі потрібні дані, для розв'язку, підставимо їх у формулу:

$$K = \frac{286(2,6 + 1,02)}{1,25 \cdot 70(4,5 - 2,6)} = 1,38 \quad (2.4)$$

Обчисливши, ми бачимо, що коефіцієнт стійкості $K=1,38$, це перевищує мінімальне значення. В умовах перевантаження на 25% кран буде стійким та відповідатиме вимогам експлуатації.

Коефіцієнт вантажної стійкості – це відношення моменту сил відносно ребра перекидання, який створюється силою тяжіння з урахуванням усіх додаткових сил (вітрових, інерційних, відцентрових). Цей коефіцієнт визначається для 2 положень стріли:

- Стріла спрямована у бік нахилу та перпендикулярна до ребра перекидання(випадок 1).
- Стріла спрямована у бік нахилу та розташована під кутом 45° до ребра перекидання(випадок 2).

Для такого положення мають дотримуватися такі умови:

$$K_1 = \frac{M_{y\partial} - \sum M_1 - M_2 - M_3 - M_4 - M_5 - M_6 - M_7 - M_8 - M_9 - M_{yкл}}{M_{гр}} \quad (2.5)$$

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де, $M_{ут}$ – утримуючий момент, кН·м;

M_1 – відцентровий момент, що діє при обороту вантажу відносно осі повороту крана, кН · м;

M_2 – момент інерції вантажу зі стрілою при русі підйомного механізму, під час перехідного режиму, кН·м;

M_3 – момент інерції вантажу при перехідному русі підйомного механізму, кН·м.

M_4 – момент інерції вантажу при перехідному русі пересувного механізму крана, кН·м;

M_5 – момент інерції крана при перехідному русі пересувного механізму крана, кН·м;

M_6, M_7 – момент інерції стріли і вантажу в горизонтальній та вертикальній площинах при перехідному русі механізму, кН·м;

M_8, M_9 – момент вітрових сил, що діють на кран і на вантаж, кН·м;

M_B – момент від сили ваги вантажу, кН·м.

$$M_{ут} = G \cdot [(b + c) \cdot \cos t_0 - h_1 \cdot \sin L_0] = 210[(2.14 + 1.02) \cdot 0.998 - 2.4 - 0.05] = 690.9 \text{ Кн} \quad (2.6)$$

Знайдемо середнє положення вантажу, визначеним центром ваги.

$$h_1 = \frac{\sum G_i h_i}{G} = \frac{G_1 h_1 + G_2 h_2 + G_3 h_3}{G} = \frac{286 \cdot 0.8 + 40 \cdot 2.5 + 280 \cdot 1.6}{286} = 2.8 \text{ м}, \quad (2.7)$$

Перейдемо до знаходження моментів: знайдемо відцентровий момент, що діє при обороту вантажу відносно осі повороту крана:

$$M_1 = \frac{Q n^2 A h}{900 n^2 h} = \frac{70 \cdot 0.75^2 \cdot 4.5 \cdot 23.3}{900 \cdot 0.75^2 \cdot 23.3} = 13.2 \text{ кНм}, \quad (2.8)$$

де, $Q_B = 70$ – вага вантажу;

$n = 0,75$ об/хв – частота оберту крану;

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$A = 4,5$ – виліт крану;

$$h = L_c \cdot \sin L_0 + h_k = 21.7 - 0.98 + 2.1 = 23.2, \text{ м} \quad (2.9)$$

$h_k = 2,1$ м – висота шарніру стріли від опорного контуру

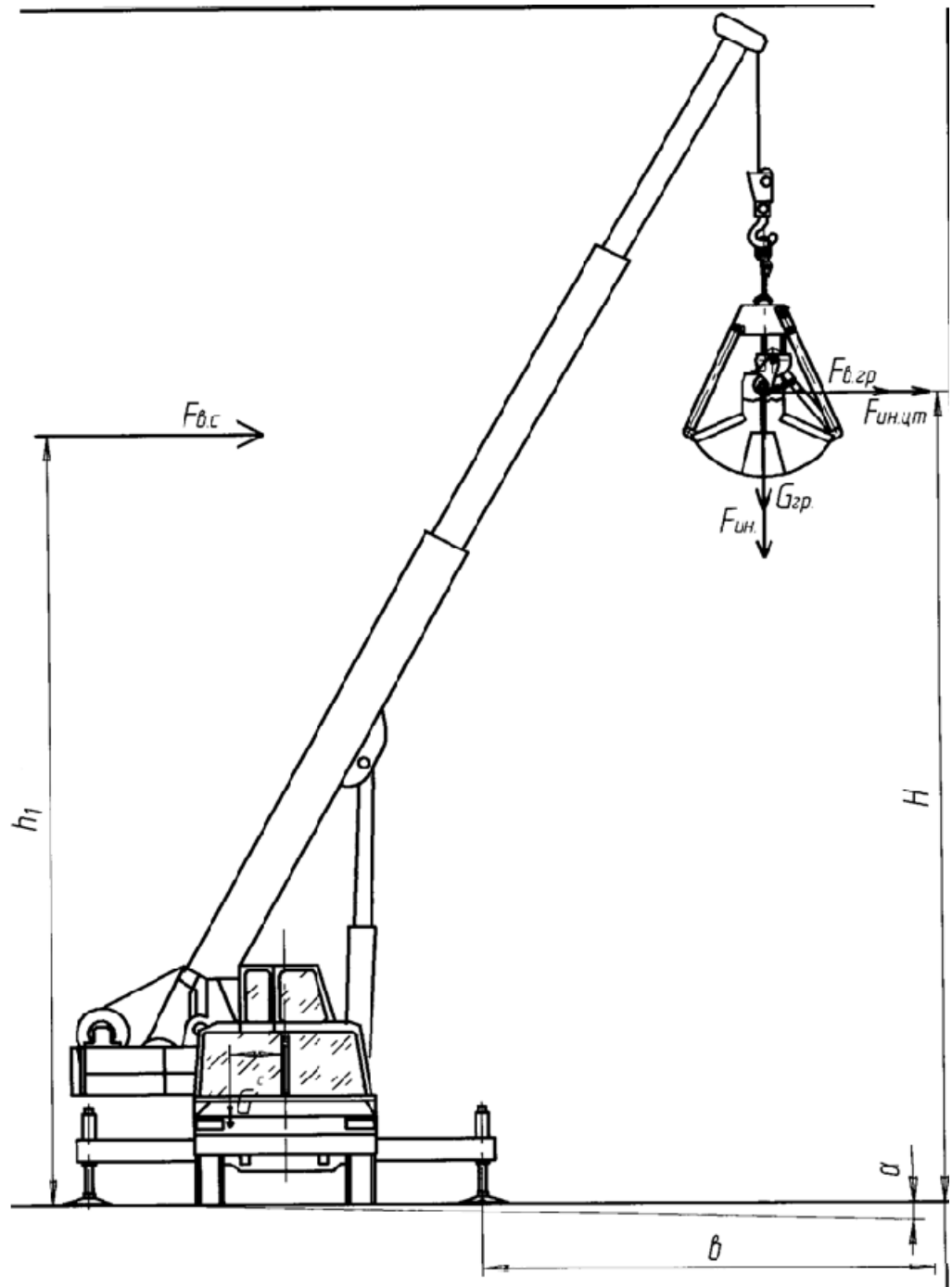


Рис.2.1. вантажна стійкість конструкції

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ

Арк.

39

$$L = \arccos \frac{A-b}{Lc} = \frac{4.5-2.4}{21.7} = 84.5^\circ \quad (2.10)$$

Розрахуємо момент інерції вантажу зі стрілою при русі підйомного механізму, під час перехідного режиму.

$$M_2 = \frac{66(G_{\text{пр}}+Q)mAh}{(900-n^2H)t^3} = \frac{66(1,22 \cdot 20)0,75 \cdot 4,5 \cdot 23,3}{(900-0,75^2 \cdot 14)1,5} = 82,3 \text{ кНм}, \quad (2.11)$$

де, $G_{\text{пр}}$ – маса стріли до її голови, 1,22 т

$$G_{\text{пр}} = \frac{L_c q_c}{3} = \frac{21,7 \cdot 0,17}{3} = 1,22 \text{ т}, \quad (2.12)$$

де, $Q = 20\text{т}$ – вага грейфера разом із вантажем,

$n = 0,75$ об/хв – частота обертання,

$A = 4,5$ м – виліт вантажу,

H – відстань від голови стріли до центра тяготіння вантажу приймаємо, як 14 м (разом із габаритом вантажу і мінімальну висоту підйому),

$t = 1.5$ с – невстановлений час руху обертального механізму.

Перейдемо до наступного моменту – інерції вантажу при перехідному русі підйомного механізму(випадок 1):

$$M_3 = \frac{Qv}{t} (A-b) = \frac{7 \cdot 0,14 (4,5 \cdot 2,6)}{0,46} = 12,77 \text{ кН.м}, \quad (2.13)$$

$v = 0,14$ м/с – швидкість підняття вантажу,

$t = 0,46$ с – невстановлений час руху підйомного механізму.

Тепер розрахуємо момент інерції вантажу при перехідному русі підйомного механізму(випадок 2).

$$M_3 = \frac{7 \cdot 0,14(3,18 - 2,4)}{0,46} = 4,74 \text{ кНм} \quad (2.14)$$

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Момент інерції вантажу при перехідному русі пересувного механізму крана:

$$M_4 = \frac{QV_k}{t_k} H = \frac{7 \cdot 0,5 \cdot 14}{0,32} = 218,75 \text{ кНм}, \quad (2.15)$$

$v_k = 0,5 \text{ м/с}$ – швидкість переміщення крана,

t_k – час, встановлений для переміщення крана.

