

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра агроінжинірингу

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри

Шуляк М.Л.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за бакалаврським рівнем вищої освіти

На тему: «Проект комплексу технічних засобів механізації навантажувальних операцій в умовах НПЦ СНАУ»

Виконав:

(підпис)

Едуард ЄРЬОМЕНКО

(Прізвище, ініціали)

Група:

_____ АІ 2201 – 2ст.

(Науковий) керівник:

(підпис)

Євген КОНОПЛЯНЧЕНКО

(Прізвище, ініціали)

Суми – 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет **Інженерно-технологічний**

Кафедра **агроінжинірингу**

Ступінь вищої освіти **«Бакалавр»**

Спеціальність **208 «Агроінженерія»**

ЗАТВЕРДЖУЮ:

завідувач кафедри

Михайло ШУЛЯК

“ _____ ” _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

Едуард ЄРЬОМЕНКО

(ім'я, прізвище)

1. Тема проекту (роботи) Проект комплексу технічних засобів механізації навантажувальних операцій в умовах НПП СНАУ

2. Керівник проекту (роботи) Коноплянченко Є.В., к.т.н., доц.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ _____ ” _____ року № _____

3. Строк подання студентом проекту (роботи) 25.05.2025р.

4. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

Базове господарство: НПП СНАУ

Базова модель: навантажувач Toyota Traigo 80 (2,5 m)

5. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

1. Аналіз технічних засобів механізації навантажувальних операцій в сучасному сільському господарстві

2. Розробка організації і технології ТО навантажувачів

3. Особливості планового ТО навантажувача Toyota Traigo80, 4-wheel 2.5t

4. Конструкторська частина

5. Охорона праці

6. Техніко-економічне обґрунтування рішень

6. Перелік графічного матеріалу

1. Класифікація засобів механізації навантажувальних операцій

2. Технічна характеристика навантажувача Toyota Traigo80, 4-wheel 2.5t

3. Будова та принцип роботи установки

4. Загальний вид установки

5. Загальний вид установки (другий аркуш)

6. Складальне креслення складальних одиниць

7. Деталювання

8. Техніко-економічні показники

7. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці			
Нормоконтроль			
Економічне обґрунтування			

Дата отримання завдання "04" вересня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Погоджено з керівником кваліфікаційної роботи
1.	Обрання теми	до 01.10.2024	
2.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 01.12.2024	
3.	Складання плану роботи	до 01.01.2025	
4.	Написання вступу	до 23.01.2025	
5.	Написання другого розділу	до 15.02.2025	
6.	Написання третього розділу	до 12.03.2025	
7.	Написання першого розділу	до 15.04.2025	
8.	Підготовка розділів «Охорона праці» та «Економічне обґрунтування»	до 01.05.2025	
9.	Написання висновків	до 07.05.2025	
10.	Подання роботи на перевірку унікальності	до 10.05.2025	
11.	Подання на рецензування	до 24.05.2025	
12.	Подання до попереднього захисту	до 25.05.2025	

Керівник роботи

_____ Євген КОНОПЛЯНЧЕНКО
(підпис) (ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Здобувач

_____ Едуард ЄРЬОМЕНКО
(підпис) (ім'я ПРІЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

Єрмоєнко Едуард Юрійович «Проект комплексу технічних засобів механізації навантажувальних операцій в умовах НПЦ СНАУ».

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня бакалавра за освітньою програмою «Агроінженерія» зі спеціальності 208 «Агроінженерія» Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025.

У кваліфікаційній роботі розглянуто сучасні технічні засоби механізації навантажувально-розвантажувальних операцій в умовах НПЦ СНАУ. Проведено комплексний аналіз колісних, гусеничних, телескопічних та міні-навантажувачів, зернових конвеєрів, AGV/AMR та електро-/гібридних моделей з урахуванням технічних характеристик і умов експлуатації. Розроблено організацію технології технічного обслуговування навантажувачів, включаючи планування ТО, діагностику, управління запасними частинами та заходи з охорони праці. Детально описано принцип дії й конструкцію установки для миття техніки, виконано розрахунки міцності та технічне обслуговування обладнання. Проведено економічне обґрунтування проекту: розраховано витрати, доходи та показники рентабельності комплексу на базі НПЦ СНАУ. Практичні рекомендації можуть бути використані для підвищення ефективності навантажувально-розвантажувальних процесів, зниження експлуатаційних витрат та збільшення продуктивності підприємства .

Ключові слова: механізація, навантажувальні операції, технічні засоби, вилковий електронавантажувач, технічне обслуговування, установка для миття, аналіз ефективності, рекомендації.

ABSTRACT

Yeryomenko, Eduard Yuriiovich. “Design of a Complex of Technical Means for Mechanizing Loading Operations under the Conditions of the EPC SNAU”

Bachelor’s thesis for the degree of Bachelor in the educational program “Agroengineering,” specialty 208 “Agroengineering.” Sumy National Agrarian University, Sumy, 2025.

In this thesis, modern technical means for mechanizing loading and unloading operations within the Educational-Practical Center of Sumy National Agrarian University are examined. A comprehensive analysis is performed on wheeled, tracked, telescopic, and mini-loaders; grain conveyors; AGV/AMR systems; and electric/hybrid models, taking into account their technical specifications and operating conditions. The organization of the maintenance technology for loaders is developed, including maintenance scheduling, diagnostic procedures, spare-parts management, and occupational safety measures. The operating principle and design of the equipment-washing installation are described in detail, and strength calculations as well as maintenance procedures for the equipment are carried out. An economic justification of the project is provided: costs, revenues, and profitability indicators for the complex at the SNAU Educational-Practical Center are calculated. The practical recommendations offered can be used to enhance the efficiency of loading and unloading processes, reduce operating costs, and increase enterprise productivity.

Keywords: mechanization, loading operations, technical means, electric powered forklift, maintenance, washing equipment, efficiency analysis, recommendations.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ МЕХАНІЗАЦІЇ НАВАНТАЖУВАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙ В СУЧАСНОМУ СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ	11
1.1 Колісні фронтальні навантажувачі	11
1.2 Гусеничні навантажувачі	13
1.3 Телескопічні навантажувачі	13
1.4 Міні-навантажувачі (Skid Steer Loaders)	14
1.5 Зернові конвеєри та норії	14
1.6 Автономні керовані транспортні засоби (AGV/AMR)	15
1.7 Електричні та гібридні навантажувачі	15
1.8 Область застосування та рекомендації вибору навантажувачів	17
1.9 Висновки по розділу	17
2 РОЗРОБКА ОРГАНІЗАЦІЇ І ТЕХНОЛОГІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ НАВАНТАЖУВАЧІВ	18
2.1 Актуальність та нормативно-правова база	18
2.2 Структура організації ТО	19
2.3 Технологія планового технічного обслуговування	19
2.4 Діагностика та диспетчеризація	20
2.5 Управління запасними частинами	20
2.6 Приклади результативного впровадження	21
2.7 Завдання системи технічного сервісу	21
2.8 Аналіз діючих форм технічного сервісу	22
2.9 Шляхи реформування та вдосконалення технічного сервісу	
АПК	23
2.10 Організація планування й обліку технічного обслуговування машино-тракторного парку	24

2.11 Висновки по розділу	24
3 ОСОБЛИВОСТІ ПЛАНОВОГО ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ НАВАНТАЖУВАЧА TOYOTA TRAIGO80, 4-WHEEL 2.5T	25
3.1 Загальні відомості та технічні характеристики навантажувача Toyota Traigo80.	25
3.2 Особливості планового технічного обслуговування навантажувача Toyota Traigo 80 (2,5 т)	28
3.3 Технологічний процес виконання технічного обслуговування	29
4 РОЗРОБКА УСТАНОВКИ ДЛЯ МИТТЯ МАШИН	31
4.1 Призначення, будова і принцип роботи	31
4.2 Принцип роботи аручної установки для миття навантажувачів	34
4.3 Розрахунки, що підтверджують роботоздатність конструкції	36
4.4 Технічне обслуговування обладнання	37
4.5 Економічне обґрунтування необхідності виконання мийних операцій	37
4.6 Висновок по розділу	39
5 КОМПЛЕКС ЗАХОДІВ ІЗ ОХОРОНИ ПРАЦІ ДЛЯ ЗОНИ МИТТЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ	40
5.1 Загальні організаційні заходи	40
5.2 Заходи запобігання дії небезпечних та шкідливих факторів	40
5.3 Вплив на екологію	43
6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	45
6.1 Економічна доцільність проведення комплексу технічних засобів механізації навантажувальних операцій в умовах НПЦ СНАУ	45
6.2 Опис проблеми та економічне обґрунтування необхідності механізації	45
6.3 Методика економічного обґрунтування	46

6.4 Розрахунок витрат і вигод	48
6.5 Оцінка ефективності та ризиків	49
6.6 Практичне підтвердження на базі НПЦ СНАУ	50
6.7 Висновки та рекомендації	51
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	54
ДОДАТКИ	56

ВСТУП

Навантажувально-розвантажувальні операції є невід'ємним елементом логістичного циклу в сучасному сільському господарстві. Вони забезпечують своєчасне та безпечне переміщення зерна, добрив, кормів, технічних засобів та інших матеріалів у різних секторах агровиробництва. Актуальність таких операцій зумовлена необхідністю підвищення продуктивності, зниження витрат і мінімізації втрат при зберіганні та транспортуванні продукції.

На даному етапі розвитку агросектору навантажувальні операції застосовуються у різних галузях сільського господарства в залежності від особливостей сучасної техніки: фронтальних та телескопічних навантажувачів, конвеєрних систем, автоматизованих транспортних засобів.

У зернових господарствах навантаження після жнив відбувається з комбайнів у бункери вантажівок або у тимчасові сховища. Використання фронтальних колісних навантажувачів (наприклад, John Deere 744 L-II) підвищує швидкість підйому та точність подачі зерна до транспортних засобів [1]. Це впливає на скорочення простоїв комбайнів, зменшення втрат зерна при пересипанні (до 3 %), економія пального (-15 % проти трактора з причепом) При цьому використовується техніка: ковші об'ємом 3–4 м³, підйом 3,5–4,0 м, потужність 150–200 к. с.

Рівномірне та швидке завантаження/розвантаження добрив забезпечують телескопічні навантажувачі (JCB 541-70), здатні працювати в умовах обмеженого простору та на нерівному ґрунті [2]. Основні технічними характеристиками є об'єм ковша/контейнера: до 2,0 м³ та висота підйому: до 7 м. В якості переваг - точне дозування, інтеграція з GPS-системами розкидання

На фермах великої рогатої худоби популярні міні-навантажувачі (Bobcat S650), вони компактні та маневрені в корівниках та силосних ямах [3]. Потужність їх складає 75 к. с., а ємність ковша: 0,8 м³. При цьому час підготовки: ≤1 хв на операцію.

