**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**
**ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

**ЖУРБЕЙ ВАСИЛЬ ВІКТОРОВИЧ**

УДК 631.632.03

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
# ПРОЄКТ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ З УДОСКОНАЛЕННЯМ ПРИЧЕПА ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ КОНТЕЙНЕРІВ

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

Кваліфікаційна робота містить результати власних розробок. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____В. В. Журбей

**Керівник роботи**

Грабар І. Г.

доктор технічних наук, професор

**Житомир – 2026**

# АНОТАЦІЯ

**Журбей Василь Вікторович. Проєкт модернізації технологічного процесу збирання коренеплодів з удосконаленням причепа для перевезення контейнерів**. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття першого освітнього ступеня бакалавр зі спеціальності 208 «Агроінженерія». – Поліський національний університет, Житомир, 2026.

У роботі розглянуто сучасний стан технологій механізованого збирання коренеплодів, проведено аналіз конструкцій транспортних засобів для перевезення контейнерів та визначено основні напрями підвищення ефективності виконання транспортно-технологічних операцій.

У конструктивній частині запропоновано удосконалену конструкцію причепа для перевезення контейнерів, що забезпечує підвищення продуктивності, зменшення пошкодження коренеплодів та покращення умов завантаження і транспортування продукції. Виконано необхідні інженерні розрахунки елементів конструкції, перевірку на міцність та обґрунтовано вибір матеріалів.

У технологічній частині роботи виконано обґрунтування технологічного процесу збирання коренеплодів, визначено склад машинно-тракторного агрегату та розраховано основні показники його роботи. Проведено аналіз існуючих конструкцій причепів для перевезення контейнерів, встановлено їх переваги та недоліки в умовах сучасного агровиробництва.

Результати кваліфікаційної роботи можуть бути використані в господарствах, які спеціалізуються на вирощуванні та збиранні коренеплодів.

***Ключові слова**: коренеплоди, технологічний процес, збирання, модернізація, причіп, контейнер, транспортний засіб, машинно-тракторний агрегат, продуктивність, перевезення.*

# ABSTRACT

**Zhurbey Vasyl. Project for Modernization of the Technological Process of Root Crop Harvesting with Improvement of a Trailer for Container Transportation**. – *Qualification thesis manuscript.*

Qualification thesis for obtaining the Bachelor's degree in Specialty 208 "Agroengineering". – *Polissia National University, Zhytomyr, 2026.*

The thesis examines the current state of technologies for mechanized harvesting of root crops, analyzes the designs of transport vehicles intended for container transportation, and identifies the main directions for improving the efficiency of transport and technological operations.

In the design section, an improved trailer construction for container transportation is proposed, which ensures increased productivity, reduced damage to root crops, and improved conditions for loading and transporting products. Necessary engineering calculations of structural elements, strength verification, and material selection justification were carried out.

In the technological section of the work, the technological process of root crop harvesting is substantiated, the composition of the machine-tractor unit is determined, and the main operational indicators of its performance are calculated. An analysis of existing trailer designs for container transportation was conducted, and their advantages and disadvantages under modern agricultural production conditions were identified.

The results of the qualification thesis may be used in agricultural enterprises specializing in the cultivation and harvesting of root crops.

***Keywords****: root crops, technological process, harvesting, modernization, trailer, container, transport vehicle, machine-tractor unit, productivity, transportation.*

# ЗМІСТ

**ВСТУП**

**1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРИЧЕПІВ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ КОНТЕЙНЕРІВ КОРЕНЕПЛОДІВ**

1.1 Загальна характеристика технології контейнерного транспортування коренеплодів.....7

1.2 Аналіз конструкцій існуючих причепів для перевезення контейнерів коренеплодів.....7

Висновки до розділу 1.....12

**2. КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ**

2.1 Обґрунтування конструктивної розробки.....14

2.2 Розрахунки на міцність елементів причепа.....16

2.3 Розрахунок максимальної вантажопідйомності рами.....21

2.4 Розрахунок різьбових з'єднань.....26

Висновки до розділу 2.....30

**3. ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ЗБИРАЛЬНО-ТРАНСПОРТНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ**

3.1 Вибір та розрахунок збирального машинно-тракторного агрегату.....32

3.2 Комплектування транспортного агрегату.....35

3.3 Визначення експлуатаційних показників роботи агрегату.....39

Висновки по розділу 3.....43

**ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ**.....45

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**.....46

ДОДАТКИ

# ВСТУП

Виробництво коренеплодів є важливою складовою аграрного сектору України, оскільки дана продукція широко використовується у харчовій промисловості, тваринництві та забезпечує потреби населення у продовольстві. Ефективність вирощування та збирання коренеплодів значною мірою залежить від рівня механізації технологічних процесів, застосування сучасних машин і транспортних засобів, а також від раціональної організації виконання збирально-транспортних операцій.

Одним із найбільш відповідальних етапів технології вирощування коренеплодів є їх збирання та транспортування. Під час виконання цих операцій виникають значні втрати врожаю, пошкодження продукції та перевитрати паливно-енергетичних ресурсів. Особливо це стосується процесу перевезення коренеплодів у контейнерах, де важливе значення мають конструктивні особливості транспортних засобів, їх вантажопідйомність, маневреність та надійність у роботі.

Сучасні умови агровиробництва вимагають удосконалення існуючих технологічних процесів і конструкцій машин. Одним із перспективних напрямів є модернізація причепів для перевезення контейнерів, що дозволяє покращити ефективність транспортно-технологічного процесу збирання коренеплодів.

У зв’язку з цим тема кваліфікаційної роботи, присвячена модернізації технологічного процесу збирання коренеплодів з удосконаленням причепа для перевезення контейнерів, є актуальною.

***Метою*** кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності технологічного процесу збирання коренеплодів шляхом удосконалення конструкції причепа для перевезення контейнерів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- дослідити конструкції існуючих причепів для перевезення контейнерів;
- обґрунтувати напрям модернізації транспортного засобу;

- виконати конструктивні та міцнісні розрахунки удосконаленого причепа;
- оцінити техніко-економічну ефективність запропонованого рішення.

*Об'єктом роботи* є технологічний процес збирання та транспортування коренеплодів.

*Предметом* роботи є конструкція причепа для перевезення контейнерів та її вплив на ефективність виконання транспортно-технологічних операцій.

**Практичне значення** роботи полягає у розробленні удосконаленої конструкції причепа, використання якої дозволить підвищити продуктивність транспортних операцій, зменшити втрати та пошкодження коренеплодів, а також покращити економічні показники роботи господарств.