Так, як з максимальним навантаженням кран не буде переміщуватися, то прийємо для нашого випадку, що $M_4 = 0$.

Випадок з M_5 буде схожим, тому ми його прийємо як 0.

Перейдемо до моменту інерції стріли і вантажу в горизонтальній(1) та вертикальній(2) площинах при перехідному русі механізму:

$$(1) \quad M_6 = \frac{(1,22 + 7) \cdot 0,16 \cdot 23,3}{5,4} = 14,649 \text{ кНм}$$

$$(2) \quad M_7 = \frac{(1,22 + 7) \cdot 0,04}{5,4} (4,5 - 2,6) = 0,33 \text{ кНм}$$

$$(2)(2 \text{ випадок}) \quad M_7 = \frac{(1,22 + 7) \cdot 0,04 (2,18 - 2,6)}{5,4} = 0,12 \text{ кНм}$$

де, $t_2 = 5,4 \text{ с}$ – час для пуску механізму зміни вильоту,

v'_2, v''_2 , - горизонтальна і вертикальна швидкості переміщення стріли.

Момент вітрових сил, що діють на кран і на вантаж:

$$M_8 = \sum W_i \cdot P_i = W_c \cdot P_i + W_{кр} \cdot P_2 \quad (2.16)$$

$$W_{cpl} = L_c \cdot b_c \cdot \varphi_c \cdot \cos \alpha_{max} \cdot q \cdot k_c \cdot n \cdot \left(\frac{L_e}{2} \cdot \sin \alpha_{max} + h_k \right) \quad (2.17)$$

$$W_{cpl} = 6,2 \text{ кНм}$$

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_{\text{кр}} = 3,57 \cdot 2,5 \cdot 0,125 \cdot 10,5 \cdot 1,02 \cdot 1 \cdot \left(3 \cdot \frac{57}{2}\right) = 2,53 \text{ кНм}$$

Отримаємо таке значення вітрових сил для крана:

$$M_8 = 6.2 + 2.53 = 8.73 \text{ кНм}$$

Відповідно, для вантажу:

$$M_9 = 20 - 0,125 - 1,25 - 1 - 23,3 = 72,8 \text{ кНм}$$

Визначимо момент, який діє від вантажу:

$$M_B = Q \cdot (A - b) = 280 \cdot (4.5 - 2.6) = 420 \text{ кНм} \quad (2.18)$$

Для розв'язку кінцевої формули потрібно визначити ще момент від вантажа, коли стріла розміщується під кутом 45° .

$$M_B = Q \cdot (A \cdot \cos 45^\circ - b) = 280 \cdot (4.5 - 0,707 - 2.6) = 156 \text{ кНм} \quad (2.19)$$

Тоді коефіцієнт стійкості вантажу крана при першому випадку буде:

$$K_1 = \frac{691 - 13,2 - 12,77 - 14,64 - 0,33 - 8,73 - 72,8}{420} = 1,3$$

Тепер розрахуємо положення стріли крану під кутом 45° .

$$K_2 = \frac{443 - 13,2 - 82,3 - 4,74 - 14,64 - 1,12 - 8,73 - 72,8}{156} = 1,57$$

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2. Розрахунок сил, які діють на ківш при зачерпуванні

Під час зачерпування на ківш діє ряд сил, що відносяться до груп: сили, які пов'язані з переміщенням ріжучого контуру; сили, що пов'язані з переміщенням матеріалу; сили, що пов'язані із опором тертя матеріалу, який знаходиться в ковші; інерційні сили.

Проведемо розрахунки, які пов'язані із зачерпною можливістю грейфера. Так, як в нашій роботі ми використовуємо канатний ковшовий грейфер, то будемо проводити розрахунки саме для такого типу.

Для початку визначимо силу супротиву на ножі ковша:

$$R_1 = B\delta\rho_0 \quad (2.20)$$

де, B – довжина ножа, дорівнює ширині ковша,

δ – товщина ножа,

ρ_0 – питомий опір для різання сипучого матеріалу.

Сила супротиву на 2 бічних частинах ножа:

$$R_2 = \frac{y}{\sin(\beta+\gamma)} \quad (2.21)$$

де, y – значення ординати,

B – кут повороту ковша

Розрахунковою величиною супротиву для всього процесу приймається значення, що є вже, виходячи із закону зміни положення від $R_3 = R_0$ до $R_3 = R_k$, відповідно:

$$R_3 = R_k - (R_k - R_0) x/x_0 \quad (2.22)$$

Сила супротиву для зачерпування матеріалу R_4 виникає під дією пасивного тиску:

$$R_4 = \frac{\gamma_M y^3}{3} \operatorname{ctg} \tau \operatorname{tg} \varphi [\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} (\beta + \gamma)], \quad (2.23)$$

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Розрахунок грейфера одноканатного

Розрахунок грейфера має залежати для 2 випадків, які будуть розглянуті нижче:

1. Якщо відома об'єм грейфера і вага матеріалу, який буде набрано, і потрібно визначити масу та інші виміри грейфера, які задовільняють умову зачерпної здатності. для такого розрахунку потрібні будуть такі дані: об'єм грейфера $V_{гр}$ і фізико-механічні характеристики набраного матеріалу: вага матеріалу, який буде насипано γ_m , параметри матеріалу, кут тертя (внутрішнього) ϕ_T , коефіцієнт тертя, кут укосу (природній) τ_0 .
2. Якщо відома маса та інші виміри грейфера – знайти його зачерпну здатність. Дані для цього: об'єм грейфера $V_{гр}$, вага грейфера $Q_{гр}$ і окремих частин, кратність поліспада α_n , виміри грейфера та параметри матеріалів, з якими буде взаємодіяти грейфер.

Перед початком, потрібно визначити мінімальну масу грейфера, яке дасть необхідні дані для надійної жорсткості та міцності матеріалу.

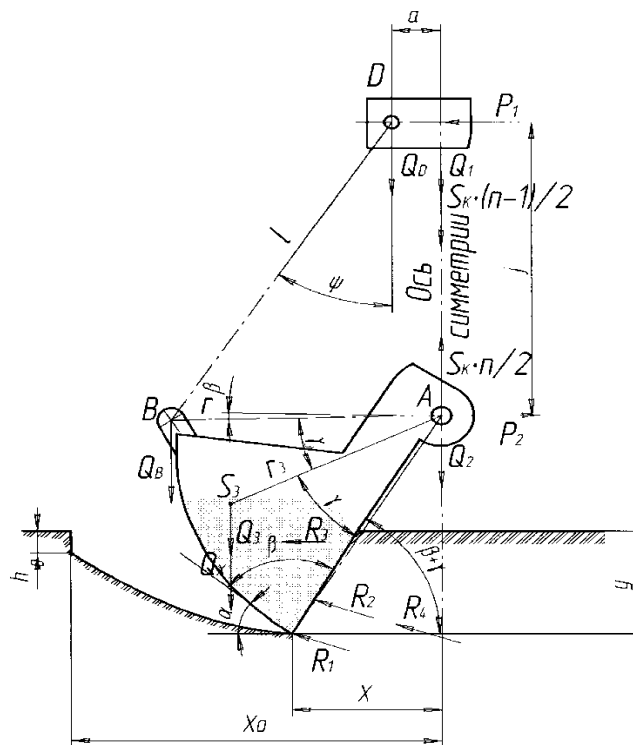


Рис.2.2. Сили, що будуть діяти на грейфер

Звіряючись із даними технічного опису крану, його вантажопідйомність буде 28 тонн. Розглядаючи випадок вильоту стріли довжиною 9 метрів, вантажопідйомність уже становитиме 7 тонн. Виходячи з таких даних, можемо зробити висновок – вага грейфера має бути такою, щоб якнайкраще наблизитись до мінімальної маси грейфера. Ми можемо такого досягти виходячи із нижче запропонованої залежності, яка враховує параметри і погонне навантаження:

$$Q_{гр\min} = V_{гр} \frac{B}{L} \gamma_m T_0 d_0, \quad (2.24)$$

де, B – ширина ковша,

L – відкриття грейфера,

γ_m – вага матеріалу, який буде насипано,

T_0 – коефіцієнт жорсткості,

d_0 – коефіцієнт, який приймає до уваги розміри матеріалу: для сипкого матеріалу – 0,8, для матеріалу розмірами до 100 міліметрів – 1, для матеріалу, що більше 100 міліметрів – 1,2.

$V_{гр}$ – об’єм грейфера, що розраховано.

Величина $Q_{гр\min}$ конструктивна, це означає, що вона може бути змінена в залежності від жорсткості та методу виготовлення грейфера.