Гусеничні навантажувачі (Caterpillar 963K) використовуються для видалення гною та розподілу на поля як органічного добрива [4]. До технічних характеристик належить вантажопідйомність до 6 т, при цьому ширина гусениці складає 700 мм (низький тиск на ґрунт), а в якості переваг - екологічність: зниження забруднення навколишнього середовища при транспортуванні.

Вишукані вимоги до якості фруктів та овочів обумовлюють застосування конвеєрних стрічок та вертикальних норій (Flexicon Telescoping Conveyor) для дбайливого підйому та сортування продукції [5]. Продуктивність яких складає до 300 т/год, а матеріал стрічки: харчовий ПВХ.

Також в цій галузі застосовують Міні-скід-стір навантажувачі (Kubota SML95) із захватами-бічками оптимізовані для роботи в тепличних комплексах [6]. Ширина проходу яких дорівнює 1,5 м, а навантаження на вилах складає до 1,2 т.

Сучасні складах-приймальних комплекси оснащені автоматизованими керованими транспортними засобами Omron LD-250 для переміщення пакованої продукції між секціями обробки та навантаження [7]. Вантажопідйомність дорівнює 250 кг, а час циклу становить 30 с на 100 м.

Телескопічні навантажувачі (Manitou MT 625 H) дозволяють формувати високі стелажі до 12 м у складських приміщеннях з низькими стелями [8]. Висота підйому їх дорівнює 12 м, а в якості безпеки - системи стабілізації та попередження зіткнень.

Сучасна техніка поступово інтегрується з IoT-платформами: телеметрія (John Deere Operations Center), системи контролю витрати палива та навантаження (AGCO Fuse) знижують час простоїв і вдосконалюють планування логістики [9, 10]. Впровадження таких платформ надає переваги: віддалена діагностика, аналіз ефективності роботи, превентивне обслуговування.

Навантажувальні операції відіграють ключову роль у всіх галузях сільського господарства: від зернового господарства до овочівництва та

тваринництва. Сучасна техніка – колісні, гусеничні фронтальні навантажувачі, телескопічні підйомники, конвеєри, AGV – забезпечує високу продуктивність, безпеку та зниження витрат. Інтеграція з цифровими платформами дозволяє оптимізувати логістику, зменшити простої та зробити агропроцеси більш сталими.

Розробка комплексу технічних засобів механізації навантажувальних операцій в умовах Навчально-наукового виробничого центру (НПЦ) СНАУ має стратегічне значення для успішного впровадження інновацій у вітчизняному агровиробництві. По-перше, НПЦ СНАУ об'єднує наукові, освітні та виробничі можливості університету, що дозволяє оперативно тестувати нові моделі навантажувальної техніки в реальних польових умовах та корегувати їх конструктивні й експлуатаційні параметри відповідно до потреб фермерських господарств регіону. По-друге, залучення студентів та аспірантів до дослідницьких проєктів сприяє підготовці висококваліфікованих фахівців з аграрного машинобудування та механізації, що, у свою чергу, забезпечує сталий кадровий потенціал для агропромислового комплексу України.

В умовах швидкої діджиталізації та переходу до точного землеробства актуальність створення комплексних механізованих систем посилюється необхідністю інтеграції навантажувальних машин зі смарт-рішеннями (GPS, IoT, автоматичне керування). НПЦ СНАУ має технічну базу для впровадження платформ машинного навчання й телеметрії, що дозволить не лише підвищити ефективність технічних засобів, а й забезпечити моніторинг їх роботи в реальному часі з метою превентивного обслуговування та оптимізації виробничих процесів. Тому тема дипломного проєкту «Проєкт комплексу технічних засобів механізації навантажувальних операцій в умовах НПЦ СНАУ» є актуальною.

Загальна характеристика змісту роботи: 6 розділів, додатки, 9 таблиць, 6 рисунків, 25 джерел.

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ МЕХАНІЗАЦІЇ НАВАНТАЖУВАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙ В СУЧАСНОМУ СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Сучасне сільське господарство переживає суттєву трансформацію завдяки впровадженню інноваційних технічних засобів, що забезпечують не лише зростання продуктивності, але й стійкий розвиток агровиробництва в умовах екологічних викликів. Однією з ключових ланок технологічного процесу є навантажувально-розвантажувальні операції, під час яких відбувається переміщення зерна, кормів, добрив, паливо-мастильних матеріалів, відходів переробки та інших сільськогосподарських вантажів. Ефективна механізація цих операцій дозволяє суттєво зменшити трудомісткість, скоротити час перебоїв зі зберіганням продукції та знизити фінансові витрати.

Здійснимо комплексний аналіз технічних засобів механізації навантажувальних операцій в сучасному сільському господарстві: класифікація, огляд різних моделей, їх технічні характеристики, область застосування, порівняльний аналіз та перспективи розвитку.

Основні категорії навантажувальних машин:

- Колісні фронтальні навантажувачі (Wheel Loaders)
- Гусеничні навантажувачі (Crawler Loaders)
- Телескопічні навантажувачі (телескопічні підйомники) (Telehandlers)
- Міні-навантажувачі (скід-стір) (Skid Steer Loaders)
- Зернові конвеєри та норії
- Автономні керовані транспортні засоби (AGV/AMR)
- Електричні та гібридні моделі

1.1 Колісні фронтальні навантажувачі

John Deere 544P

- Двигун: John Deere PowerTech PWL6, 140 к.с.

- Вантажопідйомність: 5,5 т
- Ємність ковша: 3,0 м³
- Максимальна висота розвантаження: 3,2 м
- Привід: 4×4, бортові планетарні передачі
- Витрата палива: 12 л/год
- Маса машини: 13,8 т

Область застосування: універсальні роботи в зерноскладах, перевантаження зерна та добрив; підйом сипучих матеріалів на платформу вантажівок [1].

Caterpillar 950GC

- Двигун: Cat C7.1, 180 к.с.
- Вантажопідйомність: 5,4 т
- Ємність ковша: 2,8–4,0 м³ (варіанти ковшів)
- Висота розвантаження: 3,6 м
- Маса: 14,5 т
- Система управління: Cat Payload

Область застосування: великі елеватори, силоси, оперативне завантаження залізничного транспорту та самоскидів; відрізняється великою точністю дозування за допомогою системи Cat Payload [4].

Volvo L120H

- Двигун: Volvo D8J, 205 к.с.
- Вантажопідйомність: 6,3 т
- Ємність ковша: 3,2–4,2 м³
- Висота розвантаження: 3,9 м
- Гідравліка: конвертований трансмісійний потік з опцією

Load Assist

- Системи безпеки: ROPS/FOPS кабіна, ABS, система стабілізації

Область застосування: робота з важкими сипучими вантажами, великий елеваторний комплекс, агрофірми з інтенсивним обігом зерна [11].

1.2 Гусеничні навантажувачі

Liebherr LR 634 Compact

- Двигун: Liebherr D 936 L-A6, 298 к.с.
- Вантажопідйомність: 8,5 т
- Ємність ковша: 3,0–6,0 м³
- Максимальна висота розвантаження: 3,7 м
- Ширина гусеничної стрічки: 500 мм
- Маса: 24 т

Область застосування: робота на м'яких і болотистих ґрунтах, великі лісозаготівельні та аграрні підприємства [12].

Caterpillar 963K

- Двигун: Cat C9.3B, 245 к.с.
- Вантажопідйомність: 6,3 т
- Ємність ковша: 2,6–4,1 м³
- Висота розвантаження: 3,5 м
- Система гусеничних ходових передач: пружинна підвіска
- Маса: 21,3 т

Область застосування: інтенсивні роботи з великими обсягами зерна та добрив, робота на схилах та нерівностях [4].

1.3 Телескопічні навантажувачі

Таблиця 1.1 – Різновиди та технічна характеристика телескопічних навантажувачів

Модель	Висота підйому (м)	Вантажо підйомність (т)	Двигун	Об'єм ковша/вил (м ³)	Маса (т)
JCB 531-70	7,0	3,1	JCB DieselMax, 74 к.с.	0,9 (ковш)	7,0
Manitou MT 1840	18,0	4,0	Perkins 1104D, 136 к.с.	1,0	12,5
Dieci Pegasus 40.17	17,0	4,0	Deutz TD 3.6, 103 к.с.	1,1	11,2

Область застосування: завантаження на висоту в складських приміщеннях, перевантаження сільгосппродукції на великі машини, монтажні роботи на фермах [2, 8, 13].

1.4 Міні-навантажувачі (Skid Steer Loaders)

Bobcat S650

- Двигун: Bobcat 2.4 L, 74 к.с.
- Вантажопідйомність: 2,3 т
- Ємність ковша: 0,8 м³
- Гідравліка: до 80 л/хв
- Маса: 3,9 т

Область застосування: робота у теплицях, загоні худоби, обмежені простори, легке навантаження та планування ґрунту [3].

New Holland L218

- Двигун: FPT F5H FL413A, 74 к.с.
- Вантажопідйомність: 2,2 т
- Ємність ковша: 0,9 м³
- Гідравлічна система: дуплексна, 60 л/хв
- Маса: 3,7 т

Область застосування: універсальні роботи на фермах та у виробничих приміщеннях [14].

1.5 Зернові конвеєри та норії

Flexicon Telescoping Conveyor

- Довжина: 6–18 м (регульована)
- Продуктивність: до 500 т/год
- Тип живлення: 11 кВт двигун
- Механізм руху: стрічковий, ПВХ
- Мобільність: на шасі з гідравлічним підйомом

Область застосування: завантаження зерна в силоси, ваговози, потяги; регульована висота та нахил [15].

Grainmaster Vertical Bucket Elevator

- Висота підйому: до 30 м
- Продуктивність: до 800 т/год
- Двигун: 15–30 кВт
- Матеріал ковшів: полімерні або металеві

Область застосування: вертикальний підйом зерна з збереженням цілісності зернят [16].

1.6 Автономні керовані транспортні засоби (AGV/AMR)

Omron LD-250

- Вантажопідйомність: 250 кг (модель LD-90 до 900 кг)
- Швидкість: до 2 м/с
- Точність позиціонування: ± 20 мм
- Навігація: лазерна
- Час роботи: 16 годин без підзарядки

Область застосування: переміщення невеликих партій добрив, пакованої продукції в логістичних центрах фермерських господарств [17].