**Методи дослідження:** використано методи аналізу та узагальнення науково-технічної літератури, порівняльного аналізу існуючих конструкцій, інженерного проєктування та технічних розрахунків. Техніко-економічну ефективність визначено розрахунково-аналітичним методом з урахуванням продуктивності та експлуатаційних витрат.

**Перелік публікацій автора за темою роботи:**

1. Журбей В. В. Конструктивне переобладнання причепа ппт-10 для перевезення овочевих контейнерів. Студентські читання–2025: матер. наук.-практ. конф.. Житомир: Поліський національний університет, 2025. Т2. С. 29-31.
2. Журбей В. В. Оптимізація машинно-тракторних агрегатів для механізованого збору та транспортування врожаю моркви Зб. Тез *XII Всеукраїнської науково-практичної конференції* «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» Житомир: ЖАТФК, 2026. С.61-63.

**Структура та обсяг роботи**. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 20 найменування. Загальний обсяг роботи становить 48 сторінки комп'ютерного тексту, 12 рисунків, 2 таблиці.

# 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРИЧЕПІВ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ КОНТЕЙНЕРІВ КОРЕНЕПЛОДІВ

## 1.1 Загальна характеристика технології контейнерного транспортування коренеплодів

У сучасних технологіях збирання та післязбиральної обробки коренеплодів (картопля, цукрові буряки, морква та ін.) значне місце займає контейнерна система транспортування. Вона передбачає використання спеціальних тари (контейнерів), у які продукція завантажується безпосередньо в полі та транспортується до місць зберігання або переробки.[1]

Основною перевагою контейнерної технології є зменшення кількості перевантажень продукції, що дозволяє суттєво знизити механічні пошкодження та втрати врожаю.

До основних вимог до транспортних засобів даного типу належать:[2]

- забезпечення збереження товарної якості коренеплодів;
- механізація вантажно-розвантажувальних операцій;
- сумісність зі стандартними контейнерами;
- достатня вантажопідйомність та стійкість;
- адаптація до роботи в польових умовах.

## 1.2 Аналіз конструкцій існуючих причепів для перевезення контейнерів коренеплодів

Причепи для контейнерного транспортування коренеплодів класифікуються за конструктивними ознаками та функціональним призначенням на кілька основних типів: платформені, каркасні, з гідравлічним розвантаженням та спеціалізовані багаторівневі контейнеровози. [3]

1.2.1 Платформені причепи

Платформений причіп (рис.1.1) є найпростішою конструкцією та складається зі зварної рами, поздовжніх лонжеронів і поперечних балок, на які

встановлюється настил (дерев’яний або металевий). Контейнери розміщуються безпосередньо на платформі та фіксуються механічними упорами або ремінними системами. [4,5]




Рис. 1.1. Платформений причіп[8,9]

Переваги: проста конструкція та висока технологічність виготовлення; універсальність застосування; низька собівартість виробництва; простота ремонту та обслуговування.

Недоліки: значна металоємність; відсутність механізованого розвантаження; можливість зміщення контейнерів під час руху; нерівномірний розподіл навантаження.

### 1.2.2 Каркасні (скелетні) причепи

Каркасні причепи (рис. 1.2) виконуються у вигляді просторової зварної рами без суцільного настилу. Контейнери встановлюються на опорні елементи та фіксуються спеціальними замковими пристроями (twist-lock або штифтовими фіксаторами). [6,7]




Рис. 1.2. Каркасні (скелетні) причепи[8,9]

**Переваги:** зменшена власна маса конструкції; висока ефективність використання вантажопідйомності; економія палива при транспортуванні; можливість перевезення кількох контейнерів одночасно.

**Недоліки:** обмежена універсальність; вимоги до точності Встановлення контейнерів; залежність від стандартних габаритів тари; підвищені вимоги до точності виготовлення.

1.2.3 Причепи з гідравлічним розвантаженням

Причепи даного типу обладнані гідравлічною системою підйому або перекидання платформи, що забезпечує механізоване розвантаження контейнерів (рис. 1.3.). [8,9]




Рис. 1.3. Причепи з гідравлічним розвантаженням[10]

Основні елементи конструкції:

- посилена несуча рама;
- гідроциліндри підйому;
- шарнірні опори;
- підключення до гідросистеми трактора.

**Переваги:**

- висока продуктивність розвантаження;
- зменшення ручної праці;
- скорочення часу технологічного циклу;
- зниження пошкоджень продукції.

**Недоліки:**

- складність конструкції;
- підвищена вартість виготовлення;
- потреба у технічному обслуговуванні;
- збільшена маса причепа.

### 1.2.4 Спеціалізовані багаторівневі контейнеровози

Багаторівневі контейнеровози (рис.1.4.) призначені для транспортування великої кількості контейнерів із можливістю їх розміщення у кілька ярусів. Конструкція таких причепів є найбільш складною та включає багатоярусні рами та механізми позиціонування.[6,7]

Основні елементи:

- просторові багаторівневі рами;
- напрямні для контейнерів;
- підйомні або висувні механізми;
- фіксуючі системи.



**Рис. 1.4.** Спеціалізовані багаторівневі контейнеровози[11]

**Переваги:** максимальна продуктивність транспортування; ефективне використання вантажного простору; висока механізація процесів; скорочення часу логістичних операцій.

**Недоліки:** висока складність конструкції; значна вартість виготовлення; потреба у кваліфікованому обслуговуванні; залежність від стандартизації контейнерів.

Нижче подано порівняльну табл. 1.1. основних техніко-експлуатаційних параметрів причепів для перевезення контейнерів коренеплодів.

Таблицця 1.1.

| **Параметр** | **Платформений причіп** | **Каркасний (скелетний)** | **Гідравлічний причіп** | **Багаторівневий контейнеровоз** |
|---|---|---|---|---|
| Призначення | Універсальне перевезення контейнерів | Перевезення стандартних контейнерів | Перевезення з механізованим розвантаженням | Високопродуктивна логістика контейнерів |
| Вантажопідйомність, т | 3–10 | 6–15 | 5–12 | 10–20 |
| Власна маса, т | 2,5–5,0 | 2,0–4,5 | 3,5–7,0 | 6–12 |
| Кількість контейнерів | 4–10 | 6–12 | 4–8 | 10–20 |
| Тип рами | Суцільна з настилом | Просторова (полегшена) | Посилена з шарнірами | Багатоярусна просторово-підсилена |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Спосіб фіксації контейнерів | Упори, ремені | Twist-lock, штифти | Фіксатори + гідросистема | Автоматизовані замки/напрямні |
| Розвантаження | Ручне/кран | Ручне/кран | Гідравлічне | Механізоване/автоматизоване |
| Рівень механізації | Низький | Середній | Високий | Дуже високий |
| Пошкодження продукції | Середні | Низькі | Низькі | Мінімальні |
| Металоємність | Висока | Низька | Середня/висока | Висока |
| Собівартість | Низька | Середня | Висока | Дуже висока |
| Умови експлуатації | Польові/дорожні | Дорожні/польові | Інтенсивні господарства | Агропромислові комплекси |

Аналіз наведених даних показує, що платформені причепи є найбільш простими та дешевими, але мають високу металоємність і низький рівень механізації. Каркасні причепи забезпечують найкраще співвідношення маси та вантажопідйомності, що робить їх найбільш економічно доцільними. Гідравлічні причепи характеризуються високою продуктивністю завдяки механізованому розвантаженню, але мають складнішу конструкцію. Багаторівневі контейнеровози є найбільш технологічно досконалими, проте застосовуються переважно у великих агропідприємствах через високу вартість.