Визначимо власну вагу $Q_{гр}$, опираючись на умову необхідної зачерпної здатності:

$$Q_{гр} = \frac{Q_m \cdot \left[1 + k_p \cdot k_\phi \cdot \frac{p}{r} \cdot \tan(\alpha_k + \varphi) (1 + k_k) \cdot A_5 \right] + 2 \cdot R_1 \cdot A_3 + 2 \cdot k_p \cdot k_\phi \cdot \frac{p}{r} \cdot R_0 \cdot A_4}{[\alpha_1 + 0.5 \cdot \alpha_4 + (n - 1)] \cdot T_1 + \frac{r_3}{r} \cdot \alpha_3 \cdot T_2 + 0.5 \cdot \alpha_4 \cdot T_3} \quad (2.25)$$

Розберемо подану вище формулу:

$Q_{гр} = V_{гр} \gamma_m$ – вага матеріалу, який буде зачерпнуто

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ – коефіцієнти, які показують як буде розподілена вага грейферу між частинами:

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\alpha_1 = \frac{G_2}{Q_B} = \frac{Q_1}{Q} \quad (2.26)$$

де, $G_2 = 2Q_1$ – вага голови,

$$\alpha_2 = \frac{2G_K}{Q_B} = \frac{Q_3}{Q} \quad (2.27)$$

де, $G_K = 2Q_3$ – вага ковша,

$$\alpha_4 = \frac{2G_T}{Q_B} = \frac{Q_4}{Q} \quad (2.28)$$

де, $G_T = 2Q_4$ – вага 2 тягових механізмів, пов'язаних з 1 ковшом.

$$Q = 0.5 \cdot Q_{ГР} \quad (2.29)$$

$$Q_4 = Q_D + Q_B \quad (2.30)$$

$$Q_D = 0.5 \cdot Q_4 \quad (2.31)$$

Для нашого розрахунку, ми можемо підібрати коефіцієнти α , які будуть відповідати значенням: $\alpha_1 = 0,25$; $\alpha_3 = 0,45$; $\alpha_4 = 0,10$. Опираючись на рекомендовані значення, на траверсу припадає 20% від ваги всього грейфера, відповідно значення α_2 буде становити 0,2.

При наступному розрахунку мама траверси та маса a_1 мають бути уточнені, через задану нами вище умову, дотримання найменшої ваги, яка забезпечує розкриття ковшів пустого грейфера. Таке значення буде отримане по формулі:

$$G_{T \min} = S_B \cdot \beta_0 \cdot T_0 - 2 \cdot G_K \cdot \frac{C_3}{C_1} \quad (2.32)$$

де, $\beta_0 - 1,1-4,5$ – коефіцієнт запасу,

T_0 - коефіцієнт, що показує супротив поліспасти при супротиві на блоках,

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

C_1, C_3 - значення, які залежать від розмірів ковшів.

Для успішного виконання умови потрібно зменшувати значення T_0 , яке може бути задовільнене за допомогою установки блоків поліпасти на підшипниках. Також не потрібно забувати про форму ковша.

У нашому розрахунку ми маємо вибрати оптимальну форму ковша і при цьому не забути про потрібне відношення деяких параметрів грейфера, а саме значення: $\frac{p}{r} - 1.2, \frac{r_3}{r} - 0.8$.

Значення кута нахилу дна, при кінцевому зачерпуванні, потрібно встановити в залежності від факторів, які будуть діяти на ковш. Вибрана нами умова полягала в тому, щоб зачерпувати сипучі матеріали (зерно, комбікорми, добрива, силос, тирса). Із виконанням умови найнижчих енергетичних затрат кут нахилу має бути $\alpha = 12^\circ - 15^\circ$. Розрахунковий кут α_k має врахувати вплив задньої стіни дна ковша, тому ми виберемо для нього значення $\alpha_k = 20^\circ$.

Визначимо значення R_i за наступною формулою:

$$R_i = B \cdot \delta_p \quad (2.33)$$

де, B – ширина ковша.

Оптимальна середнє значення занурення ковша має бути розрахована за формулою:

$$U_{cp} = h_{cp} = \frac{B}{3} \div \frac{B}{3,8} \quad (2.34)$$

З невеликою похибкою подане вищезгадане значення можна прийняти для:

- Дрібного сипкого матеріалу:

$$h_{cp} = \frac{B}{3,5} = 0,286B \quad (2.35)$$

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Для крупного матеріалу:

$$h_{cp} = \frac{B}{4} = 0,25B \quad (2.36)$$

Якщо розглядати нашу ситуацію з іншої сторони, то ширина ковша B має бути встановлена в залежності від величини і щільності зачерпнутого матеріалу. Скористаємося параметром, який визначається залежністю: $\psi = \frac{B}{L}$.

Визначимо для відповідних характеристик потрібні розрахункові формули: неущільнений матеріал великих кусочків – 0,45:

$$V_{гр} = B \cdot L \cdot h_{cp} \quad (2.37)$$

свіжонасипаний матеріал великих кусочків і мілкий сипучий матеріал з характеристикою 0,6:

$$V_{гр} = \frac{0,286 \cdot B^3}{\psi} \quad (2.38)$$

свіжонасипаний мілкий сипучий матеріал з характеристикою 0,75:

$$V_{гр} = \frac{0,25 \cdot B^2}{\psi} \quad (2.39)$$

Для найкращого проектування грейферного захватного пристрою, який буде зачерпувати крупні кусочки матеріалу, необхідно, щоб ширина ковша відповідала умові: $B > 3\alpha$, де α – найбільший розмір матеріалу, що зачерпнуто.

Задля забезпечення оптимальної жорсткості дна ковша необхідно дотриматись залежності:

$$\delta = \omega \cdot \gamma_m \cdot \sqrt{V_{гр}} \quad (2.40)$$

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де, $\omega = 0.012$ – величина для м'яких сипучих матеріалів, $0,014$ – для крупних матеріалів,

γ – вага насипного матеріалу, який зачерпується.

Для зачерпування крупнокускових матеріалів необхідно додати в конструкцію грейфера зуби, але для м'яких сипучих матеріалів зуби будуть недоцільним рішенням. Кількість зубів буде визначено за наступною формулою:

$$N_0 = 4 \cdot B \quad (2.41)$$

Для визначення величини R_0 скористаємось такою формулою:

$$R_0 = \frac{\gamma_m \cdot B y_0^2 \cdot \operatorname{tg}(\tau + \varphi_0)(1 + k_0)}{2 \operatorname{tg} \tau} \quad (2.42)$$

Для розрахунку, що буде використано для проектування, значення γ буде прийнято, як глибина занурення грейфера при використанні $\gamma_{0\text{роз}}$.
Визначимо її:

$$\gamma_{0\text{роз}} = 0.5 \cdot L_{tg}(90 - \theta) \quad (2.43)$$

Для матеріалів у шматках:

$$\gamma_{0\text{роз}} = 0.25 \cdot L_{tg}(90 - \theta) \quad (2.44)$$

де, L – розкриття ковша,

θ – кут ковша.

Можемо визначити коефіцієнти k_p , k_2 , k_k та k_ϕ . Розберемо, що означає кожен з них:

k_p – перенесення всіх рівнодіючих опорних сил на ніж ковша, $0,75-0,8$;

k_2 і k_k – включає в себе декілька параметрів: τ – ковзання матеріалу, визначається кутом, φ – тертя матеріалу по поверхні ковша, визначається кутом, φ_0 – внутрішнє тертя, середнє значення величини заглиблення ковша.

k_ϕ – як впливає форма щелепи.

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для визначення k_2 потрібно скористатись формулою:

$$k_2 = \frac{\gamma_M \operatorname{tg} \varphi \sin \Theta y^2}{6 \delta p_0 \operatorname{tg}^2 \tau \sin \alpha_{cp}} \quad (2.45)$$

де, γ_M – вага зачерпнутого матеріалу,

$$\tau = \tau_0 - \left(\frac{\varphi_0}{2}\right) = 27,5^\circ,$$

θ – кут ковша,

$\alpha_{сер}$ – середній кут, який утворюється від контакту нижньої точки ковша із дном: $\frac{\alpha_{п} - \alpha_{к}}{2}$,

$\alpha_{п}$ – початковий кут, який утворюється при зануренні ковша, контакт із задньою стіною,

$\alpha_{к}$ – кінцевий кут, який утворюється із замкненим ковшем горизонтально до поверхні.

Коефіцієнт k_k визначається:

$$k_k = \frac{2}{3} \cdot \frac{\tan \varphi}{\tan 2 \cdot \tau \cdot \tan(\alpha_k + \varphi)} \cdot \frac{1}{B} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \tan \alpha_k \cdot V_B}{B}} \quad (2.46)$$

Цей коефіцієнт показує, як буде залежати форма ковша і пов'язане із ним тертя зовнішньої поверхні дна, в залежності від наповнення ковшу.

Значення T1, T2, T3 як і A3, A4, A5 визначаються в залежності від положення на графіку.

Залежно від системи опори блоків поліспасти буде встановлено К.П.Д. блоків і потім, визначено формулу кратності поліспасти:

$$n = \frac{\eta_{\delta}^{\alpha n} - 1}{\eta_{\delta} - 1} \quad (2.47)$$

Знайдемо формулу C:

$$C = \frac{2 \delta p_0 (1 + k_2)}{\gamma_M B_p} \quad (2.48)$$

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

p_0 – опір різанню або впровадженню (для зернистих матеріалів, в другому випадку для більших матеріалів).

Розрахунковий розмір кусочків α' встановлюється або по практичним вимірам, або по наведеним нижче даним:

Кускові матеріали:

- Великокусові (гній, тверді органічні залишки) – 160;
- Середньокускові (торф, компактований силос) – 110;
- Мілкокусові (дрібні кукурудзяні стебла) – 60.

Зернові матеріали:

- Великозернові (зерно пшениці, кукурудзи, комбікорм) – 10;
- Мілкозернові (мінеральні добрива, пісок) – 2;
- Порошкові (вапно, мікродобрива) – 0,5;
- Пилові (порошкові пестициди) – 0,05.

$$\alpha' = \frac{\alpha_{min} + \alpha_{max}}{2} \quad (2.49)$$

де, α_{min} – найбільший розмір кусочків, α_{max} – найменший розмір.

Якщо маса найбільшого матеріалу менше 10%, то $\alpha' = 0,8 \cdot \alpha_{max}$, якщо навпаки, більша, $\alpha = \alpha_{max}$.