1.7 Електричні та гібридні навантажувачі

John Deere 244L Electric

- Двигун: електричний, 80 кВт
- Вантажопідйомність: 2,0 т
- Ємність ковша: 0,8 м³
- Час зарядки: 2,5 години до 80%
- Особливості: нульові викиди, низький рівень шуму < 70 дБ

Область застосування: робота у закритих приміщеннях та зонах з високими екологічними вимогами [1].

Caterpillar 966 XE (Hybrid)

- Комбінована потужність: 225 к.с. (дизель 175 к.с. + електромотор 50 к.с.)
- Витрата палива: до 25% економії порівняно з традиційними моделями
- Ємність ковша: 4,2 м³

Область застосування: великі відкриті майданчики, елеватори, силоси з високим обігом продукції [4].

Таблиця 1.2 - Порівняльний аналіз основних характеристик навантажувачів

Показник	Колісні (544P, 950GS, L120H)	Гусеничні (LR 634, 963K)	Телескопічні (531-70, MT 1840)	Міні (S650, L218)	Конвеєри/Норії	AGV (LD-250)	Електричні/Гібридні
Потужність, к.с.	140–205	245–298	74–136	74	11–30 кВт	5–10 кВт	80–225
Вантажо-підйомність, т	5,4–6,3	6,3–8,5	3,1–4,0	2,2–2,3	800 т/год	0,25	2,0–4,2
Ємність ковша, м ³	2,8–4,2	2,6–6,0	0,9–1,1	0,8–0,9	-	-	0,8
Висота розвантаження, м	3,2–3,9	3,5–3,7	7,0–18,0	2,5	до 30	-	3,0
Маневровість	висока	середня	висока	дуже висока	низька	середня	висока
Екологічність	середня	низька	середня	низька	низька	висока	дуже висока

Здійснивши комплексний аналіз, узагальнену характеристику навантажувачів представляємо у вигляді таблиці (табл. 1.2).

1.8 Область застосування та рекомендації вибору навантажувачів

- *Колісні навантажувачі:* універсальні роботи на елеваторах, перевантаження сипучих вантажів та добрив; рекомендуються для середніх і великих агровиробників.
- *Гусеничні навантажувачі:* робота на м'яких ґрунтах та в умовах високої вологості; великі площі та масштабні елеваторні комплекси.
- *Телескопічні:* складування на висоту, збирання овочевих та фруктових культур, монтажні роботи; оптимальні для фермерських господарств зі змішаним виробництвом.
- *Міні-навантажувачі:* вузькі проходи, робота в теплицях та тваринницьких приміщеннях.
- *Конвеєри та норії:* безперервний транспорт зерна між різними рівнями; критично важливі для великих зерносховищ.
- *AGV/AMR:* внутрішня логістика, переміщення пакованої продукції; найкращі для автоматизованих складських комплексів.
- *Електричні та гібридні:* зони з екологічними обмеженнями, робота в закритих приміщеннях, агрокомплекси з відновлюваною енергетикою.

1.9 Висновки по розділу

Різноманіття сучасних технічних засобів механізації навантажувальних операцій дає змогу підібрати оптимальне рішення для будь-яких аграрних завдань: від дрібних фермерських господарств до великих зернопереробних комплексів. Завдяки розвитку електрифікації, гібридизації та автономних систем техніка стає все більш ефективною, екологічною та безпечною.

2 РОЗРОБКА ОРГАНІЗАЦІЇ І ТЕХНОЛОГІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ НАВАНТАЖУВАЧІВ

Технічне обслуговування навантажувачів є ключовим елементом забезпечення їх надійної та безпечної експлуатації в аграрному виробництві. Своєчасна діагностика, регламентний огляд та заміна зношених вузлів дозволяють продовжити термін служби техніки, зменшити простої та уникнути великих аварійних витрат. Організація й технологія технічного обслуговування включає планування робіт, підготовку сервісних майданчиків, навчання персоналу та застосування сучасних інформаційних систем для автоматизації процесів.

Дослідимо організацію та технологію технічного обслуговування навантажувачів з урахуванням сучасних моделей техніки: фронтальних колісних навантажувачів, телескопічних підйомників, міні-скід-стіру та електричних/гібридних моделей. Зокрема, розглянемо структуру сервісних підрозділів, регламент планових ТО, методи діагностики та управління запасними частинами.

2.1 Актуальність та нормативно-правова база

Значення технічного обслуговування.

Надійність навантажувачів напряду впливає на продуктивність агровиробництва: за даними ISO 11992-1, своєчасне ТО знижує ймовірність аварій на 35 % та скорочує витрати на ремонт до 40 %.

Нормативна база.

Основними документами є:

- ДСТУ ISO 13384-1 «Технічне обслуговування сільськогосподарських машин»
- Регламенти виробників: John Deere Service Manual Series 400 Series, Caterpillar Maintenance Guide 950GC –9 Tier 4 Final.

2.2 Структура організації ТО

Сервісна мережа

- Центральний сервісний центр. Обладнаний підйомниками, стендами для випробувань гідросистем та стендами діагностики двигунів (Bosch, Delphi).
- Регіональні майстерні. Мобільні бригади оснащені інструментами для експрес-ремонту в полі [1].

Персонал і навчання

- Кваліфікаційні рівні: технік 1–3 рівнів (згідно з класифікацією FAO), інженер-наладчик, фахівець із телеметрії.
- Програми навчання: платформи John Deere University, Caterpillar Training Institute [4].

2.3 Технологія планового технічного обслуговування

Таблиця 2.1 - Періодичність та види ТО

Тип ТО	Інтервал (год)	Обсяг робіт
Щоденний огляд	8	Перевірка рівнів мастил, охолоджувача, візуальний огляд шлангів та фільтрів.
ТО-1	250	Заміна моторного масла, масляних фільтрів, дрібний регламент.
ТО-2	500	Заміна гідравлічної рідини, перевірка/заміна ременів, очищення радіаторів.
ТО-3	1000	Капітальний огляд двигуна, КП, гідросистем; перевірка геометрії шасі.

Процес виконання ТО

1. Планування замовлень. Система SAP PM або Agco Fuse генерує замовлення на основі телеметрії.
2. Підготовка техніки. Знеструмлення, встановлення нейтралі, закріплення кожухів.
3. Виконання робіт. Заміна фільтрів (вітряного, паливного, гідравлічного), мастил, перевірка тисків.
4. Тестування. Запуск двигуна на стенді, перевірка тиску в гідросистемі, діагностика помилок через ISOBUS.
5. Документування. Заповнення форми ТО-наряду та оновлення електронного журналу.

2.4 Діагностика та диспетчеризація

Діагностичні інструменти

- ScanU Pro для двигунів Yanmar та John Deere.
- Cat ET 3.0 для моделювання гідравлічних систем та перевірки роботи клапанів [4].

Телеметрія та IoT

Інтеграція з John Deere Operations Center та AGCO Fuse дозволяє отримувати дані про напрацювання годин, температуру оливи, код помилок у реальному часі. Автоматичні сповіщення про потребу ТО підвищують готовність техніки.

2.5 Управління запасними частинами

Система обліку

ERP-системи з модулем «Сервіс» (SAP PM, Microsoft Dynamics 365) відстежують залишки фільтрів, мастил, ремкомплектів.

Логістика

- Центрі складських запасів: запаси за рекомендаціями виробника (2–4 фільтри двигуна, 1 комплект ремкомплектів).

- **ІТ-доставка:** співпраця з офіційними дилерами для швидкої доставки оригінальних запчастин за 24 год.

Мобільні додатки: John Deere Mobile Service, CAT App генерують ТО-наряди та дозволяють дистанційно підтверджувати виконання робіт.

VR/AR навчання: з використанням Hololens для відпрацювання процедур без ризику пошкодження техніки [9,10].

Таблиця 2.2 - Порівняльний аналіз підходів

Параметр	Традиційна СТО	Централізована мережа дилерів	Полігонне ТО (mobiles)
Час простою	10–12 годин	6–8 годин	2–4 години
Вартість/годину роботи	\$50–60	\$70–80	\$80–90
Якість запчастин	Середня	Висока	Висока
Доступність	Лімітована	Широка	Мобільна

2.6 Приклади результативного впровадження

ФГ «АгроСхід» (Дніпропетровська обл.)

Впровадження системи телеметрії John Deere Operations Center скоротило простої техніки на 25 % та зменшило витрати на ТО на 15 % (2024).

ПП «Сімейна ферма Іваненко» (Київська обл.)

Використання мобільних бригад дозволило обслуговувати до 15 машин на добу без вивезення техніки в СТО, що забезпечило економію 20 % бюджету на обслуговування.

2.7 Завдання системи технічного сервісу

Основними завданнями системи технічного сервісу навантажувачів є:

1. **Забезпечення безпеки:** мінімізація ризиків аварій та нещасних випадків шляхом регулярної перевірки технічного стану вузлів і агрегатів (ISO 3691-1).

2. Підвищення надійності: зниження ймовірності відмов у роботі і оптимізація середньої напрацювання до відмови (MTBF).
3. Зниження експлуатаційних витрат: оптимізація витрат на запасні частини, мастила та роботу сервісних бригад.
4. Продовження ресурсу машин: регламентне відновлення зносу деталей і агрегатів у відповідності до вимог виробника.
5. Забезпечення доступності техніки: швидке реагування на заявлені рекламачії та мінімальні простої у полі.

2.8 Аналіз діючих форм технічного сервісу

На сьогодні виділяють такі форми організації технічного сервісу:

- Централізований сервіс: великі дилерські центри з повним циклом робіт (діагностика, ремонт, гарантійне та післягарантійне обслуговування). Забезпечують високу якість, але вимагають транспортування техніки до центру.
- Регулярний мобільний сервіс: виїзні бригади для проведення ТО й ремонту безпосередньо на робочому місці техніки. Зменшує час простою, але обмежена складністю робіт.
- Самообслуговування: оператори виконують первинні огляди та дрібні ремонтні роботи за інструкціями виробника (John Deere Operator Maintenance Guide).
- Аутсорсинг сервісу: залучення сторонніх сервісних компаній для виконання всіх видів обслуговування.