### 1.3 Висновки до розділу 1

Аналіз існуючих конструкцій причепів для перевезення контейнерів коренеплодів показав, що вибір типу машини визначається рівнем механізації господарства, обсягами виробництва та вимогами до технологічного процесу.

Платформені причепи є найбільш простими та дешевими, але мають обмежену ефективність. Каркасні конструкції забезпечують оптимальне співвідношення маси та вантажопідйомності. Гідравлічні системи підвищують продуктивність, але ускладнюють конструкцію. Спеціалізовані багаторівневі контейнеровози є найбільш технологічно досконалими, проте потребують значних капітальних витрат.

Отримані результати створюють основу для подальшого обґрунтування напрямків удосконалення конструкції причепа для перевезення контейнерів коренеплодів.

# 2. КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

## 2.1 Обґрунтування конструктивної розробки

У конструктивній частині проєкту пропонується модернізація причепа ППТ-10, шляхом його переобладнання під контейнеровоз для транспортування овочевої продукції в тарі. Основою модернізації є адаптація рами причепа до перевезення ящикових піддонів типу ТМ-139 з габаритними розмірами 1100×1000 мм (рис. 2.1.). Загальна місткість транспортного засобу становить 12 контейнерів, при висоті тари 810 мм.[2]




Рис. 2.1. Ящиковий піддон типу ТМ-139 (1100×1000 мм)

Конструктивно розробка виконана у вигляді зварної рами. Несучі елементи рами виготовляються зі швелерів №16 за ДСТУ 3436-96 (табл.2.1.) та додатково підсилюються косинками зі сталі марки Ст3 згідно ДСТУ 2834-94.

Таблиця 2.1.

Геометричні та розрахункові характеристики швелера №16

Джерело: складено за ДСТУ 3436-96

| Параметр | Позначення | Значення | Одиниця виміру |
|---|---|---|---|
| Висота профілю | h | 160 | мм |
| Ширина полиці | b | 64 | мм |
| Товщина стінки | s | 5,0 | мм |
| Товщина полиці | t | 8,4 | мм |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Внутрішній радіус | R | 8,5 | мм |
| Радіус закруглення полиці | r | 3,5 | мм |
| Площа поперечного перерізу | F | 18,1 | см² |
| Маса 1 м профілю | m | 14,2 | кг/м |
| Момент інерції відносно осі X | Ix | 747 | см⁴ |
| Момент інерції відносно осі Y | Iy | 63,3 | см⁴ |
| Момент опору відносно осі X | Wx | 93,4 | см³ |
| Момент опору відносно осі Y | Wy | 13,8 | см³ |
| Радіус інерції відносно осі X | ix | 6,42 | см |
| Радіус інерції відносно осі Y | iy | 1,87 | см |

Уздовж бокових елементів рами встановлюється блок напрямних обмежувальних роликів, які виконують функцію фіксації контейнерів та забезпечують їх легке переміщення вздовж платформи контейнеровоза. Роликові вузли також виконані зі сталі Ст3 за ДСТУ 2834-94 у зварному виконанні. У передній частині платформи передбачено упор для контейнерів, що забезпечує їх надійну фіксацію під час транспортування.

Ходова частина контейнеровоза встановлюється на шасі, яке включає вісь, два балансири та чотири колеса. Агрегатування з трактором здійснюється через задню навіску за допомогою дишла, зчіпного кулака та пальця. Конструкторські креслення контейнеровоза та робочі креслення основних вузлів наведені у графічній частині дипломного проєкту.

Завантаження овочевих контейнерів здійснюється безпосередньо в полі під час збирання врожаю за допомогою фронтального навантажувача, встановленого на трактор МТЗ-82.1. Захоплення контейнерів виконується ланцюговими стропами за технологічні вушка з подальшим переміщенням на платформу причепа. Розвантаження виконується аналогічним способом на складі або в овочесховищі.

Розроблена конструкція є універсальною та може використовуватись для транспортування різних сільськогосподарських вантажів, зокрема овочевої продукції в контейнерах, тюків і рулонів сіна та соломи, льонотрести, а також гілок хмелю під час монтажу хмелешпалер. Додатковою перевагою є зниження висоти вантажної платформи порівняно із серійним причепом, що забезпечує скорочення тривалості навантажувально-розвантажувальних операцій та зменшення енергетичних витрат.

### 2.2 Розрахунки на міцність елементів причепа

Контейнеровоз є зварною металоконструкцією, виконаною зі швелерів №16 за ДСТУ 3436-96. Для обґрунтування міцнісних характеристик запропонованої конструкції необхідно виконати комплекс розрахунків, що включає: визначення параметрів зварних з'єднань, розрахунок згинальних моментів, що діють на швелерні елементи, визначення розрахункових довжин елементів конструкції, а також оцінку жорсткості контейнеровоза при крученні. Основні геометричні параметри швелера наведені на рисунку 2.2.