Подивимось, як буде працювати грейфер з різним матеріалом, за допомогою розрахунків:

1. Перенесення комплексного добрива:

Ширина ковша:

$$B = \sqrt{2,4V_{гр}}, \quad (2.50)$$

Для мілкозернового матеріалу показник ψ буде становити 0,6.

Відповідно, розкриття ковша буде:

$$L = \frac{B}{0,6} = \frac{1680}{0,6} = 2800\text{мм} \quad (2.51)$$

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Мінімальна вага грейфера для забезпечення оптимальної міцності і жорсткості буде розкрита формулою:

$$Q_{гр \min} = V \frac{B}{L} \gamma_m T_0 d_0. \quad (2.52)$$

Якщо для виготовлення грейфера буде використано сталь СтЗсп, то розрахунок буде наступним:

$$Q_{в \min} = 2.5 \cdot 0.6 \cdot 1.45 \cdot 1.5 \cdot 0.8 = 2.090 \text{ м} \approx 2,1 \text{ м}$$

Розглянемо також випадок для сталі 10ХСНД:

$$Q_{в \min} = 2.5 \cdot 0.6 \cdot 1.45 \cdot 1.2 \cdot 0.8 = 1,670 \text{ м} \approx 1,8 \text{ м}$$

Тепер стало видно, що у 2 випадку, при використанні сталі 10ХСНД, конструкція грейфера буде міцнішою і меншою по вазі, порівняно із першим випадком. Для нас саме 2 випадок буде задовольняти вище поставлені умови. Визначимо товщину ножів ковша (формула 2.43):

$$\delta = 0,012 \cdot 1,45 \cdot \sqrt{2} = 0,022 \text{ м}$$

Прийmemo, $\delta = 0,022 \text{ м}$.

$$p = \frac{L}{2 \cdot \cos(90 - \theta)} \quad (2.53)$$

$$p = \frac{2800}{2 \cdot \cos 15^\circ} = 1450 \text{ мм}$$

$$r = \frac{P}{1.2} = \frac{1150}{1.2} = 1208 \text{ мм} \quad (2.54)$$

Кут ковзання матеріалу було визначено і прийнято вище, $\tau = 27,5^\circ$.

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Величину середнього погруження ковша в ґрунт буде вираховуватися за формулою:

$$y_{\text{сер}} = \frac{V_{\text{гр}}}{L \cdot B} = \frac{2}{2.8 \cdot 1.68} = 0.425 \text{ м} \quad (2.55)$$

Прийmemo значення $Y_{\text{сер}} = 425 \text{ мм}$.

Розрахункову величину тиску при розмірі кусочків матеріалу при $\alpha' = 2 \text{ мм}$ визначимо:

$$P_o = \left[31 \cdot y \cdot \gamma_o \cdot f_o^2 + \tau \cdot \left(31 \cdot f_o - \frac{1}{f_o} \right) \right] \cdot \frac{\delta + \alpha'}{\delta} = 31 \cdot 42.5 \cdot 0.00145 \cdot 0.7^2 \cdot \frac{2.2 + 0.2}{2.2} = 1.02 \text{ кг/см}^2 \quad (2.56)$$

Значення для коефіцієнтів k_2 (формула 2.48) та k_k (формула 2.49) будуть такі:

$$k_2 = \frac{\cot^2 27,5^\circ \cdot \tan 25^\circ 40' \cdot \sin 75^\circ}{6 \cdot \sin 55^\circ} \cdot \frac{1,45 \cdot 10^{-3} \cdot 42,5^2}{2,2 \cdot 1,02} = 0,405$$

$$k_k = \frac{2}{3} \cdot \frac{\tan 25^\circ 40'}{\tan 27,5^\circ \cdot \tan(20 + 25^\circ 40')} \cdot \frac{1}{1,68} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \tan 20^\circ \cdot 2}{1,68}} = 0,64$$

Відповідно, для коефіцієнту K_p ми приймаємо значення 0,8.

Для значень R_1 та R_0 (формула 2.45) будуть розраховані такі формули:

$$k_o = \frac{2}{3} \cdot \frac{y_o \cdot \tan \varphi_o}{B \cdot \tan^2 \tau \cdot \tan(\tau + \varphi)} = \frac{2}{3} \cdot \frac{37.6 \cdot 0.7}{168 \cdot 0.522 \cdot 1.92} = 0.2 \quad (2.57)$$

$$R_1 = B \cdot \delta_{p_o} = 168 \cdot 2.2 \cdot 1.02 = 378 \text{ кг}$$

$$R_o = \frac{1.45 \cdot 168 \cdot 37.5^2}{10^3 \cdot 2} \cdot \frac{\tan 62.5^\circ}{27^\circ 30'} (1 + 0.2) = 822 \text{ кг} \quad (2.58)$$

Знайдемо значення C (за формулою 2.51):

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

$$C = \frac{2 \cdot 2,22 \cdot 1,02 \cdot (1 + 0,405)}{1,45 \cdot 10^{-3} \cdot 168 \cdot 145} = 0,178$$

Для визначення маси зачерпнутого матеріалу скористаємось наступною формулою:

$$Q_M = V_{гр} \cdot \gamma_M = 2 \cdot 1450 = 2900 \text{ кг} \quad (2.59)$$

Власна маса грейфера буде такою:

$$\alpha_n = 2; \eta = 0,94; n = 1,93; k_\phi = 1,05.$$

При знайденому значенні $C = 0,178$ та $\alpha_n = 2$ визначимо, що $T_1 = 52$; $T_2 = 50$; $T_3 = 45$; $A_3 = 95$; $A_4 = 30$; $A_5 = 13$. Тепер зможемо визначити значення $Q_{гр}$, воно буде становити (формула 2.28):

$$Q_{гр} = \frac{2900 \cdot (1 + 0,8 \cdot 1,05 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1,64 \cdot 13) + 2 \cdot 378 \cdot 95 + 2 \cdot 0,8 \cdot 1,05 \cdot 1,2 \cdot 822 \cdot 30}{(0,25 + 0,5 \cdot 0,1 + 0,93) \cdot 52 + 0,8 \cdot 0,45 \cdot 50 + 0,5 \cdot 0,1 \cdot 45} = 2260 \text{ кг}$$

Тепер ми можемо побачити, що власна маса грейфера, за отриманими даними, повинна становити 2260 кілограм, з використанням Ст.3сп.

2. Завантаження компактованого силосу:

Технологія розрахунку аналогічна до попередньої. Вихідні дані: $V_{гр} = 2 \text{ м}^3$; середній розмір силосу $\alpha' = 100 \text{ мм}$; $\gamma_M = 1,1 \text{ м}^3$; $\tau_0 = 45^\circ$; $\varphi_0 = 30^\circ$ (якщо $f_0 = 0,57$); $\varphi_0 = 27^\circ 37'$ (якщо $f_0 = 0,57$).

Кут ковзання буде визначено за формулою τ , і дорівнюватиме 30° , кут $\tau' = 0$.

Ширину B , розкриття L , кут θ , розміри $\frac{0}{r}$, $\frac{r_3}{r}$, будуть такі ж як і в попередньому розрахунку.

Подивимось на товщину ножа, для роботи з 2 матеріалами(формула 2.43):

$$\delta = 0,012 \cdot 1,45 \cdot \sqrt{2} = 0,022 \text{ м}$$

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Перевіримо ще раз умову міцності, тільки враховуючи, що матеріал, це компактований силос:

Сталь СтЗсп:

$$Q_{гр\ min} = 2 \cdot 0.6 \cdot 1.1 \cdot 1.5 \cdot 1.0 = 1980 \text{ кг}$$

Легована сталь 10ХСНД:

$$Q_{гр\ min} = 2 \cdot 0.6 \cdot 1.1 \cdot 1.2 \cdot 1.0 = 1580 \text{ кг}$$

Розрахункову величину тиску при зануренні на глибину 42,4 см (формула 2.59):

$$P_0 = 31 \cdot 42.5 \cdot 0.0011 \cdot 0.58^2 \frac{2.2 + 10}{2.2} = 2.68 \text{ кг/см}^2$$

Відповідно, розглянемо коефіцієнти k_2 (формула 2.48) та k_k (формула 2.49):

$$k_2 = \frac{1.732^2 \cdot 0.52 \cdot 0.965}{6 \cdot 0.819} \cdot \frac{1.1 \cdot 10 - 3 \cdot 42.52}{2.2 \cdot 2.68} = 0.104$$

$$k_k = \frac{2 \cdot 0.52}{3 \cdot 0.58^2 \cdot 1.091} \cdot \frac{1}{1.68} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0.3640 \cdot 2}{1.68}} = 0.53$$

Знайдемо значення R_1 (формула 2.61) та R_0 (формула 2.45):

$$R_1 = 168 \cdot 2.2 \cdot 2.68 = 990 \text{ кг}$$

$$R_0 = 33 \cdot \frac{1.732}{0.52} \cdot 1.077 = 118 \text{ кг}$$

$$k_0 = \frac{2}{3} \cdot \frac{19}{1.68} \cdot \frac{0.58}{0.582 \cdot 1.732} = 118 \text{ кг}$$

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За формулою 2.62 значення Q_m буде становити 2200 кг. Власна маса грейфера для такого випадку буде: $\alpha_n = 2$; $\eta = 0,94$; $n = 2,83$; $k_f = 1,15$; $C = 0,483$. За графіком: $T_1 = 30$; $T_2 = 2,5$; $T_3 = 2,9$; $A_3 = 6$.