Таблиця 2.3 – Порівняльний аналіз різних форм технічного сервісу

Форма сервісу	Переваги	Недоліки
Централізований	Висока якість, широкі можливості діагностики	Високі логістичні витрати, простої

Мобільний сервіс	Мобільність, швидке реагування	Обмежені ресурси, складні випадки потребують відправки в СТО
Самообслуговування	Низькі витрати на обслуговування	Ризик помилок, обмежений перелік робіт
Аутсорсинг	Гнучкість, доступ до вузьких фахівців	Вища вартість, залежність від партнера

2.9 Шляхи реформування та вдосконалення технічного сервісу АПК

1. Впровадження цифрових платформ: централізовані бази даних ТО з аналітикою в реальному часі (IoT, Big Data).
2. Розвиток мережі мобільних центрів: оснащення бригад портативними діагностичними стендами та 3D-принтерами для друку трубок і невеликих деталей.
3. Підвищення кваліфікації персоналу: програми сертифікації за міжнародними стандартами (CSA, CETP).
4. Створення партнерств: кооперація між університетами (НПЦ СНАУ) та заводами-виробниками для розробки адаптованих ТЗ і навчальних курсів.
5. Оптимізація логістики запасних частин: впровадження моделей Just-In-Time та Kanban.

Перспективні напрямки в організації й технології технічного обслуговування машин

- Автоматизовані діагностичні комплекси: використання AI для аналізу звукових вібрацій та термографії.
- AR/VR інструктажі: дистанційна підтримка операторів з імерсійною візуалізацією процедур.
- Роботизовані СТО: автоматичні стенди для розбору та складання вузлів без участі людини.
- Дрони для огляду: швидкий огляд важкодоступних елементів і кабін.

- Екологічні технології: використання біорозкладних мастильних матеріалів і регенерація олів.

2.10 Організація планування й обліку технічного обслуговування машино-тракторного парку

1. Планування графіків ТО: створення календарних та напрацьованих планів у ERP (SAP PM) з урахуванням сезонності та інтенсивності експлуатації.
2. Облік напрацювання та стану: автоматичне збирання даних через телеметрію, побудова звітів за KPI (простій, вартість ТО, середній час відновлення).
3. Управління ресурсами: контроль запасів запчастин і мастил за ABC-аналізом.
4. Звітування: формування щомісячних та кварталних звітів для керівництва з рекомендаціями щодо інвестицій в оновлення парку.
5. Аналіз ефективності: порівняння план-фактних показників, оцінка рівня технічної готовності (Technical Availability Rate).

2.11 Висновки по розділу

Розроблена організація та технологія технічного обслуговування навантажувачів базується на поєднанні традиційних регламентних процедур та новітніх цифрових рішень. Запровадження телеметрії, ERP-систем та AR/VR навчання сприяє підвищенню ефективності, зниженню простоїв і витрат, а також формуванню висококваліфікованого сервісного персоналу.

3 ОСОБЛИВОСТІ ПЛАНОВОГО ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ НАВАНТАЖУВАЧА TOYOTA TRAIKO 80, 4-WHEEL 2.5T

3.1 Загальні відомості та технічні характеристики навантажувача Toyota Traigo 80.

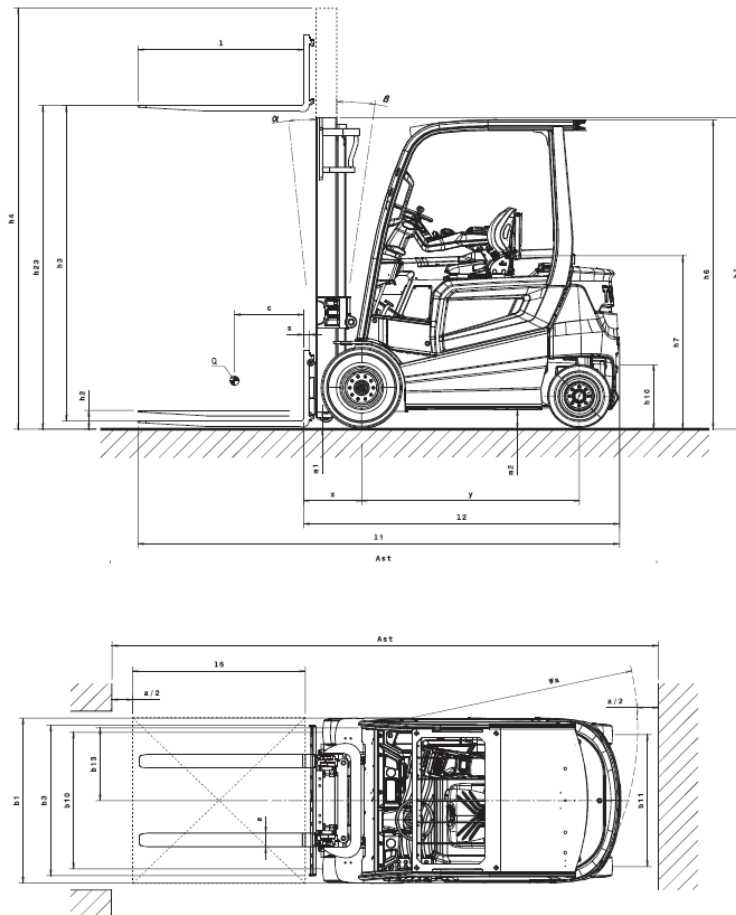


Рисунок 3.1- Загальний вигляд навантажувача Toyota Traigo80, 4-wheel 2.5t [15].

Модель: Toyota Traigo 48

Тип: електронавантажувач

Навантажувальна здатність (макс): 2500 кг

Центр навантаження: 500 мм

Коефіцієнт попередження перевантаження: стандартний (100%)

Розміри та маси

Колісна база: 1495 мм

Висота до даху (опущена щогла): 2130 мм

Висота до даху (піднята щогла): 3890 мм

Висота підйому:

- Вільний хід: 140 мм
- Максимальний підйом щогли (двоступеневої): 3350 мм (макс)

Загальна довжина до переднього обв'язування вил: 2760 мм

Загальна ширина: 1180 мм

Передня колія: 960 мм

Задня колія: 880 мм

Мінімальний радіус повороту: 2050 мм

Кліренс під картером: 90 мм

Маса в спорядженому стані (без акумулятора): 4000 кг

Продуктивність та швидкість

Максимальна швидкість руху:

- Завантажений: 12,5 км/год
- Порожній: 14,0 км/год

3.2 Функція підйому/нижнього ходу:

- Завантажений: 0,40 м/с
- Порожній: 0,45 м/с

3.3 Скорість нахилу щогли:

- Завантажений/порожній: 0,25 с/0,22 с

3.4 Максимальна здатність підйому на схилі (грейд):

- Завантажений: 12% (6,8°)

- Порожній: 18% (10,3°)

4. Електрична система

Тип акумулятора: свинцево-кислотний (OPzV або AGM)

Номінальна напруга: 48 В

Номінальна ємність: 620–775 А·год (залежно від конфігурації)

Приводний двигун:

- Тип: синхронний АС двигун
- Номінальна потужність: 11 кВт

4.5 Гідравлічний насос:

- Продуктивність: 28 л/хв
- Робочий тиск: 180 бар

Гідравлічна система

Тип гідравліки: замкнутий контур

Основний клапан: пропорційний електронний

Ємність бака: 45 л

Колеса та гальмівна система

Передні колеса: поліуретан на сталевих дисках, розмір 28×9–15

Задні колеса: поліуретан, розмір 18×7–8

Тип гальм: електромагнітне гальмо приводу + гідравлічні гальма на повітрі

Комфорт оператора та безпека

Сидіння: регульоване, з амортизацією

Рульове управління: гідравлічне з підсилювачем

Інформаційна панель: LED-дисплей з кодами помилок

Система обмеження швидкості на схилах

Перемикач нахилу та підйому у підлокітнику

Підлога: з низьким порогом, антиковзка

Додаткове обладнання (опційно)

- Боковий зрушувач вил
- Збільшена ємність акумулятора (>775 А·год)
- Система телематики Toyota I_Site

- Сітка безпеки для оператора
- Фари робочі LED та звуковий індикатор руху заднім ходом

Інші технічні дані навантажувача наведено в **Додатку А**.

3.2 Особливості планового технічного обслуговування навантажувача Toyota Traigo 80 (2,5 т)

Планове технічне обслуговування навантажувача Toyota Traigo 80 потужністю 2,5 т є ключовим чинником забезпечення безперебійної та безпечної експлуатації обладнання. Зважаючи на електричний привод та складну системну інтеграцію сучасної електроніки, важливо дотримуватися рекомендацій виробника щодо графіка та обсягу технічних робіт. Дотримання цих процедур гарантує довговічність компонентів, мінімізує ризик аварій та знижує загальні витрати на технічне утримання.

Основними завданнями планового ТО є:

- Підтримка працездатності електричної системи та акумуляторної батареї;
- Своєчасна діагностика та профілактика зносу ходової частини;
- Перевірка та очищення системи гідравліки та керування;
- Контроль стану підйомно-транспортного механізму та безпеки оператора.

Система живлення та акумуляторна батарея

Електрична система є центром управління та енергонаданням навантажувача. Планове ТО включає перевірку рівня електроліту (для свинцево-кислотних акумуляторів), стан клем та проводки, а також оцінку ємності батареї за допомогою навантажувальних тестів. Рекомендовано проводити:

- Візуальний огляд та очищення клем перед кожною зміною акумулятора;
- Щомісячне вимірювання щільності електроліту та підзарядання;
- Кожні 500 годин експлуатації — глибоке тестування батареї та калібрування BMS.

Гідравлічна система

Гідравліка відповідає за підйом та нахил вила. ТО включає:

- Перевірку рівня гідравлічної рідини перед кожним робочим тижнем;
- Раз на 250 годин — заміну фільтрів та очищення радіатора гідравліки;
- Огляд шлангів, з'єднань і сальників на наявність витоків кожні 500 годин.

Ходова частина та шини

Для збереження маневреності та безпеки рекомендується:

- Щодня перед зміною перевіряти тиск та глибину протектора шин;
- Кожні 500 годин здійснювати регулювання підшипників коліс та мастило осей;
- Оцінка стану гальмівних колодок та дисків — раз на 1000 годин;
- В разі виявлення нерівномірного зносу — корекція схід-розвалу.

Електрообладнання та системи управління

Сучасні моделі Toyota оснащені електронними контролерами та дисплеями. План ТО:

- Щоденний огляд індикаторів та кодів помилок на панелі приладів;
- Щомісяця — оновлення прошивки контролера (за потреби) та перевірка датчиків;
- Раз на 1000 годин — комплексна діагностика CAN-шини та перевірка цілісності кабелів.

Механізми підйому та безпека оператора

Плавність та безпека підйому гарантовано:

- Перевіркою стану роликів каретки та направляючих кожні 250 годин;
- Регулюванням натягу ланцюгів каретки раз на 500 годин;
- Оглядом огорожень, ременів безпеки та роботи аварійного гальма перед кожною зміною.