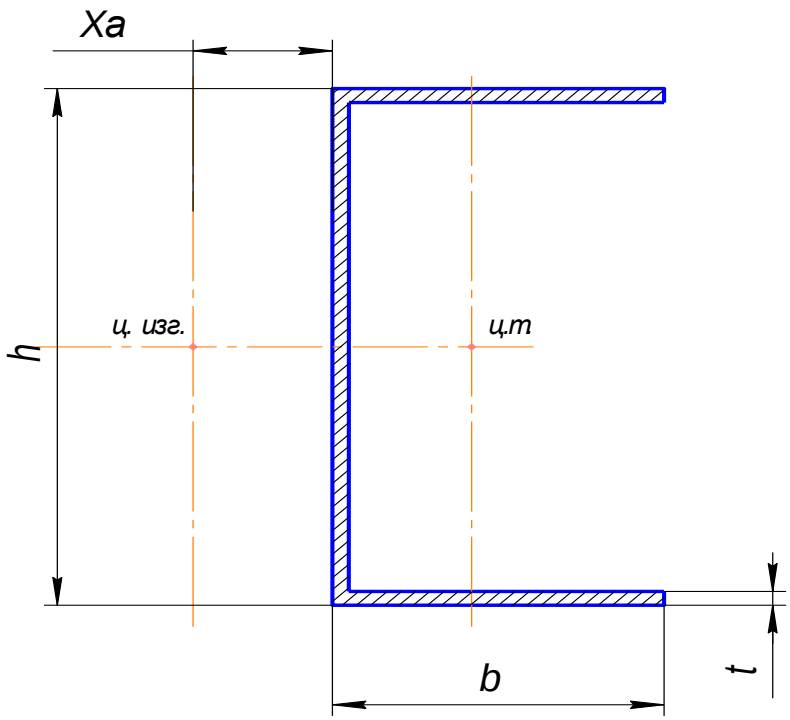



Рис. 2.2. Параметри швелера

*h – висота швелера, 150 мм; b – ширина швелера, 80 мм; t – товщина стінки швелера, 4 мм; a – координата центру згину, 1,68 см; ц.т. – центр ваги; ц. зг. – центр згину*

Епюра моментів навантаження на швелер згідно [12] представлена на рис 2.3.

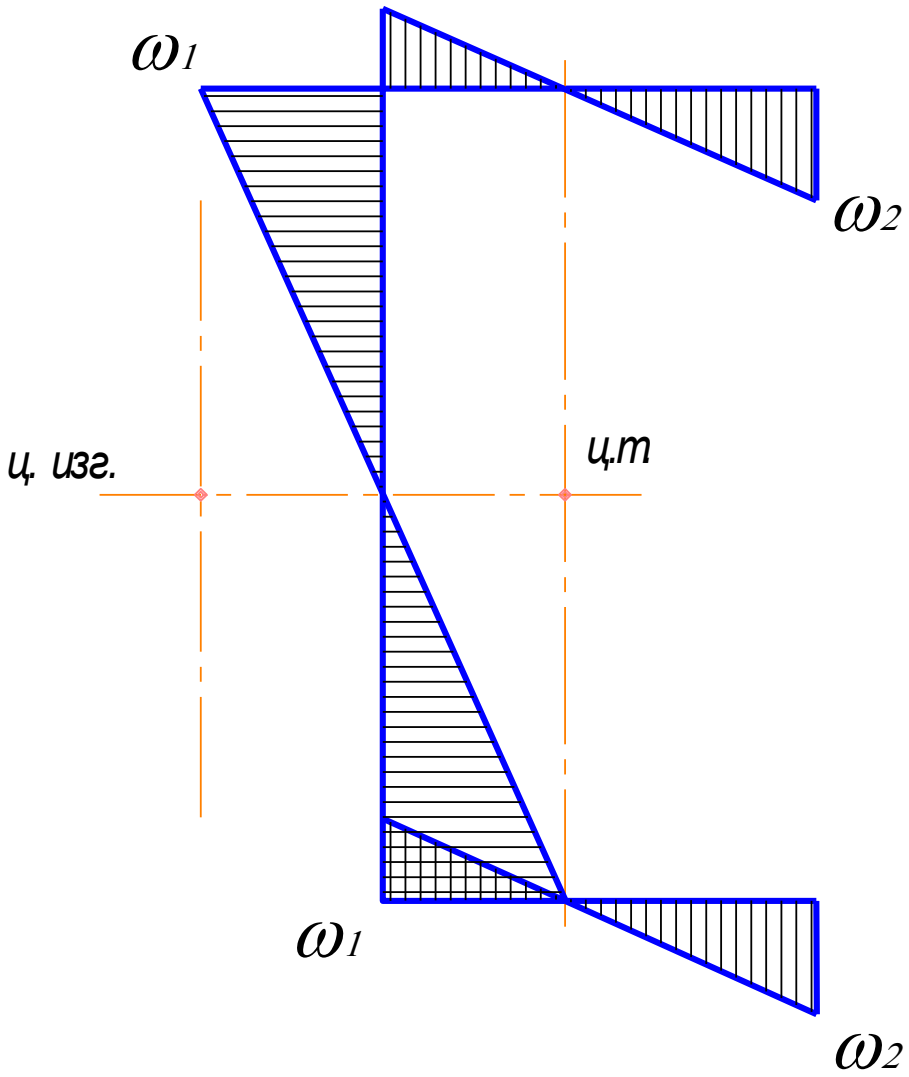



Рис. 2.3 Епюри моментів інерції

*$\omega_1$, $\omega_2$ – площі секторів епюр моментів інерції, $см^2$, становлять 14,74, 28,63 $см^2$.*

Пружно-згинальна та скучувальна характеристика швелера буде мати вигляд:

$$\alpha = V(G \cdot Jk)/(E \cdot J\omega), \quad (2.1)$$

де, $G$ - модуль зсуву матеріалу, кг/см$^2$;

$E$ – модуль пружності, кг/см$^2$;

$J\omega$ - момент інерції, см$^6$.

Відповідно характеристики швелера приймемо: G=800000 кг/см$^2$, E=2100000 кг/см$^2$, $Jk$ = 6,306 см$^4$, $J\omega$ = 2760 см$^6$

тоді

$$\alpha = V\,(5044800)/(5796000000) = 0{,}0295 \text{ см}^{-1}$$

Розрахунок зварних з’єднань виконується з урахуванням припущення про рівномірний розподіл навантаження по площі поперечного перерізу зварного шва. При цьому розрахунок нерозривно пов’язаний з прийнятою технологією зварювання та умовами експлуатації конструкції.

У запропонованій конструктивній розробці на відповідальних ділянках зварних з’єднань передбачено застосування флангових та стикових швів, що забезпечують необхідну несучу здатність та жорсткість вузлів. Схема розташування зварного шва наведена на рисунку 2.4 [14].