Значення $Q_{гр}$, для компактованого силосу буде становити (формула 2.28):

$$Q_{гр} = \frac{2200 \cdot (1 + 2.08) + 2 \cdot 910 \cdot 6 + 2 \cdot 0.96 \cdot 1.15 \cdot 118 \cdot 1.22}{(0.25 + 0.05 + 1.83) \cdot 3 + 0.36 \cdot 2.55 + 0.05 \cdot 2.9} = 2550 \text{ кг}$$

Зробимо висновки по цим 2 розрахункам:

- Якщо проєктувати грейфер для силосу і добриво, його вага має становити 2265 кг.
- Якщо проєктувати грейфер тільки для завантаження компактованого силосу, то маса його має становити 1985 кг, для виготовлення із сталі СтЗсп або 1585 кг, для виготовлення із сталі 10ХСНД.
- Якщо проєктувати для погрузки комплексного добрива, вага для 1 випадку має становити 2170 кг, для 2 випадку – 1675.

Із цього висновку видно, що грейфере, який нам найкраще буде підходити описано у 1 випадку.

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1. Загальні вимоги з охорони праці

Охорона праці є невід'ємною складовою праці. Для забезпечення безпечної експлуатації конструкції необхідно дотримуватися рядів заходів із охорони праці, які оптимізують необхідну роботу для працівника. Дотримання таких вимог мінімізує ймовірність отримання поранень різного роду та продовжує термін ефективної експлуатації самої установки, передбачаючи передчасному зносу та аварійних ситуацій. Організацією безпечної роботи і відповідної документації має забезпечити роботодавець або керівник проведених робіт. Вони мають забезпечити контроль за дотриманням інструкцій на всіх етапах. Виконання робіт має відповідати макрокліматичним районам, у яких буде проведена експлуатація, вони мають враховувати вологість, температуру, вітер та ін. кліматичні фактори.

Основні аспекти для безпеки праці під час монтажу, експлуатації установки, а також засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) будуть описані нижче.

Допуск вантажопідіймальної машини здійснюється тільки після успішного проведення зважування пробного вантажу для зачерпування, яке має проводитися з горизонтальної поверхні. Вантажопідйомність має затверджуватися відповідним протоколом, що зберігається разом із паспортом об'єкта.

Сукупна маса грейфера разом із матеріалом не має перевищувати номінальної вантажопідйомності машини, перевищення такого показника призведе до перевантаження механізму та втрати стійкості. Конструкція

					<i>01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Сябрук М.С.</i>			<i>Охорона праці</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Кадикало І.О.</i>					57	79
<i>Н. Контр.</i>		<i>Ловейкін В.С.</i>				<i>НУБіП України</i>		
<i>Затверд.</i>								

грейфера має унеможливити довільне розкриття під час переміщення вантажу і вихід канатів із ривчаків блоків. Сам грейфер, як змінне захоплювальне пристосування, має бути оснащений інформаційною табличкою із найменуванням необхідних параметрів і паспортом, де написані його технічні характеристики.

Механізм замикання і підймання грейферного крана має оснащуватися пристроями, що зупиняють роботу під час:

- Піднімання, коли відстань між буферами захоплювального органа та елементами вантажного візка досягатиме 1 м (запобігає зіткненню грейфера з елементами установки);
- Опускання, коли на барабані залишаються навити не менше 3 витків на барабані (запобігає повному змотуванню каната та можливому вириванню із кріплення).[21]

Діаметр барабанів і блоків, по яких рухаються сталеві канати, для канатів розраховується за формулою:

$$D \geq h \cdot d, \quad (3.1)$$

де, D – діаметр барабана чи блока по середній лінії навитого каната, мм;

d – діаметр каната, мм;

h – коефіцієнт, що враховує тип механізму (механізм підйому вантажу, зміни вильоту стріли, та ін.), типу каната і режиму експлуатації машини. Значення вибирається у відповідності з нормативними документами та стандартами.[22]

Занадто малий діаметр барабана може призвести до значних вигинальних напружень у канаті при проходженні через блок або при навиванні на барабан. Це спричиняє знос каната, раптовий обрив, який може привести до падіння вантажу та серйозних аварій.

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Під час експлуатації установки працівник зобов'язаний:

- Встановити або визначити межі робочої зони.
- Позначити, в разі необхідності, небезпечні зони відповідними знаками безпеки, написами та сигнальними огорожами.
- Не допускати перебування сторонніх осіб на автомобілі під час завантаження чи розвантаження.
- У зонах розвантаження/завантаження не допускається проведення будь-яких інших робіт.
- Не допускати перевантаження людей на роботах, де це не передбачено.[21]

3.2. Вимоги, щодо використання обладнання

Обладнання, яке буде надаватися працівникам та використовуватися за призначенням має бути справним технічно і відповідати вимогам:

- Технічним регламентам;
- Загальним мінімальним вимогам безпеки до обладнання.[21]

Якщо наявне обладнання не відповідає сучасним вимогам, то мають бути проведені заходи покращення на протязі 4 років. Протягом цього періоду роботодавець повинен вжити всі необхідні заходи для забезпечення максимально безпечного використання. Це може включити посилений контроль, інструктажі, обмеження режимів роботи.

Крім запланованих оглядів технічне обслуговування і ремонт повинні проводитися регулярно, щоб забезпечити безпеку обладнання протягом всього строку служби. Мають бути забезпечені обов'язкові перевірки технічного стану: первинна, періодична, позачергова, експертна. Також нагляд за безпечною експлуатацією має здійснюватися постійно.

Основні види небезпек під час експлуатації:

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Механічні (обрив каната, поломка гальм, падіння вантажу, перекидання, неконтрольований рух, поломка деталей, форма обладнання, викид деталей або рідин під тиском);
- Електричні (електрошок, опік, пожежа, вибух, погана або пошкоджена ізоляція кабелів та електропроводів, прямий/непрямий контакт з напругою);
- Термічні (опіки або обмороження при контакті з поверхнею високої або низької температури, вибух ємностей під тиском, полум'я внаслідок пожежі);
- Шум і вібрація (втома, стрес, порушення слухового апарату, зниження уваги, підвищений рівень вібрації негативно впливає на опорно-руховий апарат, нервову та серцево-судинну системи);
- Хімічні (витік паливо-мастильних матеріалів, гідравлічних рідин, витік газів, пил, пар вплив шкідливих речовин, що містять у вантажах, які переміщуються);
- Ергономічні (незручна поза оператора, незручність використання обладнання, надмірне фізичне навантаження, відсутність або недостача захисних огорожень рухомих частин, неправильні або нераціональні робочі рухи та прийоми);
- Несподіваний пуск, перевищення швидкості, тощо;
- Поломки під час роботи;
- Падаючі предмети;
- Небезпека наїзду при поступальному русі крана, машини (відсутність закріплення/машиніста, занадто висока швидкість крана);
- Недостатньо розроблені, або незрозумілі інструкції з експлуатації та охорони праці;
- Неприятливі погодні умови.[21]

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мінімальні вимоги до безпеки обладнання: стійкість конструкції (забезпечує стійкість за всіх умов); чіткі позначення: вантажопідйомності, розподілу навантаження, основні характеристики необхідні для безпечного використання (робочий тиск, напруга живлення); попереджувальні знаки про написи та небезпеку.

3.3. Безпека під час вантажно-розвантажувальних робіт.

Вимоги до місця проведення робіт, згідно до постанови Кабінету Міністрів України:

- Небезпечні зони мають бути чітко позначені знаками безпеки (або за огороженні) відповідно до НПАОП 0.00-1.01-07 та ГОСТ ДСТУ EN ISO 7010:2019.
- Вантажно-розвантажувальні роботи повинні проводитися на спеціально підготовленому майданчику, на рівному твердому місці, або з ухилом, який не повинен перевищувати 5°.
- Повинен бути забезпечений безпечний і раціональний рух транспортних засобів і працівників без перетину маршрутів.
- Робочі майданчики мають бути забезпечені природним і штучним освітленням відповідно до чинних нормативів та правил. При немеханізованому навантаженні/розвантаженні вантажу – 2 лк, для вантажопідіймальних машин – 10 лк. Освітленість має бути рівномірною, без створення різких тіней та сліпучої дії на працівників (особливо на оператора установки).
- Площа майданчиків для складування вантажу має забезпечувати відстань між транспортними засобами не менше ніж 1 м. Поблизу будинків, між будинком і ТЗ – 0,8 м, для забезпечення безпечного проходу для людей.

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

- Швидкість руху транспорту не повинна перевищувати: на території підприємства – 10 км/год, перетинання переїздів, при в'їздах і виїздах – 5 км/год, подача заднім ходом – 3 км/год, автоелектронавантажувачі та електрокари – 3 км/год.
- За потреби, на майданчиках та проїздах має наноситись чітка розмітка, що позначає проходи для людей, проїзди транспорту, місця складання вантажу та їхню спеціалізацію.
- У місці роботи повинен бути забезпечений простір, необхідний для безпечного маневрування машини і вантажу, а також забезпечення належного огляду робочої зони.