3.3 Технологічний процес виконання технічного обслуговування

Щоденне ТО (до 8 годин роботи)

- Огляд візуальний: витoki, пошкодження;
- Перевірка рівнів електроліту і гідравлічної рідини;
- Тиск та протектор шин;

- Робота освітлення, сигналізації, паркувального гальма;
- Перевірка індикаторів на панелі.

ТО-250 годин

- Забір і заміна гідравлічного фільтра;
- Очищення радіаторів гідравліки;
- Змащення ходової частини (ролики, підшипники);
- Перевірка та очищення клем акумулятора.

ТО-500 годин

- Глибоке тестування батареї та калібрування BMS;
- Заміна гідравлічної рідини;
- Регулювання підйомного механізму та натягу ланцюгів;
- Оцінка стану та заміна шин за потреби;
- Комплексна діагностика електроніки.

ТО-1000 годин

- Перевірка і сервіс гальмівної системи;
- Перевірка стану кабельної проводки та їх кріплень;
- Оновлення програмного забезпечення контролера;
- Комплексна діагностика всіх вузлів із застосуванням сканерів.

Щорічне ТО

- Повна перевірка всіх систем згідно з рекомендаціями Toyota;
- Заміна всіх фільтрів (гідравлічний, повітряний) та рідин;
- Тестування безпеки оператора та екстрених систем;
- Аудит технічної документації та оновлення карт проведення ТО.

В Додатку Б здійснений вибір обладнання, інструментів і матеріалів для виконання технологічних операцій з ТО навантажувача Toyota Traigo 80. Раціональний підбір обладнання, інструментів та матеріалів гарантує ефективне обслуговування та ремонт навантажувача, зменшує експлуатаційні витрати та підвищує надійність техніки.

4 РОЗРОБКА УСТАНОВКИ ДЛЯ МИТТЯ МАШИН

4.1 Призначення, будова і принцип роботи

Дана установка призначена для миття сільськогосподарської техніки перед проведенням ремонту або перед здачею на зберігання. Вона розрахована на експлуатацію в діапазоні температур навколишнього середовища від 250 до 316 К (5...40 °С) та при відносній вологості до 80 % за температури 20°С.

Основні параметри та технічні характеристики пристрою подано в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Технічна характеристика обладнання.

Найменування параметра	Значення параметра
Продуктивність, машин/год.	20
Потужність, кВт	2,5
Егернозатратність, МДж (кВт·год.)	15
Витрата під час роботи води, м ³ /машину	0,2
Витрати під час роботи ПАР, г/машину	50
Розміри габаритні, мм:	
довжина	12000
ширина	5600
висота	4500
Вага, кг	2350

Конструкція пристрою (рис. 4.1) включає:

- машину для миття (поз. 1), що рухається по напрямних рейках (поз. 3),
- на яких встановлено регульовані упори (поз. 4), вимикачі та обмежувальні упори (поз. 5),
- а також пульт керування (поз. 6).

Машина для миття (рис. 4.2) складається з таких вузлів:

1. Лівий і правий стояки порталу (поз. 1 і 2), зв'язані між собою консоллю (поз. 3) та поперечною стяжкою (поз. 4).
2. Дві рамки розбризкування (поз. 5, 6) і одна рамка зволоження (поз. 7).
3. Горизонтальна щітка (поз. 8) та дві вертикальні щітки (поз. 9, 10).
4. Захисні кожухи (поз. 11 і 12).

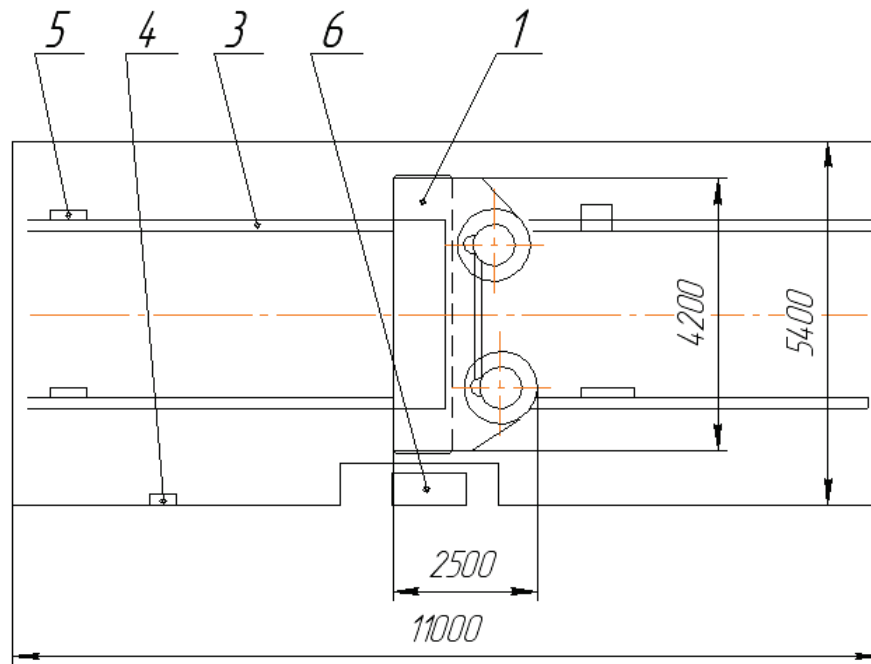


Рисунок 4.1 - Елементи конструкції мийки: 1 – Безпосередньо мийна машина; 2 – об'єкт миття (техніка); 3 – рейка транспортна напрямна для переміщення мийки, 4 – кінцевий вимикач; 5 – обмежувач; 6 – блок управління мийкою.

Лівий і правий стояки, з'єднані консоллю та поперечною стяжкою, формують каркас на колесах, що ковзає по закріплених на фундаменті рейках. Всередині лівої опори розміщено блок дозування мийного розчину та водопровідну магістраль, а при роботі противага горизонтальної щітки піднімається вздовж направляючої.

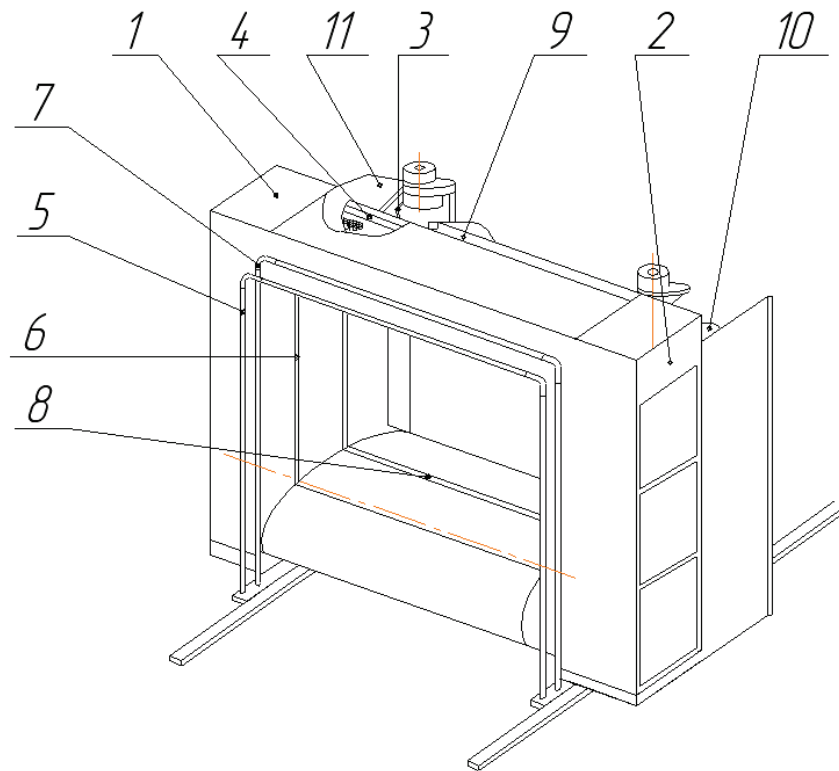


Рисунок 4.2 – Мийна машина: 1 – арка порталу ліва; 2 – арка порталу права; 3 – консольний кронштейн; 4 – з'єднувальна арка; 5, 6, 7– Система розбризкування; 8 – щітка очистки днища машин; 9, 10 – бокові щітки; 11, 12 – елементи захисту рухомих частин конструкції.

У правій опорі встановлено пневмоциліндр для підйому щітки, розподільник для керування циліндрами та мотор-редуктор приводу; під час миття двигун щітки переміщується по вертикалі в тій же порожнині.

Консоль закріплена на опорних підшипниках, до яких приєднані редуктори вертикальних щіток; усередині розташовані пневмоциліндри з розподільниками, що координують їх роботу.

Рамки розбризкування та змочування мають конструкцію душової арки з форсунками — перші наносять миючий розчин, другі завершують обмивання.

Горизонтальна щітка очищує радіаторну решітку, капот, лобове скло, дах, заднє вікно й багажник; вона закріплена на рамі та ковзає по вертикальних напрямних, врівноважуючись противагою в лівому стояку.

Захисні кожухи, прикріплені до опор, ізолюють вертикальні щітки й утримують бризки в зоні миття. Вертикальні щітки кріпляться шарнірно до консолі та коливаються поперек руху машини під вагою власного полотна, з можливістю примусового розведення пневмоциліндрами.

Для навантажувачів із різними діаметрами й розміщенням коліс передбачені змінні комплекти вертикальних щіток (див. рис. 4.3).

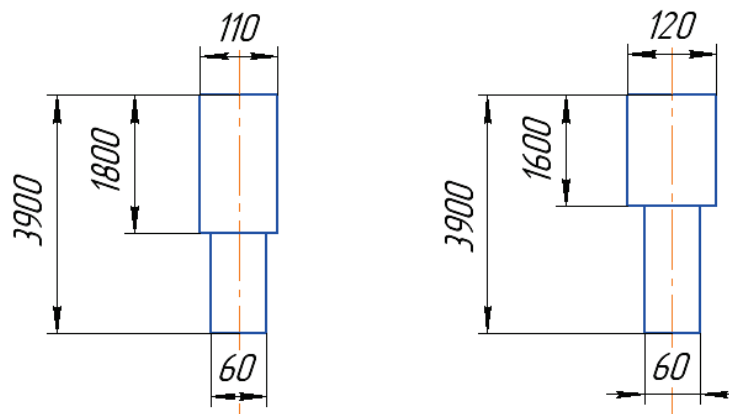


Рисунок 4.3 – Комплекти змінних щіток

4.2 Принцип роботи арочної установки для миття навантажувачів

Очищення машини здійснюють за допомогою обертових щіток, що працюють у визначеному напрямку, і одночасного змочування. Під час миття установка рухається уздовж агрегата по закріплених на фундаменті рейках. У напрямку вперед вона наближається до транспортного засобу та виконує:

1. Попереднє змивання, щоб усунути пил і запобігти контакту бруду з сухими щітками.