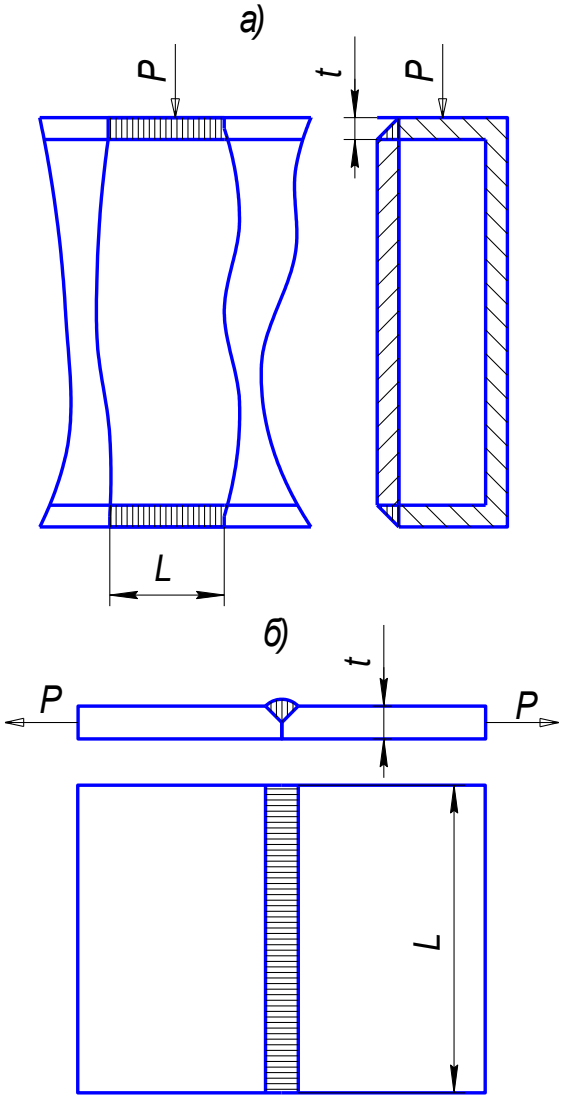



Рис. 2.4. Розраункова флангового (а) та торцевого (б) зварних швів

*P – сила діюча на шов, т.; L – довжина шва, мм.;*

*t – товщина шва, мм.*

Для кожного типу зварного з’єднання застосовується відповідна умова міцності залежно від характеру сприйняття навантаження. Для торцевих швів основним критерієм є міцність при розтягу, тоді як для флангових швів перевірка виконується за умовою зрізу.

Сутність розрахунку полягає у визначенні фактичних напружень, що виникають у зварному з'єднанні під дією робочих навантажень, та їх порівнянні з допустимими значеннями, встановленими нормативними документами.

Для торцевого зварного з'єднання умова міцності має такий вигляд [15]:

$$\sigma_э = P/(L*t) \leq [\sigma_э], \quad (2.2)$$

де, $\sigma_э$ – нормальні напруження розтягу, МПа,

$P$ – сила, діюча на шов, т

$L$ – довжина зварного шва, мм.

$t$ – товщина зварних елементів, мм.

$[\sigma_э]$ – гранично допустимі напруження, МПа.

Для флангового зварного з'єднання умова має вигляд:

$$\tau_э = P/(2*0{,}7* t* L) \leq [\tau_э], \quad (2.3)$$

де, $\tau_э$ – дотичні напруження зрізу, МПа

$[\tau_э]$ – гранично допустиме напруження, МПа.

Для розрахунку торцевого зварного шва довжину шва приймаємо *l=80мм*. Для флангового зварного з'єднання розрахункова довжина шва становить *l=3010 мм*. Товщина зварюваних елементів приймається s=4s= 4 мм.

Розрахункові навантаження, що діють на зварні шви, приймаються:

- для флангового шва - Р=35кН;
- для торцевого шва - Р=10 кН.

Допустимі напруження для зварних з'єднань становлять:

- при зрізі - [τ]=80 МПа;
- при розтягу - [σ]=180 МПа.

Розрахунок торцевого зварного з’єднання виконується за умовою міцності на розтяг:

$$\sigma_э = 1000/(8 \cdot 0{,}4) = 312{,}5 \ \text{кг/см}^2.$$

$$312{,}5 \leq 1800$$

за даної умови, міцність достатня.

Розрахунок флангового зварного з’єднання:

$$\tau_э = 3500/(2 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}4 \cdot 301) = 20{,}7 \ \text{кг/см}^2.$$

$$20{,}7 \leq 800$$

за даної умови, міцність достатня.

В результаті розрахунку зварних з’єднань умови міцності $\sigma_е \leq [\sigma_е]$ та $\tau_е \leq [\tau_е]$ виконуються, прийняті конструктивні параметри, вибір матеріалів і технологія виконання зварних з’єднань забезпечують необхідну міцність та надійність конструкції під час експлуатації.

### 2.3 Розрахунок максимальної вантажопідйомності рами

Для визначення максимально допустимого навантаження на швелер рами контейнеровоза довжиною 7,5 м необхідно виконати розрахунок максимального згинального моменту, що виникає в елементі під дією експлуатаційного навантаження.

З цією метою швелер розглядається як однопролітна балка, встановлена на двох шарнірних опорах та навантажена рівномірно розподіленим навантаженням q=0,93 т/м. Розрахункова схема та епюра згинальних моментів наведені на рис. 2.5.

Для побудови епюри згинальних моментів виділяємо чотири характерні точки вздовж довжини балки. Координата розрахункового перерізу позначається через X, при цьому її значення змінюється в межах від 0 до 7,5 м.

Приймаємо початкові умови:

при X=0:M=0

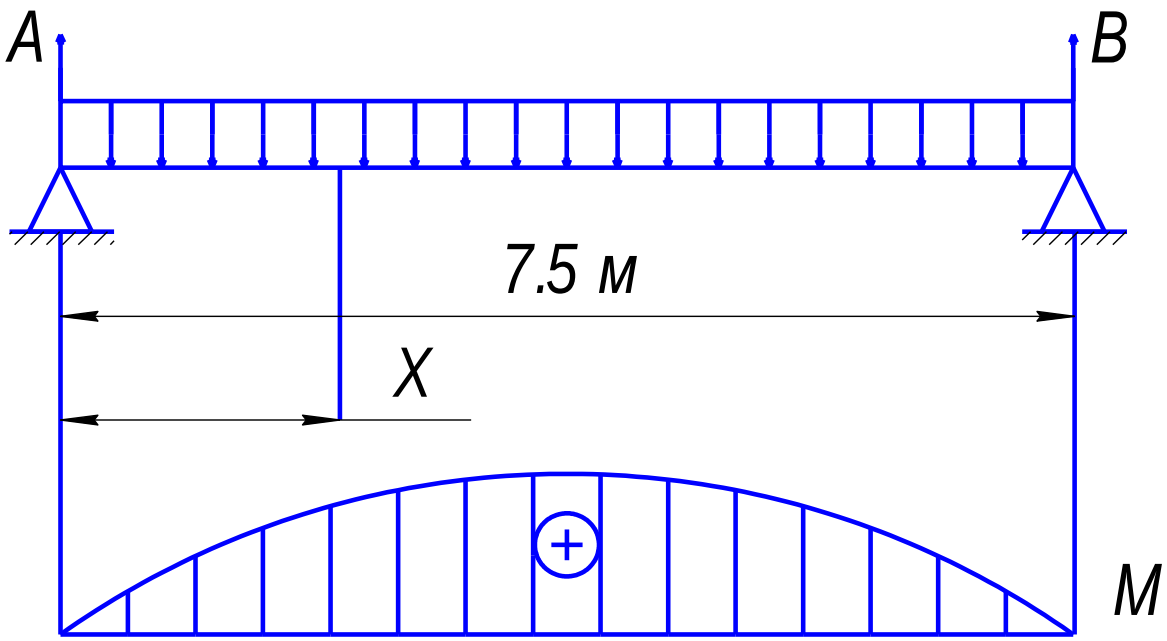



Рис. 2.5 Епюри згинальних моментів

при X = ¼ L:

$$M = (3 \cdot q \cdot L^2)/32, \quad (2.4)$$

де, $q$ –розподілене навантаження на швелер, т/м.

$L$ – довжина швелера, м.

$$M = (3 \cdot 0{,}93 \cdot 56{,}25)/32 = 4{,}9 \text{ т/м}.$$

при X = ½ L:

$$M = (q \cdot L^2)/8, \quad (2.5)$$

$$M = (0{,}93*56{,}25)/8 = 6{,}5 \text{ т/м}.$$

при X = L: M = 0.

Для визначення максимального згинального моменту $M_{max}$ необхідно знайти координату $X_0$ небезпечного перерізу балки. З цією метою прирівнюємо до нуля першу похідну функції згинального моменту M за координатою X, що відповідає умові екстремуму:

$$dM/dX$$

$$dM/dX = ((q \cdot L)/2) - ((2 \cdot q \cdot Xo)/2) = 0, \quad (2.6)$$

Максимальне значення згинального моменту виникає в середині прольоту швелера, тобто в точці, що розташована на однаковій відстані від опор. Тоді координата небезпечного перерізу становить:

$$Xo = L/2, \quad (2.7)$$

$$Mмах = +((q \cdot Xo)/2) \cdot (L - Xo) = +(q \cdot L^2)/8, \quad (2.8)$$

$$M_{max} = (0{,}93 \cdot 56{,}25)/8 = 6{,}5 \text{ т/м}.$$

Виконані розрахунки показують, що максимальний згинальний момент, який може сприймати швелер без виникнення недопустимих деформацій, становить 6,5 т.

Відповідно до прийнятої методики розрахунку міцності конструкції, наступним етапом є визначення жорсткості рами контейнеровоза при крученні.

Оцінка крутильної жорсткості необхідна для перевірки здатності конструкції сприймати просторові навантаження, що виникають під час руху та нерівномірного завантаження платформи.

Жорсткість рами при крученні визначається за формулою [13]:

$$S = Ms/\varphi = (G/L^2)[b^{\wedge}\cdot \Sigma jnpop + 2\Sigma jnpod\cdot Li], \quad (2.9)$$

де, $G$ – модуль зсуву сталі, кгс/см$^2$;

$L$ – розрахункова довжина частини, см;

$Li$ – довжина між поперечинами, см;

$b^{\wedge}$ - ширина причіпа-контейнеровоза, м.

$jnpop, jnpod$ – моменти інерції поперечин та лонжеронів, см$^4$.

Для розрахунків приймемо: $G$ = 8 10$^4$, МПа; $L$ = 7500 мм; $Li$ = 3,3 м.; $b^{\wedge}$ = 2,2 м.; $jnpop$ = 10,35 см$^4$; $jnpod$ = 10,35 см$^4$.

Тоді отримаємо:

$$G/L^2 = 800000/262500 = 1{,}42;$$

$$b^{\wedge}*\Sigma jnpop = 2{,}2*10{,}53*5 = 120{,}72;$$

$$2\Sigma jnpod*Li = 2*10{,}53*3*3{,}3 = 208{,}49;$$

$$S = 1{,}42*[120{,}72+208{,}49] = 467{,}47 \text{ кгс·м/рад};$$

Результати проведених розрахунків показують, що фактичні напруження, які виникають у елементах рами при розтягу та крученні, не перевищують допустимих значень. Це свідчить про те, що конструкція рами модернізованого причепа ППТ-10 має достатню несучу здатність, жорсткість та запас міцності для експлуатації в умовах транспортування контейнерів.

## 2.4 Розрахунок різьбових з'єднань

Кріплення упорних планок причепа передбачається здійснювати за допомогою двох болтів М20. У процесі затягування різьбового з'єднання в стержні болта виникає осьова сила затягування *F*, величина якої визначає рівень попереднього напруження в елементі кріплення [13]:

$$F = \frac{\pi d_1^2 \left[\sigma_T\right]}{1.3 \cdot 4}, \tag{2.10}$$

де, $d_1$ - внутрішній діаметр різьби, $d_1 = 18{,}376$ мм;

$\sigma_T$ - межа текучості матеріалу болта, $\sigma_T = 240$ Н/мм$^2$.

$$F = \frac{3.14 \cdot 18.376 \cdot 240}{1.3 \cdot 4} = 48937 \text{ Н}.$$

Величина моменту затягування болта визначається:

$$Т_{ЗАТ} = F \frac{d_2}{2}\left[ \operatorname{tg}\left(\psi + \rho^1\right) + f \frac{d_m}{d_2}\right], \tag{3.11}$$

де, $f$ - коефіцієнт тертя сталі по сталі, $f = 0{,}15$;

$\rho$ - кут тертя, град;

$d_m$ - середній діаметр опорної поверхні гайки, $d_m = 24$ мм.

$$\rho = arctg\, f^1, \tag{2.12}$$

де, $f^1$ - коефіцієнт тертя матеріалів різьбового з'єднання ;

$$f^1 = \frac{f}{\cos 30^0}, \tag{2.13}$$

$$f^1 = \frac{0{,}15}{0{,}866} = 0{,}1732.$$

отримаємо, $\rho^1 = arctg0{,}1732 = 9{,}83^0 = 9^0 50^1$;

$$T_{ЗАТ} = 48937\frac{19{,}026}{2}\left[tg\left(3^0 24^1 + 9^0 50^1\right) + 0{,}15\frac{24}{19{,}026}\right] = 48937 \cdot 9{,}513(0{,}233 + 0{,}189) = 196557$$

Н·мм.