Вимоги під час виконання робіт із застосуванням вантажопідіймальних машин, вантажозахоплювальних пристроїв, та інших пристосувань:

- Маса вантажу, що піднімається, має бути точно визначена до підіймання. (може вказуватися в супровідних документах на вантаж, на самому вантажі, або шляхом зважування). Перевищення записаної у паспорті вантажопідйомності машини категорично заборонено.
- При переміщенні вантажу у горизонтальному напрямку необхідно попередньо підняти його не менше ніж на 0,5 м, від предметів, що можуть трапитися на шляху. (обладнання, конструкції, штабелі вантажів).
- Опускання вантажу має здійснюватися плавно, без ривків, на задалегідь підготоване та вільне місце, що унеможливило його падіння, перекидання або сповзання.
- Вантаж необхідно піднімати прямовисно, плавно, без ривків, розгойдування, не допускати торкання предметів.
- Не дозволяється переносити такі вантажі: примерзлі або затиснені; при похилому положенні поліспасти; одночасно виконувати

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

піднімання або опускання 2 вантажів, розташованих близько один до одного.[20]

Порядок піднімання вантажу: підняти на невелику висоту, не більше 300 мм, короткочасно, 2-3 рази опустити на 100 мм для перевірки надійності роботи гальмівної системи, стійкості вантажопідіймального механізму, правильності стропування та рівномірному натягуванні стропів і тільки після цієї перевірки і впевненості у безпеці підняти вантаж на потрібну висоту.

Для безпечного розвороту великомасового та великогабаритного вантажу під час їх піднімання або переміщення необхідно використовувати спеціальні відтяжки-гаки або багри відповідного розміру та міцності. Виконувати такого роду завдання повинні спеціально призначені та проінструктовані працівники.

3.4. Мінімальні вимоги безпеки при використанні засобів індивідуального захисту.

Використання ЗІЗ є останнім етапом захисту працівника від дії небезпечних факторів, коли їх неможливо повністю усунути або обмежити деякими заходами.

Перелік небезпек, при яких використовуються додаткові ЗІЗ:

- Фізичні фактори (удари, порізи, падіння предметів, термічні ураження, підвищені/знижені рівні вібрації, шуму, вологості, напруги, випромінювання, освітленості, електромагнітного поля);
- Хімічні фактори (підвищена запиленість або загазованість повітря робочої зони шкідливими речовинами, контакт шкіри або слизових оболонок з агресивними речовинами);
- Біологічні фактори (контакт зі шкідливими бактеріями та вірусами, цвіль, гриби, тощо);

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

- Психофізіологічні фактори (підняття та переміщення вантажів вручну, робота в умовах підвищеної небезпеки, монотонність).[19]

Індивідуальні засоби захисту при експлуатації транспортного засобу із грейфером продемонстровані в таблиці 3.1. [18]:

Таблиця 3.1. ЗІЗ при виконанні робіт.

Частина тіла	Тип ЗІЗ	Призначення та умови використання
Голова	Захисна каска або шолом	Захист від ударів падаючими предметами, від ударів об елементи конструкцій.
Обличчя та очі	Захисні окуляри, щитки	Захист від пилу, дрібних частинок, іскор, бризок хімічних речовин.
Органи дихання	Респіратори, маски	Захист від вдихання пилу, парів та газів, обирається залежно від виду шкідливих речовин.
Органи слуху	Протишумові навушники, вкладиші	Рівні шуму, що створюються установкою, які перевищують допустимі санітарні норми – понад 80 дБА.
Ноги	Захисне взуття	Захист від механічних пошкоджень, від ковзання, впливу вологи та агресивних речовин.
Тіло та руки	Спецодяг, рукавиці	Захист від загальнопромислових забруднень, механічних впливів, контакту з небезпечними речовинами, захист від порізів.
Захист від падіння з висоти	Страховальна система	Застосовується при виконанні робіт на висоті понад 1,3 м за відсутності стаціонарних огорожень.

Дії у разі виникнення аварійних ситуацій та нещасних випадків:

- Припинення роботи. У разі несправності працівник зобов'язаний негайно припинити роботу, вимкнути обладнання, повідомити про небезпеку.
- Евакуація. За необхідності організувати безпечну евакуацію людей із небезпечної зони.
- Надання першої допомоги. У разі нещасного випадку надати першу домедичну допомогу, використовуючи аптечку та наявні засоби. Негайно викликати швидку допомогу при серйозних травмуваннях.
- Збереження місця події. Зберегти обстановку такою, яка вона була на момент аварії для об'єктивного розслідування причин.
- Інформування керівництва. Про кожну аварійну ситуацію або нещасний випадок негайно повідомити керівництво підприємства або керівника робіт.

На підприємстві мають бути розроблені плани ліквідації можливих аварійних ситуацій, а працівники ознайомлені з ними під підпис. Також необхідно включити тренування з відпрацюванням дій в разі аварійних ситуацій.

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

4.1. Загальні положення

У ринковій економіці ефективність випуску нової та інтегрованої техніки є ключовим чинником забезпечення конкурентоспроможності підприємства та для досягнення високих продаж підприємства. Сучасна техніка – це не лише набір характеристик і параметрів, це платформа для перегляду усталених технологічних рішень. Головним завданням на етапі розробки нововведення є економічне обґрунтування доцільності застосування, що має базуватися на розрахунку економічного ефекту та визначенні ціни.

Під час постановки на виробництво використовуються показники для формування цін, а також для визначення доцільності доплат за поліпшення техніко-економічних, соціальних і екологічних характеристик. Основним критерієм економічної ефективності нової техніки виступає зниження питомих витрат в порівнянні з базисною технікою.

Питома витрата є інтегральним показником, який враховує як технічні аспекти (продуктивність), так і економічні (капітальні та поточні витрати). У якості базисного зразка техніки обирається найкращий серійний або рекомендований до серійного виробництва аналог. У випадку універсальної техніки або техніки, яка є частиною комплексу машин, проводиться розширене зіставлення з відповідними технологічними лініями або ручною працею.

Особливої уваги потребує комплексний підхід до оцінювання економічного ефекту, який враховує як прямі так і непрямі вигоди – підвищення якості продукції, зниження витрат на обслуговування,

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Сябрук М.С.			Техніко-економічні показники	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Кадикало І.О.					66	79
Н. Контр.		Ловейкін В.С.				НУБіП України		
Затверд.								

праці, тощо. Економічна частина дипломного проєкту передбачає всебічний аналіз таких показників і розрахунок очікуваного ефекту впровадження нових технологій у виробничий процес.

Таким чином, розрахунок економічного ефекту дозволяє виявити переваги нової техніки з погляду зниження витрат та підвищення продуктивності, що є важливою умовою для прийняття рішень щодо впровадження в серійне виробництво та подальшу експлуатацію.

4.2. Розрахунок вартості капітального бюджету

Для розрахунку капітальних витрат необхідно врахувати ряд показників, які впливають на оптимальну роботу установки. Вони враховують такі елементи: покупки створенні із створенням, виробничим процесом, доставкою техніки споживачу, монтажем на місці використання установки та додаткові капіталовкладення зі сторони споживача.

Розрахуємо ж сумарні капітальні витрати на одиницю техніки з урахуванням транспортування:

$$K = Ц \cdot K_{\text{тр}} \quad (4.1)$$

де, K – загальні капітальні витрати, грн;

$K_{\text{тр}} = 1,09$, – коефіцієнт витрати на доставку машини;

$Ц$ – ціна на оптовому ринку.

Якщо рахувати значення для базової техніки, то воно буде становити:

$$K = 1\,249\,500 \cdot 1,09 = 1\,361\,955 \text{ грн} \quad (4.2)$$

При врахуванні, що ціна на ринку буде рівна $30\,000\$ = 1\,249\,500$ грн (при курсі – 41.65 грн до 1\$).[23]

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо ж використовувати нову техніку, то буде:

$$K = 1\,793\,750 \cdot 1,09 = 1\,955\,187,5 \text{ грн} \quad (4.3)$$

З цього видно, що використовувати техніку, яка вже була в експлуатації, вигідніше ніж нову. Різниця буде становити 593 232,5 грн.

Середній коефіцієнт використання протягом періоду експлуатації буде обчислюватися за формулою:

$$N_{\text{вик}} = \frac{t_p}{T} \quad (4.4)$$

де, t_p – час роботи машини за вибраний період,

T – період, в який машина буде експлуатуватися.

$$N_{\text{вик}} = \frac{10500}{25600} = 0,41 \quad (4.5)$$

Для цього розрахунку вибрали роботу у 2 зміни, середнє значення $\eta_{\text{вик}}$ буде становити 0,4.

4.3. Річні розрахунки продуктивності, машино-годин та експлуатаційних витрат

Будь-яке підприємство має планувати та розуміти внутрішні процеси. Зосередимося на ключових показниках, що формують основу для стратегічного планування: річної продуктивності, необхідного обсягу машино-годин та прогнозованих річних витрат.

Для визначення річної продуктивності необхідно знати середню експлуатаційну годинну продуктивність – $V_{\text{с.ч.}}$, річний фонд часу – T_p та коефіцієнт простою – $K_{\text{пр.}}$.

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$B = B_{\text{е.ч.}} \cdot T_p \cdot K_{\text{пр}} \quad (4.6)$$

Для отримання річного фонду машини необхідно розрахувати кількість машино-годин на рік, вона буде розрахована за наступною формулою:

$$T_p = D \cdot t_{\text{см}} \cdot K_{\text{см}} \quad (4.7)$$

де, $D = 245$ – кількість робочих днів за рік, днів/рік;

$t_{\text{см}} = 8$ – тривалість зміни, год/зміна;

$K_{\text{см}} = 1,2$ – коефіцієнт змінності.

Відповідно,

$$T_p = 245 \cdot 8 \cdot 1,2 = 2352 \text{ год/рік}$$

Якщо ще брати до уваги простої в роботі, то можна заокруглити отримане значення до 2300 год/рік.