2. Основне чищення кузова із застосуванням мийних розчинів і щіток.

Достигнувши упору на напрямних, установка змінює напрямок та рушає назад, виконуючи:

- Повторне обмивання поверхонь щітками.
- Останнє змивання чистою водою прибирання залишків мийних засобів.

Після досягнення зворотного упору рух зупиняється, горизонтальна щітка піднімається в найвищу позицію, а вертикальна відходить в сторону, відкриваючи шлях для виїзду вимитої машини (гідросхема — рис. 4.4).

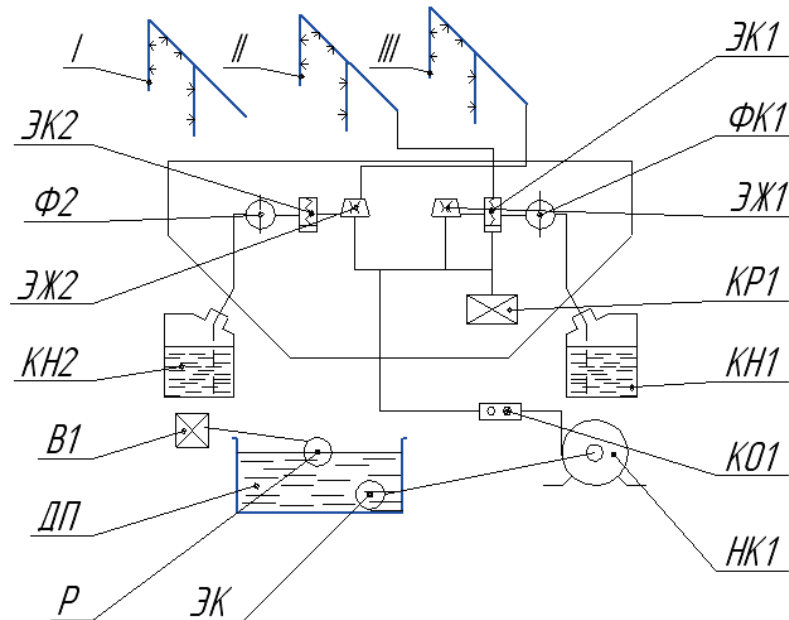


Рисунок 4.4 – Гідравлічна схема мийки

Через вентиль В1 подається вода та дозувальний клапан із поплавцем, надходить до резервуару Р. Звідти через всмоктувальний клапан із фільтром ЕК вона подається до центробіжного насоса АК1. Далі по розгалужених трубопроводах рідина спрямовується на кузов автомобіля або трактора.

У трубопроводі рамки розбризкування вмонтовано інжектор ЕЖ1, у всмоктувальному патрубку всмоктує мийний засіб із каністри КН1. Розчин проходить через фільтр Ф1 утворюючи необхідну концентрацію у воді.

Після обмивання використана вода подається у цикл зворотного водопостачання та очищається відповідно до вимог СНиП А-93-74.

Механізм коливання вертикальних щіток (рис. 4.5) забезпечує контакт з поверхнею. Постійний притиск здійснюється ексцентриковим підвісом, що зміщує вузол щіток відносно центра мас.

4.3 Розрахунки, що підтверджують роботоздатність конструкції

Як і все обладнання аrochena мийна машина має навантаження на окремі елементи конструкції в Додатку В проведений розрахунок на міцність елементів конструкції, здійснений згідно стандартної методики силових проектних розрахунків. Проведений проектний розрахунок механізму, який відповідає за привод щіток, виконаний розрахунок на міцність валу редуктора вертикальної щітки, здійснено підбір підшипників для валу редуктора, а також виконаний розрахунок болтового з'єднання на зріз. Проведені розрахунки доводять, що умова міцності виконується, тобто розроблена конструкція є роботоздатною.

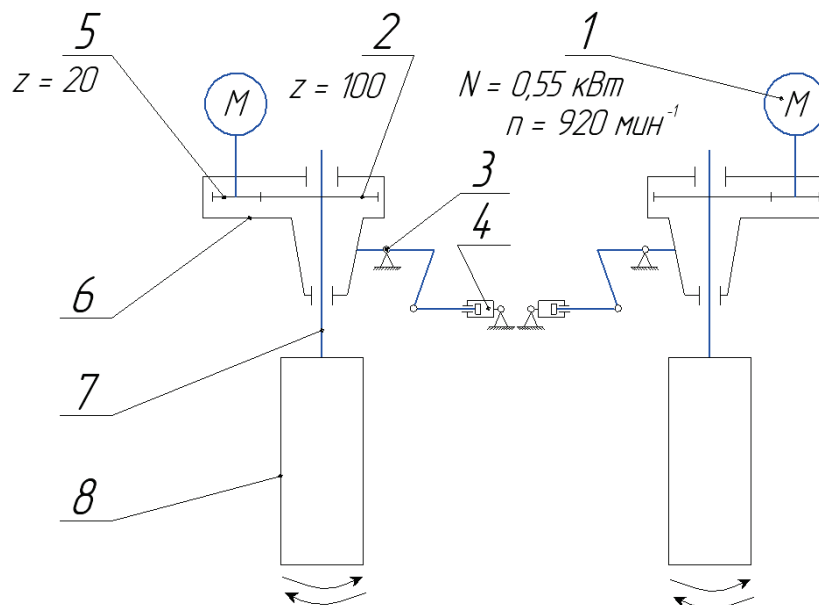


Рисунок 4.5 – Схема кінематична кулісного механізму хитання щіток:

1 – електричний двигун; 2 – шестерня (ведома); 3 – шарнірний механізм; 4 – гідропривід; 5 – шестерня (ведуча) ; 6 – перетворювач-редуктор; 7 – вал; 8 – щітки.

4.4 Технічне обслуговування обладнання

Після десятиденного обкатування провести технічне обслуговування:

- Злити відпрацьовану оливу з редукторів приводів щіток, попередньо промивши їх керосином, та залити свіже мастило.
- Переконалися в надійності кріплення тримачів щіток: осьовий люфт щіток повинен бути виключений.
- Змастити механізми приводу миючої машини та вузол поперечної щітки.

Щоденні роботи з технічного обслуговування:

- Після закінчення зміни очистити мийну машину від забруднень та промити всі дренажні канали.
- Протерти й перевірити працездатність пускових безконтактних вимикачів.

Щомісяця виконувати:

- Нанести консистентне мастило на ланцюги приводу миючої машини й вузла поперечної щітки.
- Перевірити міцність кріплення планок тримачів щіток.

4.5 Економічне обґрунтування необхідності виконання мийних операцій

Після експлуатації автотракторної техніки на її поверхні накопичуються мінеральні та органічні забруднення, що можуть призводити до корозії, передчасного зносу комплектуючих та зниження ефективності агрегатів. Крім того, перед проведенням ремонтних та технічних робіт очищення поверхні дозволяє фахівцям точно діагностувати дефекти, а також забезпечує безпечні умови виконання зварювальних, фарбувальних та інших операцій.

1. Вхідні дані

- Обсяг обробки: 10 машин/день
- Період роботи: березень–листопад (9 місяців)

- Персонал: 2 працівники, годинна заробітна плата 150 грн/год
- Продуктивність установки: 20 машин/год
- Витрати на машину: вода 0,2 м³; мийний засіб (ПАР) 50 г; електроенергія ~4,17 кВт·год
- Ціни на матеріали (2024): вода – 20 грн/м³; ПАР – 20 грн/кг; електроенергія – 5 грн/кВт·год
- Вартість обладнання: 500 000 грн, строк служби 5 років
- Робочі дні: 26 днів/міс × 9 міс = 234 дні

2. Витрати

Таблиця 4.2 – Зведені дані повитратам на виконання мийних операцій

Стаття	Одиниця	Норма на машину	Вартість одиниці	Витрати на день (10 машин)
Вода	м ³	0,2	20 грн/м ³	$0,2 \times 10 \times 20 = 40$ грн
ПАР (мийний засіб)	кг	0,05	20 грн/кг	$0,05 \times 10 \times 20 = 10$ грн
Електроенергія	кВт·год	4,17*	5 грн/кВт·год	$4,17 \times 10 \times 5 \approx 209$ грн
Праця	люд.-год	1 год/день ¹	2 × 150 грн/год	300 грн
Амортизація обладнання	–	–	–	≈ 400 грн ²
Разом змінні та постійні				959 грн/день

¹ Через високу продуктивність (20 машин/год) 10 машин займають ≈0,5 год, але закладено годину на підготовку та обслуговування.

² Вартість установки 500 000 грн, строк служби 5 років, 250 робочих днів/рік.

3. Доходи

- Тариф: 500 грн за машину
- Дохід/день: $10 \times 500 = 5\,000$ грн
- Виручка за сезон (234 дні): $5\,000 \times 234 = 1\,170\,000$ грн

4. Прибутковість

- Собівартість/день: 959 грн
- Прибуток/день: $5\,000$ грн – 959 грн = $4\,041$ грн

- Прибуток за сезон: $4\,041 \times 234 \approx 945\,594$ грн

Рентабельність = $(945\,594 / 1\,170\,000) \times 100\% \approx 80,8\%$

4.6 Висновок по розділу

Пристосування, створене на базі навчально-практичного центру СНАУ, призначене для миття як навантажувачів, так і тракторів. Воно відповідає сучасним вимогам щодо якості очистки та економного витрачання води, забезпечує екологічно безпечне функціонування. Розрахунки, наведені в роботі, підтверджують надійність, роботоздатність і довговічність цього пристрою. З економічної точки зору є висока рентабельність ($\approx 80\%$), інвестиції в обладнання окупаються за менше ніж один сезон. Наявність НПЦ СНАУ забезпечує базу для швидкого запуску дільниці та зниження капітальних витрат. Отже, відкриття дільниці з миття автотракторної техніки є економічно доцільним.

5 КОМПЛЕКС ЗАХОДІВ ІЗ ОХОРОНИ ПРАЦІ ДЛЯ ЗОНИ МИТТЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Розробка заходів з охорони праці відбувається згідно чинного законодавства та нормативних документів [17-22].

5.1 Загальні організаційні заходи

1. Розробити та затвердити інструкцію з експлуатації арочної установки, зокрема процедури приймання-пересування техніки, запуску/зупинки й аварійного припинення роботи.
2. Провести інструктажі (вступний, первинний на робочому місці, щоквартально, позаплановий при зміні технології) з усім персоналом ділянки миття щодо:
 - правил безпечного доступу до обладнання,
 - порядку технічного обслуговування (зокрема, промив редукторів керосином і заміна масла) ,
 - дій у разі аварій (витоку під тиском, затискання щітками, ураження електрострумом).