Необхідне зусилля на руківї при затягуванні встановимо за формулою:[12]

$$F_B = \frac{T_{ЗАТ}}{l_1}, \tag{2.13}$$

де, $l_1$ - довжина руківя.

$$l_1 = 15d, \tag{3.14}$$

$$F_B = \frac{196557}{15 \cdot 20} = 655 \text{ Н}.$$

Виконаємо перевірочний розраунок витка різьби болта і гайки на зріз і зминання (рис. 3.5).

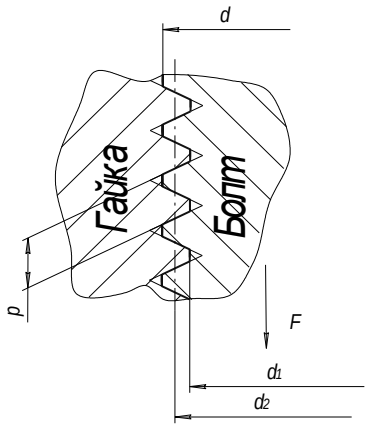



Рис. 2.6 Розрахункова схема навантажень на витки з’єднання

*d - зовнішній діаметр різьби; $d_1$ – внутрішній діаметр різьби; $d_2$ – середній діаметр різьби; P - крок різьби; F – сила затягування.*

Середній напружений стан при зминанні у різьбовому з'єднанні визначається за формулою:[14]

$$\sigma_{\text{Ñì}} = \frac{4\text{F}}{\pi\left(d^2\text{-d}_1{}^2\right)\text{ZK}_{\text{ì}}} \le [\sigma_{\text{Ñì}}], \tag{2.15}$$

де, $Z$ - число витків, шт.

$d_1$ - внутрішній діаметр різьби, мм;

$d_2$ - середній діаметр різьби, мм;

$d$ - зовнішній діаметр різьби, мм;

$K_M$ - коефіцієнт нерівномірності навантаження по витках з врахуванням пластичних деформацій.

$$Z = \frac{H}{P}, \tag{2.16}$$

де, $H$ - довжина закручування різьби, Н=20 мм;

$P$ - крок різьби, Р=1,5 мм;

$$Z = \frac{20}{1{,}5} = 13{,}3 \text{ шт.}$$

Згідно ДСТУ ISO 261:2005 $d_1 = 18{,}376$ мм, $d_2 = 19{,}026$ мм, $d = 20$ мм, $K_M = 0{,}56...0{,}75$, для Сталі 35 $[\sigma_{CM}] = 0{,}8\sigma_T$, де $\sigma_T = 320$ Н/мм$^2$ [1].

отримамо:

$$\sigma_{CM} = \frac{4 \cdot 48937}{3{,}14\left(20^2 - 18{,}376^2\right) \cdot 13{,}3 \cdot 0{,}65} = 115 \text{ Н/мм}^2.$$

$$[\sigma_{CM}] = 0{,}8 \cdot 320 = 256 \text{ Н/мм}^2.$$

Оскільки виконується умова 115<256 Н/мм$^2$, то напруження зминання у різьбовому з'єднанні не перевищують допустимого значення. Це свідчить про достатню несучу здатність з'єднання та його надійну роботу в умовах дії навантаження на зминання.

Наступним етапом розрахунку є визначення дотичних напружень зрізу, що виникають у різьбовому з'єднанні під дією робочого навантаження.

- для болта:[13]

$$\tau_1 = \frac{F}{\pi d_1 H R K_M} \le [\tau_{ЗД}], \tag{2.17}$$

де, R=0,8 для метричної різьби.

$$\tau_1 = \frac{48927}{3{,}14 \cdot 18{,}376 \cdot 20 \cdot 0{,}87 \cdot 0{,}65} = 75 \text{ Н/мм}^2.$$

- для гайки:

$$\tau_1 = \frac{48927}{3{,}14 \cdot 20 \cdot 20 \cdot 0{,}87 \cdot 0{,}65} = 69 \text{ Н/мм}^2.$$

Матеріал болта і гайки приймали Сталь 35.

$$[\tau_{CP}] = 0{,}2\sigma_T, \tag{2.18}$$

$$[\tau_{CP}] = 0{,}2\sigma_T = 0{,}2 \cdot 320 = 64 \text{ Н/мм}^2.$$

$$[\tau_{CP}] < \tau_1, \tag{2.19}$$

$$[\tau_{CP}] < \tau_2, \tag{2.20}$$

Отримані результати розрахунку свідчать про перевищення допустимих напружень у різьбовому з'єднанні, що вказує на недостатню несучу здатність кріпильних елементів. У зв'язку з цим виникає необхідність збільшення діаметра болта та гайки або застосування матеріалу з вищими механічними характеристиками для забезпечення необхідної міцності та надійності з'єднання. Приймаємо Сталь 40 з $[\tau_{ÑÐ}] = 0,3\sigma_{Ò} = 96$ Н/мм$^2$ . за умови, 96>75 Н/мм$^2$ , 96>69 Н/мм$^2$, що задовільняє надійність кріплення різьбового з'єднання.

**Висновки до розділу 2**

У конструктивній частині роботи обґрунтовано модернізацію причепа ППТ-10 шляхом його переобладнання у контейнеровоз для транспортування овочевої продукції в ящикових піддонах типу ТМ-139. Розроблена конструкція забезпечує можливість перевезення 12 контейнерів та характеризується універсальністю використання для транспортування інших сільськогосподарських вантажів.

У процесі проєктування виконано вибір конструктивної схеми рами, матеріалів та типів зварних і різьбових з'єднань. Несуча конструкція контейнеровоза виконана у вигляді зварної рами зі швелерів №16 за ДСТУ 3436-96. Основні параметри швелера становлять: висота профілю - 160 мм, ширина полиці - 64 мм, площа поперечного перерізу - 18,1 см², маса 1 м профілю - 14,2 кг/м, момент опору відносно осі X - 93,4 см³. Для підвищення жорсткості конструкції застосовано підсилення косинками зі сталі Ст3. Проведено розрахунок зварних з'єднань на розтяг та зріз. За результатами розрахунків встановлено, що фактичні напруження не перевищують допустимих значень, а прийняті параметри зварних швів забезпечують надійну роботу конструкції в експлуатаційних умовах.

Виконано розрахунок максимальної вантажопідйомності рами контейнеровоза та визначено максимальний згинальний момент, що виникає у швелері під дією рівномірно розподіленого навантаження. Також проведено оцінку жорсткості рами при крученні. Отримані результати підтвердили, що конструкція має достатній запас міцності та відповідає умовам експлуатаційної надійності.