Знаючи це значення, зможемо розрахувати річну продуктивність, формула 4.6:

$$B = 43,5 \cdot 2300 \cdot 0,95 = 95002 \text{ т/рік}$$

Подальші розрахунки річної продуктивності будуть напряму залежати від капітальних витрат. Ми прийняли, що краще експлуатувати техніку, яка вже використовувалась, її КП = 1 361 955. Для наступних кроків нам необхідні будуть дані значення: заробітна плата машиніста – 40 000 грн/місяць [25], вартість дизельного пального – 55,99 грн/л [26], вартість моторної оливи – 1680 грн за 20 л [27], вартість гідравлічної рідини – 29260 грн за бочку 200 л [28] (всі вищезазначені дані були взяті станом на травень 2025 року). Розрахуємо ж загальні витрати:

$$C = C_{\text{ам}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{т}} + C_{\text{то}} + C_{\text{м}} + C_{\text{гідр}} + C_{\text{осн.}} + C_{\text{переб.}} \quad (4.8)$$

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де, $C_{ам}$ – амортизаційні відрахування (щорічне перенесення вартості машини на собівартість продукції), грн/рік;

$C_{зп}$ – витрати на заробітну плату, грн/рік;

$C_{т}$ – витрати на паливо, грн/рік;

$C_{то}$ – витрати на технічне обслуговування, грн/рік;

$C_{м}$ – витрати на мастильні матеріали, грн/рік;

$C_{гдр}$ – витрати на гідравлічну рідину, грн/рік;

$C_{осн.}$ – витрати на допоміжні оснастки, що зношуються, грн/рік;

$C_{пероб.}$ – витрати на перебазування (переміщення машини між об'єктами), грн/рік;

Розберемо цю формулу і знайдемо недостатні значення:

$$C_{ам} = Ц \cdot N_a = 1\,249\,500 \cdot 0,12 = 149\,940 \text{ грн} \quad (4.9)$$

де, N_a – норма амортизації, відсоток від вартості, який щорічно описується за знос.

$$C_{зп} = ЗП_{міс} \cdot 12 \cdot \lambda \cdot K_p = 40000 \cdot 12 \cdot 1,3 \cdot 1,1 = 686\,400 \text{ грн} \quad (4.10)$$

де, $ЗП_{міс}$ – заробітна плата за місяць, грн;

12 – кількість місяців у році;

λ – частка, що враховує премії, відпускні, тощо;

K_p – коефіцієнт, що враховує особливості плати у певному регіоні.

$$C_{т} = Ц_{п} \cdot q \cdot T_p = 55,99 \cdot 22 \cdot 2300 = 2\,830\,306 \text{ грн} \quad (4.11)$$

де, $Ц_{п}$ – ціна дизельного палива, грн/л;

q – годинна витрата палива, л/год;

T_p – річний фонд роботи, год/рік.

$$C_{то} = 0,18 \cdot Ц_б = 0,18 \cdot 1\,249\,500 = 224\,910 \text{ грн} \quad (4.12)$$

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де, 0,18 – коефіцієнт витрат на ТО та ремонт.

$$C_M = \frac{q \cdot T_p}{100} \cdot H_{\text{м.м.}} \cdot C_{\text{м.м.}} = \frac{50600}{100} \cdot 2,8 \cdot 84 = 119\,011,2 \text{ грн} \quad (4.13)$$

де, $H_{\text{м.м.}}$ – норма витрати моторного масла на 100 л палива;

$C_{\text{м.м.}}$ – ціна 1л моторного масла, ($\frac{1680}{20} = 84$).

$$C_{\text{гiдр}} = V \cdot \rho \cdot C_M \cdot K1 = 110 \cdot 0,865 \cdot 169,13 \cdot 1,5 = 24\,183,6 \text{ грн} \quad (4.14)$$

де, V – об'єм гiдросистеми, л;

ρ – щiльнiсть гiдравлiчної рiдини, кг/л;

C_M – цiна гiдравлiчної рiдини, грн/кг, ($\frac{146,3}{0,865} = 169,13$)

$K1$ – коефіцієнт заміни рiдини.

$$C_{\text{осн.}} = 0,01 \cdot C_6 = 0,01 \cdot 1\,249\,500 = 12\,495 \text{ грн} \quad (4.15)$$

де, 0,01 – коефіцієнт витрат на оснащення.

$$C_{\text{пер.б.}} = 5700 \text{ грн} \quad (4.16)$$

Тож, маючи всі дані, підставимо їх у початкову формулу:

$$C = 149\,940 + 686\,400 + 2\,830\,306 + 224\,910 + 119\,011,2 + 24\,183,6 + 12\,495 + 5700 = 4\,052\,945,8 \text{ грн/рiк} \quad (4.17)$$

З даних розрахунків видно, що річна експлуатація мобільного грейферного крана забезпечує високий рівень продуктивності за умов стабільного технологічного навантаження. Розрахований фонд часу становить 2300 маш/год на рік, що відповідає виробничому циклу у 2-змінному режимі експлуатації. Середня експлуатаційна продуктивність – 43,5

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

т/год, що забезпечує річний вантажообіг на рівні понад 95 тис.т. Це свідчить про високу ефективність при виконанні навантажувально-розвантажувальних робіт. Сукупні річні витрати становлять 4 052 945,8 грн. цей півень витрат є обґрунтованим з огляду на обсяг виконуваних робіт і дозволяє здійснити подальшу оцінку економічної доцільності впровадження машини у виробничий процес.

Техніка демонструє раціональне співвідношення між продуктивністю та витратами, що створює передумови для забезпечення економічного ефекту у наступних періодах експлуатації.

4.4. Рентабельність та строк окупності

Після вище проведеної оцінки доцільним є розрахунок доцільності впровадження техніки. Ключовими показниками стають рентабельність та строк окупності – індикатори, що дозволяють оцінити необхідність реалізації проєкту в умовах виробничої діяльності. Рентабельність відображає співвідношення отриманого доходу до витрат, тоді як строк окупності демонструє, за який період проєкт повністю компенсує вкладені кошти за рахунок отриманого прибутку.

Тож розглянемо ці показники на основі попередньо визначених продуктивності, собівартості та річного економічного ефекту. Результати дадуть змогу зробити висновок щодо доцільності впровадження мобільного крана з грейфером у виробничий процес.

Рентабельність:

$$q = \frac{B \cdot C_{\text{од}}}{C} = \frac{95\,002 \cdot 50}{4\,052\,945,8} = 1,172 \quad (4.18)$$

де, q – рентабельність;

B – річна продуктивність, т/рік;

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$C_{од}$ – ціна за 1 тону продукції, грн/т;

C – загальні річні експлуатаційні витрати, грн/рік.

Рентабельність, виходячи із розрахунків свідчить про високу ефективність використання вкладених коштів. Це означає, що на кожен 1 гривню витрат припадає 1,172 гривні доходу, тобто проєкт генерує прибуток.

Такий показник демонструє доцільність впровадження техніки у виробничий процес, адже він перевищує критичний рівень рентабельності, $r > 1$, при якому діяльність вважається беззбитковою. В умовах ринку досягнутий результат вказує на прибутковість проєкту та конкурентоспроможність технічного рішення.

Строк окупності – період часу, за який початкові капіталовкладення повністю повертаються за рахунок чистого прибутку.

Річний прибуток буде становити:

$$П = В \cdot C_{од} - C = 4\,863\,552,38 - 4\,052\,945,8 = 810\,606,58 \text{ грн/рік} \quad (4.19)$$

де, $П$ – річний прибуток, грн/рік;

$В \cdot C_{од} = 95002 \cdot 51,19 = 4\,863\,552,38$ грн/рік – річний дохід;

Тепер розрахуємо строк окупності:

$$T_{окуп} = \frac{K_{кап}}{П} = \frac{1\,361\,955}{810\,606,58} = 1,68 \text{ років} \quad (4.20)$$

Тепер видно, що всі інвестиції, купівля, монтаж, налагодження обладнання, повністю окупляться за 1 рік і приблизно 7 місяців. Після цього вся отримана виручка буде приносити чистий прибуток, а не лише покривати витрати. Такий показник є відмінним, бо він свідчить про високу економічну ефективність проєкту та швидке повернення вкладених коштів як для інвестора, так і для того, хто тільки розпочав вести такий бізнес.

Економічний ефект:

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$E = B \cdot C_{\text{од}} - C = 810\,606,58 \text{ грн/рік} \quad (4.21)$$

Цей показник демонструє ефективність інвестицій і дає змогу зробити обґрунтований висновок про доцільність впровадження техніки у виробництво. У нашому випадку проект є ефективним і доцільним.

Для кращої орієнтації по числам та для кращого розуміння, пропоную ознайомитися із нижченаведеною таблицею. У ній розміщені дані, які показують загальні витрати при експлуатації машини за рік.

Таблиця 4.1. Експлуатаційні витрати

Витрати	Значення для техніки
Загальні витрати, грн	4 052 945,8
Капітальні витрати, грн	1 361 955
Всього, грн	5 414 900,8

Загальні витрати становлять не малу суму коштів, але там входить не один складник. Оптимальним варіантом ознайомлення буде також таблиця, пропоную її зобразити нижче:

Таблиця 4.2. Загальні витрати

Складники	Позначення	Значення
Амортизаційні відрахування, грн/рік	$C_{\text{ам}}$	149 940
Витрати на ЗП, грн/рік	$C_{\text{зп}}$	686 400
Витрати на паливо, грн/рік	$C_{\text{т}}$	2 830 306
Витрати на ТО та поточний ремонт, грн/рік	$C_{\text{то}}$	224 910
Витрати на мастильні матеріали, грн/рік	$C_{\text{м}}$	119 011,2
Витрати на гідравлічну рідину, грн/рік	$C_{\text{гїдр}}$	24 183,6

Складники	Позначення	Значення
Витрати на оснастку, грн/рік	$C_{осн}$	12 495
Витрати на перебазування, грн/рік	$C_{пероб.}$	5700
Всього	C	4 052 945,8

Продовження таблиці 4.2.