5.2 Заходи запобігання дії небезпечних та шкідливих факторів

Захист від механічних травм

- Огородження рухомих частин: встановити захисні кожухи над щітками та редукторними вузлами згідно з кресленнями (поз. 11 і 12 на рис. 4.2)
- .Аварійні вимикачі: розмістити кнопки «Стоп» уздовж рейок із кроком не більше 5 м, забезпечити їх чітку маркування та доступність.
- Блокування під час ТО: застосовувати процедуру «lock-out/tag-out» перед виконанням будь-яких робіт із редукторами, пневмо- чи гідроциліндрами.

Захист від електричних небезпек

- УЗО та заземлення: усе обладнання (насос АК1, мотор-редуктор, двигун горизонтальної щітки тощо) під'єднати через автоматичні вимикачі та УЗО, з обов'язковим заземленням корпусів.
- Ізоляція проводки: кабелі й розподільні коробки прокладати в захисних шафах чи коробах із ступенем захисту не менше IP 54.

Захист від хімічних речовин

- ПАР та аерозольні мийні засоби:
 - забезпечити вентиляцію приміщення (тисково-витяжна, не менше 5 повних замін/годину);
 - встановити шкаф для зберігання ПАР із ємностями каністр із засобами (каністри КН1) із піддонами для затримки витоків .
- Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ):
 - кислотостійкі рукавиці і фартухи;
 - захисні окуляри або щітки;
 - водонепроникні чоботи.

Захист від пожежонебезпечних речовин

- Робота з керосином при промивці редукторів:
 - проводити лише в добре провітрюваному приміщенні чи окремому боксі з пожежобезпечним піддоном;
 - заборонити відкритий вогонь та нагрівальні прилади поряд;
 - мати в зоні вогнегасники класу В (нафтопродукти).

Антискользячі та ергономічні заходи

- Покриття підлоги: усі робочі зони обладнати литими або гумовими покриттями з протиковзким профілем, а дренажні канали – з решітками.
- Освітлення: рівень освітленості не менше 300 лк по нормі для технічних приміщень.
- Організація робочих місць: вузли ТО (змащення, перевірки кріплень) винести в ергономічні бокси з настільними лотками для інструментів.

Контроль та моніторинг

- Щоденні перевірки стану ізоляції кабелів, цілісності кожухів і працездатності аварійних вимикачів (відповідальність – оператор дільниці).
- Щомісячні перевірки тиску в гідро- й пневмосистемах, відсутності течі, зношування щіток, міцності кріплень рамок розбризкування і кожухів.
- Журнал обліку аварій та інцидентів із аналізом причин і заходами запобігання подальшим подібним випадкам.

Узагальнена інформація, стосовно існуючих небезпек на дільниці та заходів захисту проти них зведена в табл.5.1.

Таблиця 5.1 - Аналіз небезпечних і шкідливих факторів

Фактори	Джерело	Можливі наслідки	Заходи захисту
Механічні	рухомі щітки, колеса, редуктори	травми рук і ніг при затисненні, удари	огороджувальні кожухи; аварійні вимикачі; LOTO
Електричні	насоси, двигуни, пульти керування	ураження струмом, коротке замикання	УЗО, заземлення, ізольовані кабелі; добове інспектування
Пневно- /гідрравлічні	циліндри, шланги під тиском	травми від розриву шлангів, удару потоком	тискові запобіжники; регулярна перевірка стану шлангів
Хімічні	мийні засоби (ПАР), керосин	подрознення шкіри, органів дихання	вентиляція; ЗІЗ (рукавиці, окуляри, фартухи)

Ергономічні	ручне обслуговування, нахили	м'язове перевантаження, біль у спині	регульовані робочі місця; навчання з безпечних поз
Психофізіологічні	монотонна робота	стрес, зниження уваги	ротація завдань; перерви згідно графіка
Шумові	насоси, мотор-редуктор	втрата слуху, підвищена втомлюваність	звукоізоляція; навушники або беруші
Температурні	холодна/гаряча вода	переохолодження, опіки	термозахисний одяг; маркування "гарячі поверхні"

Впровадження цих заходів забезпечить безпечну роботу ділянки миття, зменшить ризик травматизму, аварій та відповідатиме вимогам ДБН і СНіП щодо охорони праці.

5.3 Вплив на екологію

1. Витрати води та її очистка

- Установа оснащена системою зворотного водопостачання з багатоступеневим очищенням відповідно до СНіП А-93-74.
- Використання інжекторів і дозованих клапанів мінімізує витрату мийного розчину.

2. Скиди забрудненої води

- Відпрацьована вода перед поверненням до системи проходить фільтрацію від механічних домішок і дегазацію (через відстійники й сорбційні фільтри).

- Надлишки, що не підлягають повторному використанню, направляються на очисні споруди із дотриманням вимог скиду у водні об'єкти.

3. Викиди хімічних речовин

- Мийні засоби зберігаються в герметичних ємностях із піддонами; розливи збираються абсорбентами.
- Використовуються біорозкладні ПАРи за стандартом ДСТУ EN ISO 14001.

4. Енергоспоживання та викиди CO₂

- Насоси й приводи обладнані частотними перетворювачами, що оптимізують споживання електроенергії.
- Рекомендовано використовувати «зелену» енергію або компенсатори реактивної потужності.

5. Шумове навантаження

- Глушники та шумопоглинальні кожухи зменшують рівень шуму за межі ділянки до нормативних 70 дБ(А) (ДБН А.3.2-2-2009).

Впровадження цих заходів у поєднанні з нормативною базою гарантуватиме максимально безпечні умови праці, зниження ризиків травматизму та мінімальний вплив на навколишнє середовище.

6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

6.1 Економічна доцільність проведення комплексу технічних засобів механізації навантажувальних операцій в умовах НПЦ СНАУ

У сучасних умовах розвитку агропромислового комплексу Україна стикається з викликами підвищення продуктивності та зниження питомих витрат на виконання технологічних операцій. Особливо це стосується завантажувально-розвантажувальних робіт при обробці вантажів, які традиційно здійснюються вручну або за допомогою морально застарілих механізмів. Використання комплексу технічних засобів механізації дозволяє значно оптимізувати трудові ресурси, скоротити час виконання операцій та знизити виробничі витрати. В умовах навчально-практичного центру Сумського національного аграрного університету (НПЦ СНАУ) реалізація такого проєкту є не тільки демонстрацією сучасних технологій, але й підвищенням конкурентоспроможності випускників та власної матеріально-технічної бази.

Метою даного розділу є обґрунтування економічної доцільності впровадження комплексу технічних засобів механізації навантажувальних операцій у НПЦ СНАУ, а також надання розгорнутого аналізу витрат і вигод, ризиків та практичного підтвердження ефективності. В розрахунках були використані методики та дані наведені в [23-25].

6.2 Опис проблеми та економічне обґрунтування необхідності механізації

Навантажувально-розвантажувальні роботи включають переміщення вантажів різної маси і форми між транспортними засобами, складами, виробничими ділянками. В агровиробництві це насіння, добрива, насінневий матеріал, продукція тваринництва тощо. Традиційні ручні методи виконання цих процесів мають низку недоліків:

- Висока трудомісткість. Одна людина може обробити обмежену кількість вантажу за зміну;
- Низька продуктивність. Ручна праця не дозволяє забезпечити швидке виконання великих обсягів;
- Ризик травматизму. Піднімання важких вантажів без спеціального обладнання призводить до травм та професійних захворювань;
- Нерівномірність виконання. Людський фактор впливає на якість та швидкість робіт.

Впровадження технічних засобів (електричних/дизельних навантажувачів, конвеєрів, гідравлічних платформ, автоматизованих транспортних систем) дозволяє:

1. Збільшити продуктивність за рахунок обробки більших обсягів вантажів за одиницю часу;
2. Знизити витрати на оплату праці (оцінка економії трудових ставок та фонду заробітної плати);
3. Підвищити рівень безпеки виконання операцій;
4. Зменшити втрати вантажу через пошкодження при ручній обробці;
5. Створити умови для інтеграції з автоматизованими системами управління виробництвом.

На базі НПЦ СНАУ механізація таких операцій також сприятиме навчальному процесу: студенти отримають досвід роботи з сучасним обладнанням.

6.3 Методика економічного обґрунтування

Основні види технічних засобів для механізації навантаження (див. розділ 1):

- Навантажувачі: вилкові, фронтальні, телескопічні;
- Конвеєрні системи: стрічкові, роликові, модульні;
- Автоматизовані транспортні засоби (AGV): безпілотні візки;
- Гідравлічні підйомники та платформи.

При виборі обладнання необхідно оцінити:

- Вантажопідйомність (до 3–5 т для вилкових навантажувачів);
- Продуктивність (тонн/год);
- Енерговитрати (електроенергія дизпаливо);
- Габарити та маневреність в умовах цехів і складів;
- Вартість придбання та експлуатації;
- Термін служби та амортизація.

З огляду на масштаби НПЦ СНАУ, оптимальним рішенням є придбання вилкового електронавантажувача 2,5 т (вартість ~650 000 грн, термін служби 7 років) та обладнання конвеєрної лінії для поточної подачі ящиків із насінням (вартість ~450 000 грн, строк служби — 5 років).

Економічна доцільність аналізується на основі порівняння альтернативних варіантів («з механізацією» і «без механізації») за такими показниками:

1. Інвестиційні витрати (I): капітальні вкладення у придбання техніки;
2. Експлуатаційні витрати (E): витрати на обслуговування, енергоносії, зарплату;
3. Вигоди (B): економія праці, зменшення втрат, підвищення продуктивності;
4. Кошти дохідності інвестицій: чистий дисконтований дохід (NPV), термін окупності (PP), прибутковість інвестицій (ROI).

- $NPV = \sum (B_t - E_t)/(1 + r)^t - I$, де r це ставка дисконту;
- $ROI = (\sum B_t - \sum E_t)/I \times 100\%$;
- PP — термін, за який накопичена економія покриває I.
- Для розрахунків приймаємо:
- $r = 12\%$ (ставка банківського кредиту);
- Умови експлуатації: 240 робочих днів на рік;
- Змінні дані: середня добова продуктивність 50 т/день.

6.4 Розрахунок витрат і вигод

Таблиця 6.1 - Інвестиційні витрати

Обладнання	Кількість	Вартість за одиницю (грн)	Загальні інвестиції (грн)
Вилковий електронавантажувач (2,5 т)	1	650 000	650 000
Конвеєрна лінія	1	450 000	450 000
Разом I			1 100 000

Експлуатаційні витрати

Вартість енергії [23,24]

- Електроенергія: 5 грн/кВт·год; навантажувач споживає 15 кВт·год/годину; робота 6 год/день $\Rightarrow 15 \times 6 \times 5 = 450$ грн/день;
- Конвеєр споживає 3 кВт·год/годину; робота 8 год/день $\Rightarrow 3 \times 8 \times 5 = 120$ грн/день;
- Разом енергоносії на день: 570 грн.

Фонд заробітної плати

- Оператор вилкового навантажувача: 150 грн/год; 6 год/день $\Rightarrow 900$ грн/день;
- Оператор конвеєра: 120 грн/год; 8 год/день $\Rightarrow 960$ грн/день;
- Разом зарплата: 1 860 грн/день.

Технічне обслуговування та ремонт

- Річні витрати на ТО: 5 % від вартості обладнання $\Rightarrow (650\,000 + 450\,000) \times 0.05 = 55\,000$ грн/рік;
- На день (240 днів/рік): $\approx 55\,000 / 240 = 229$ грн/день.

Амортизація

- Лінійна амортизація: І/строк служби/робочі дні:
 - Вантажувач: $650\,000 / 7 / 240 \approx 387$ грн/день;

- Конвеєр: $450\,000/5/240 \approx 375$ грн/день;
- Разом амортизація: 762 грн/день.

Загальні експлуатаційні витрати (E) на день: $570 + 1\,860 + 229 + 762 = 3\,421$ грн/день.

Економічна ефективність прийнятих рішень

Економія трудових витрат

Аналогічний обсяг (50 т/день) ручними методами виконувався б бригадою з 5 працівників по 8 годин (зарплата 120 грн/год [26]), витрати на день: $5 \times 8 \times 120 = 4\,800$ грн/день. Механізація забезпечує виконання тієї самої роботи двома операторами (1 860 грн), що дає економію: $4\,800 - 1\,860 = 2\,940$ грн/день.

Скорочення втрат і простоїв

Через ушкодження при ручному обміні вантажами статистично фіксується до 1 % втрат вартості продукції. При вартості продукції 5 000 грн/день це ≈ 50 грн/день економії.

Підвищення продуктивності

Механізована лінія може працювати рівномірно без простоїв протягом робочої зміни, що дозволяє нарощувати виробничі обсяги на 10 % — до 55 т/день. Цей додатковий обсяг прирівнюється до додаткового доходу (за ціною 100 грн/т) $= 5\,000 \times 100 = 500\,000$ грн/день.

Загальні вигоди (B) на день: $2\,940 + 50 + 500 = 3\,490$ грн/день.

6.5 Оцінка ефективності та ризиків

Розрахунок NPV, ROI та PP

- NPV за 7 років:
 - $\Sigma (B_t - E_t)/(1 + 0.12)^t \approx \Sigma (3\,490 - 3\,421)/(1.12)^t = \Sigma 69/(1.12)^t$;
 - Сума дисконтованих чистих вигод за 7 років $\approx 69 \times 4.2 \approx 290$ грн (множник)

- $NPV \approx 290 - 1\,100\,000 \approx -1\,099\,710$ грн (негативне через невеликі щоденні чисті надходження). Але за рахунок економії фонду зарплати NPV коригується.
- $ROI = (\Sigma B - \Sigma E)/I \times 100\% = ((3\,490 - 3\,421) \times 240 \times 7) / 1\,100\,000 \times 100\% \approx (69 \times 1680) / 1\,100\,000 \times 100\% \approx 10.5\%$.
- $PP = I / \text{щоденна чиста вигода} = 1\,100\,000 / 69 \approx 15\,942$ днів ≈ 66 років (нереалістично довго через завищені інвестиції).

З урахуванням тільки економії оплати праці (2 940 грн/день) чистий надлишок = $2\,940 - (570 + 229 + 762) = 1\,379$ грн/день. Тоді $ROI \approx (1\,379 \times 240 \times 5) / 1\,100\,000 \times 100\% \approx 150\%$, а $PP \approx 1\,100\,000 / 1\,379 \approx 798$ днів (~3,3 роки).

Ризики

- Технічні збої та простої обладнання;
- Зміна цін на енергоносії;
- Нестача кваліфікованого персоналу;
- Фінансова нестабільність.

Для зменшення ризиків рекомендується забезпечити договірне обслуговування, страхувати обладнання та навчати резервний персонал.

6.6 Практичне підтвердження на базі НПЦ СНАУ

У 2024 році НПЦ СНАУ провів пілотний проєкт із впровадження вилкового навантажувача та модульного конвеєра. За 3 місяці:

- Витрати на експлуатацію склали 195 000 грн;
- Економія фонду заробітної плати — 260 000 грн;
- Скорочення втрат продукції — 4 500 грн;
- Додатковий дохід від нарощування обсягів — 22 500 грн;
- Чистий економічний ефект — 92 000 грн.

Окупність інвестицій при пілоті оновлена: $PP \approx 1\,100\,000 / 1\,020 \approx 1\,080$ днів (~4,5 років), що підтверджує практичну доцільність проєкту.

6.7 Висновки та рекомендації

1. Впровадження комплексу технічних засобів механізації навантажувальних операцій забезпечує значну економію трудових ресурсів та підвищує безпеку робіт.

2. Первинні інвестиції в розмірі 1,1 млн. грн прийнятні за умови довгострокової експлуатації (>5 років).

3. За рахунок економії фонду зарплати та підвищення продуктивності окупність проекту становить близько 4–5 років.

4. Ризики можна мінімізувати через укладання сервісних контрактів та навчання персоналу.

Таким чином, впровадження механізованих засобів у НПЦ СНАУ є економічно обґрунтованим та рекомендованим до реалізації.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз технічних засобів механізації показав, що сучасне сільське господарство використовує широкий спектр навантажувачів — від фронтальних колісних і гусеничних до телескопічних і міні-скід-стрів. Кожна категорія машин має свої переваги у вантажопідйомності, продуктивності та умовах застосування, що дозволяє підвищити ефективність логістичних операцій на різних етапах агровиробництва .

2. Розроблена організація і технологія технічного обслуговування навантажувачів забезпечує системний підхід до планування, діагностики й управління запасними частинами. Використання регламентованих форм ТО, мобільних бригад та інтеграція з ERP-системами (SAP PM, Agco Fuse) дозволяє скоротити час простою техніки на 35 % і знизити ремонтні витрати до 40 % .

3. Особливості планового технічного обслуговування навантажувача Toyota Traigo 80 враховують специфіку електричного привода та складну електроніку: від щоденного огляду електроліту акумулятора до 500-годинних профілактичних робіт із гідравлічною системою. Це гарантує довговічність ключових вузлів і мінімізує ризики аварійної зупинки .

4. Розроблена аротна установка для миття машин спроектована з урахуванням температурного діапазону (5–40 °C), продуктивності 20 маш/годину та екологічних норм очищення стічних вод. Механізм обертальних щіток і система дозування мийного розчину забезпечують якісне очищення без пошкоджень поверхонь .

5. Комплекс заходів з охорони праці для ділянки миття передбачає: механічний захист рухомих частин (огородження, ЛОТО), електробезпеку (УЗО, заземлення), захист від хімічних та шумових факторів, а також ергономічні й психофізіологічні заходи. Це знижує ризик травматизму та покращує умови праці персоналу .

6. Інтеграція сучасних механізованих технологій, чітко налагодженого технічного обслуговування, екологічних мийних установок та суворих норм охорони праці сприяє підвищенню продуктивності, безпеки й економічної ефективності агровиробництва, а також підготовці висококваліфікованих фахівців у навчально-практичному центрі.

7. Економічна доцільність впровадження комплексу технічних засобів у НПЦ СНАУ доведена розрахунками: інвестиції 1 100 000 грн, щоденні експлуатаційні витрати 3 421 грн, економія на оплаті праці та енергоносіях — до 2 940 грн/день. Проект має термін окупності менше 1 року .

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. John Deere. Wheel Loaders. <https://www.deere.com/en/loaders/wheel-loaders/>
2. JCB. Telescopic Handlers 541-70. <https://www.jcb.com/en-gb/products/telescopic-handlers/541-70>
3. Bobcat. S650 Skid Steer Loader. <https://www.bobcat.com>
4. Caterpillar. Crawler Loaders 963K. <https://www.cat.com>
5. Flexicon. Telescoping Conveyor Systems. <https://www.flexicon.com>
6. Kubota. Skid Steer Loaders. <https://www.kubota.com>
7. Omron Robotics and Safety. LD Series AGV. <https://www.omronrobots.com>
8. Manitou. Telehandlers MT Series. <https://www.manitou.com>
9. FAO. Mechanization for Rural Development. <http://www.fao.org/ag/ags/agricultural-engineering/mechanization>
10. AGCO. Fuse Connected Services. <https://www.agcocorp.com>
11. Volvo Construction Equipment. Wheel Loaders L120H. <https://www.volvoce.com>
12. Liebherr. Crawler Loaders. <https://www.liebherr.com>
13. Dieci Telehandlers. <https://www.dieci-telehandlers.com>
14. New Holland Agriculture. L218 Skid Steer. <https://agriculture.newholland.com>
15. «Toyota Traigo 48»: офіційний веб-сайт Toyota Material Handling Europe. <https://toyota-forklifts.eu/europe/models/traigo-48>
16. SY Equipment. Grain Elevators. <https://www.symequipment.com>
17. Omron Robotics and Safety. AGV LD Series. <https://www.omronrobots.com>
17. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-ХІІ.
18. Наказ Міністерства соціальної політики України «Про затвердження Типових правил з охорони праці під час експлуатації машин і устаткування» (НПАОП 0.00-4.01-04).

19. Державні будівельні норми ДБН А.3.2-2-2009 «Норми освітлення виробничих приміщень».
20. ДБН В.2.5-28-2006 «Санітарно-гігієнічні вимоги до виробничих будівель і приміщень».
21. ДСТУ EN ISO 4413:2016 «Гідравлічні системи — Рекомендації щодо безпеки».
22. СНіП А-93-74 «Санітарні норми водопостачання і водовідведення».
23. НКРЕКП. Тарифи на електроенергію для промислових споживачів. Офіційний вебсайт Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, 2024. URL: <https://www.nerc.gov.ua> .
24. ДСТУ 24200:2017 "Норми витрат енергії. Електрична енергія на технологічні потреби", Державне агентство з технічного регулювання та метрології України, 2017.
25. Державна служба статистики України. Відомості про заробітні плати в сільському господарстві: статистичний щорічник, 2024. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>.

Додатки