Підводячи підсумки, можна відзначити, що ми знайшли інвестиційні затрати на початку проекту; визначили високу операційну здатність в умовах експлуатації; знайшли інтегральний показник усіх поточних витрат, необхідних для функціонування машини; досягли приємної прибутковості підприємства; отримали позитивний економічний ефект від впровадження проекту; досягли оптимального і привабливого строку окупності проекту, який підкреслює високу інвестиційну ліквідність даного технічного рішення. Визначені параметри слугують надійним фундаментом для прийняття обґрунтованих управлінських рішень щодо подальшої реалізації проекту.

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

У результаті виконання даної роботи було здійснене комплексне дослідження конструктивних особливостей грейферних механізмів із подальшим аналізом їхньої ефективності, безпеки та економічної доцільності застосування у промислових умовах. Основним завданням було не лише поглиблення вивчення існуючих рішень, але й обґрунтування конструктивного удосконалення, що забезпечить підвищення надійності, зменшення енергоспоживання та оптимізацію експлуатації.

У першому розділі був проведений системний аналіз наявних конструкцій. Виявлено, що сучасні ПР значно варіюються за призначенням, схемами та вантажопідйомністю. Особливу увагу приділено платформам, на яких розміщуються пристрої завантаження-розвантаження, що слугують базисом для стабільності всієї конструкції. Захватні механізми дали змогу виділити найбільш доцільні конструкції для подальшого аналізу та розрахунків.

Другий розділ акцентовано на розрахунках. Було проведено оцінку стану грейфера при різних умовах навантаження. Значну увагу приділено силам, які діють на нього. Розрахунок продемонстрував переваги у зменшенні ваги конструкції, що позитивно впливає на енергоефективність, але із тим вимагає точних розрахунків на динамічні навантаження.

У 3 розділі систематизували вимоги щодо охорони праці на етапах проектування та експлуатації. Вивчені регламенти дали підґрунтя для формулювання рекомендацій щодо захисту персоналу. Окремий акцент зроблено на ЗІЗ, відповідно до типу небезпеки, що виникає під час роботи з грейфером.

					<i>01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Сябрук М.С.</i>			<i>Висновок</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Кадикало І.О.</i>					76	79
<i>Н. Контр.</i>		<i>Ловейкін В.С.</i>				<i>НУБіП України</i>		
<i>Затверд.</i>								

Техніко-економічний аналіз у 4 розділі дозволив комплексно оцінити ефективність запропонованої конструкції. На основі знайдених даних було здійснено оцінку капіталовкладень у виробництво та експлуатацію грейфера. Важливою складовою стала оцінка окупності, що продемонстрував високу перспективу впровадження модернізованої конструкції у промислові процеси.

Узагальнюючи результати, варто зазначити, що запропоновані рішення базуються на поєднанні глибокого теоретичного аналізу та практичних розрахунків. Суттєвим досягненням роботи стало узгодження конструктивної оптимізації з вимогами експлуатації, що дозволить впевнено рекомендувати запропоноване рішення для подальшого впровадження в галузях. У процесі дослідження було задіяно знання з механіки, матеріалознавства, гідравліки, ергономіки, а також економіки виробництва. Це дало змогу розробити технічно грамотну конструкцію.

Отже, проведена робота підтвердила актуальність обраної тематики, розкрила глибину аналізу конструкції навантажувальних пристроїв і продемонструвала здатність адаптації теоретичних знань до реальних інженерних задач.

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Синтез роботехнічних систем в машинобудуванні / Л. Пелевін та ін. Київ : ТОВ "НВП "Інтерсервіс"", 2016., 258 с.
2. Цвіркун Л., Грулер Г. Робототехніка та мехатроніка: навч. посіб.. 3-тє вид. Дніпро : НГУ, 2017. 224 с.
3. Gasparetto A., Scalera L. A Brief History of Industrial Robotics in the 20th Century. *Advances in Historical Studies*. 2019., 8, С. 24–35. URL: <https://doi.org/10.4236/ahs.2019.81002>.
4. Paar V. Boosting Efficiency and Transparency: tmMDC enhances Robel Rail Automation’s ROBOT. *Track Machines Connected. News*. URL: <https://www.tmconnected.com/en/news/product-news/boosting-efficiency-and-transparency-tmmdc-enhances-robel-rail-automations-robot/>.
5. Innovative Welding Robot for Railway Maintenance. *ROBEL. News*. 09.10.2024. URL: <https://newsroom.robel.com/en/innovative-welding-robot-for-railway-maintenance/>.
6. Робот для розмінування Mini-CALIBER. *ПОСТ-01. Каталог*. URL: https://www.post-01.com.ua/ua/catalog/oborudovanie-i-spetsredstva-dlya-armii-i-politsii/razminirovanie/icor_robots/Mini-caliber.html.
7. Волянюк В. Підйомно-транспортні машини (системи): конспект лекцій. Київ : КНУБА, 2019. 144 с.
8. Компания Hyva выводит на рынок четыре новых семейства кранов. *Hyva. Новини*. 01.08.2018. URL: <https://www.hyva.com/ru-ua/news/launch-of-four-new-hyva-crane-families/>.
9. ESSEL Crane MODEL EC130Z-96. *ESSEL. Products*. URL: https://www-essel-sk.translate.google.com/crane/modelec130z96?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=uk&_x_tr_hl=uk&_x_tr_pto=sc.

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Список використаних джерел					
Розроб.		Сябрук М.С.						Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Кадикало І.О.							78	79
Н. Контр.		Ловейкін В.С.						НУБіП України		
Затверд.										

10. Coxworth B. Tready robot uses treaded flippers to overcome obstacles. *New Atlas Robotics*. 16.08.2021. URL: <https://newatlas.com/robotics/tready-robot-treaded-flippers/>.
11. Морська стаціонарна платформа. *Вікіпедія. Нафтові платформи*. 25.04.2022. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Морська_стаціонарна_платформа.
12. Поліщук Л. Верстатні комплекси. Проектування роботів та маніпуляторів. Частина 1 : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2018. 132 с.
13. Павленко І., Годунко М. Захватні пристрої роботів : монографія. Кропивницький : Видавництво ТОВ «КОД», 2020. 386 с.
14. Types Of Robot Grippers And Their Applications. *Dorna Robotics. Blogs*. 13.10.2023. URL: <https://dorna.ai/blog/types-of-grippers-for-robots/>.
15. Організація і технологія вантажно-розвантажувальних робіт : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання / В. Кужель та ін. Вінниця : ВНТУ, 2022. 152 с.
16. Нікітін В., Серілко Д., Бундза О. Методичні вказівки : до лабораторних робіт з нормативної навчальної дисципліни: "Вантажопідйомна, транспортуюча та транспортна техніка". Рівне : НУВГП, 2019. 59 с.
17. Гакова підвіска крана. *Кранкомплект. Механічне обладнання*. URL: https://ua.krannokomplekt.com/mekhanicheskoye_oborudovaniye/kryukovaya-podveska/.
18. Про затвердження Мінімальних вимог безпеки і охорони здоров'я при використанні працівниками засобів індивідуального захисту на робочому місці : МІНІСТЕРСТВО СОЦІАЛЬНОЇ ПОЛІТИКИ

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

УКРАЇНИ, НАКАЗ від 29.11.2018, № 1804. URL:
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1494-18#Text>.

19. Про затвердження Правил охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями : МІНІСТЕРСТВО СОЦІАЛЬНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ, НАКАЗ від 19.12.2013, № 966 : станом на 28.03.2013. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0327-14#Text>.
20. Про затвердження Правил охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт : МІНІСТЕРСТВО СОЦІАЛЬНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ, НАКАЗ від 19.01.2015, № 21. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0124-15#Text>.
21. Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання : МІНІСТЕРСТВО СОЦІАЛЬНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ, НАКАЗ від 19.01.2018, № 62. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0244-18#Text>.
22. Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання : МІНІСТЕРСТВО СОЦІАЛЬНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ, НАКАЗ від 19.01.2018, № 62. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0244-18#Text>.
23. Урал 4230 1982. *Auto.ria. Спецтехніка.* URL: https://auto.ria.com/uk/auto_ural_4230_38334867.html.
24. Урал 4320 1987. *Auto.ria.* URL: https://auto.ria.com/auto_ural_4320_36468150.html.
25. Машиніст автокрана. *Robota.ua. Водій маніпулятора.* URL: https://robota.ua/company13914720/vacancy10499223?ref=search&cre=search_new&pos=dkp_search_new.
26. ОККО. Головна. URL: <https://www.okko.ua/fuels>.

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

27. ОЛІЯ М10Г2К ДИЗЕЛЬНЕ КАНІСТРА 20Л ГОСТ 8581-78. *Aristey Oil Ltd. Вітрина*. URL: https://hrms.com.ua/p942568644-maslo-m10g2k-dizelnoe.html?source=merchant_center&gad_source=1&gad_campaignid=11909229347&gclid=CjwKCAjw6NrBBhB6EiwAvnT_rhSQ02ZUoRFH0pPOQ5fgI3Y6TkJ94ONdJsakzh3Wxny8jauxrSCqhhoCUIkQAvD_BwE.
28. Олива гідравлічна АМГ-10 (-50) Аріан. *ТОВ ЗТМ "АРІАН". Оливи гідравлічні*. URL: <https://masloarian.com.ua/ua/p57081650-maslo-gidravlicheskoe-amg.html>.

					01.09-КР.2265«С»2024.12.16.024 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81