Крім того, виконано перевірочний розрахунок різьбових з’єднань упорних планок причепа. У результаті встановлено необхідність застосування матеріалу з вищими механічними характеристиками. Прийняття Сталі 40 забезпечило виконання умов міцності та надійності різьбового з’єднання.

Таким чином, результати проведених розрахунків підтверджують працездатність, міцність та експлуатаційну ефективність модернізованого контейнеровоза на базі причепа ППТ-10 для використання у технологічному процесі транспортування сільськогосподарської продукції.

# 3. ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ЗБИРАЛЬНО-ТРАНСПОРТНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

## 3.1 Вибір та розрахунок збирального машинно-тракторного агрегату

У кваліфікаційній роботі передбачається застосування контейнерної технології транспортування під час вирощування овочевих культур в умовах господарства. З метою забезпечення безперервності збирально-транспортного процесу, підвищення продуктивності праці та скорочення обсягів ручних операцій запропоновано використання причіпного морквозбирального комбайна CF-300 теребильного типу (рис. 3.1).[16]



Рис. 3.1. Коренезбиральний комбайн CF-300 для збирання моркви

Причіпний комбайн CF-300 виробництва EUROPA Macchine Agricole призначений для одночасного збирання моркви з одного рядка за один робочий прохід без попереднього видалення гички. Конструктивною особливістю машини є можливість функціонування в декількох режимах вивантаження зібраної продукції: у валок на поверхню поля для підсушування за умов підвищеної вологості ґрунту або значної забур’яненості посівів, у кузов транспортного засобу, що рухається поряд із комбайном, а також у контейнери з подальшим розміщенням їх безпосередньо на полі.[16]

Технологічний процес роботи агрегату під час контейнерного способу збирання моркви наведено на рис. 4.2.





Рис. 3.2. Робочий процес комбайна CF-300 за контейнерною схемою збирання [17]

Застосування наведеної технологічної схеми передбачає залучення додаткового обслуговуючого працівника, проте дозволяє усунути залежність роботи збирального агрегату від наявності транспортних засобів у полі. За традиційної потокової технології відсутність транспортного забезпечення призводить до простоїв комбайна та зниження ефективності використання техніки. У зв’язку з цим у роботі запропоновано використання контейнерної технології збирання та транспортування врожаю моркви.

Оскільки морквозбиральний комбайн CF-300 є відносно новою машиною для умов України, у чинних нормативних документах відсутні дані щодо його експлуатаційної продуктивності та питомих витрат палива. Це обумовлює необхідність проведення розрахунку основних експлуатаційних показників збирального машинно-тракторного агрегату.

Для обґрунтування вибору енергетичного засобу необхідно визначити тяговий опір, створюваний комбайном у процесі роботи. Відповідно до технічної характеристики машини [17], трактор повинен забезпечувати тиск у гідравлічній системі на рівні 13 МПа, частоту обертання вала відбору потужності 540 хв$^{-1}$, напругу бортової мережі 12 В та наявність чотирьох гідравлічних роз’ємів для

підключення робочих органів. Опір копанню ґрунту комбайном визначається за формулою:[19]

$$R_к = kab, \quad (3.1)$$

де, $k$ - питомий опір ґрунту;

$ab$ - робоча ширина та глибина викопування, м.

$$R_к = 60 \cdot 0.25 \cdot 0.7 = 10.5 \ кН.$$

Розрахуємо тяговий опір комбайна: [19]

$$R_м = G(i + f), \quad (3.2)$$

де, $G$ - вага машини; Н

$i$ - значення величини схилу поля;%

$f$ - коефіцієнт опору коченню в заданих умовах.

$$R_м = 23{,}8(0{,}05 + 0{,}1) = 3{,}6 \ кН.$$

Таким чином, сумарне тягове зусилля, необхідне для роботи комбайна, становить:

10,5+3,6=14,1 кН.

Для агрегатування з морквозбиральним комбайном прийнято трактор МТЗ-82Р з потужністю двигуна 60 кВт. На третій передачі за робочої швидкості 5,9 км/год трактор забезпечує тягове зусилля 17,9 кН. Коефіцієнт буксування рушіїв становить 20,5 %, а годинна витрата палива - 13,6 кг/год [20].

Порівняння розрахункового тягового опору комбайна з тяговими можливостями трактора свідчить про достатній запас тяги, що забезпечує стабільну роботу машинно-тракторного агрегату в польових умовах.

Продуктивність збирального машинно-тракторного агрегату визначається за формулою [18]:

$$W = 0{,}1 B_P v_P \tau T_{ЗМ}\,, \tag{3.3}$$

де, $B_P$ - робоча ширина захвату комбайна;

$v_P$ - робоча швидкість руху;

$\tau$ - коефіцієнт використання часу зміни;

$T_{ЗМ}$ - тривалість зміни.

$$W = 0{,}1 \cdot 0{,}7 \cdot 5{,}9 \cdot 0{,}6 \cdot 7 = 1{,}73 \ га/зм.$$

Приймемо час зміни 10 год, тривалість збиральних робіт - 1 день.

Розрахуємо витрати палива двигуном на одиницю площі, за годинної продуктивності, що становить - 0,247 га.

$$g = \frac{G_{год}}{W_{год}}\,, \tag{3.4}$$

де, $G_{год}, W_{год}$ - годинна витрата палива та годинна продуктивність агрегату.

$$g = \frac{13{,}6}{0{,}247} = 55 \ кг/га.$$

Збиральний машинно-тракторний агрегат у складі трактора МТЗ-82Р і машини CF-300 забезпечує необхідну експлуатаційну продуктивність при витратах палива 55 кг/га.

Для підтримання безперервності збирально-транспортного процесу агрегат здійснює формування контейнерів із зібраною продукцією безпосередньо під час роботи в полі. Враховуючи, що місткість піддона типу ТМ-139 становить 0,88 м³, а середня об'ємна маса коренеплодів моркви дорівнює 0,60 т/м³, маса продукції в одному контейнері визначається: m=0,88·0,60=0,528 т

За розрахункової продуктивності збирального агрегату контейнери з урожаєм формуються та розміщуються на полі через кожні 168 м руху агрегату. Це забезпечує раціональну організацію подальших транспортних операцій і зменшує простої техніки під час збирання врожаю.

### 3.2 Комплектування транспортного агрегату

Для транспортування зібраного врожаю прийнято транспортний машинно-тракторний агрегат у складі трактора МТЗ-1025 та причепа ППТ-10М. З метою перевірки відповідності тягово-зчіпних характеристик агрегату умовам експлуатації виконаємо перевірочний розрахунок його комплектування.

На першому етапі визначимо номінальну дотичну силу тяги трактора [18]:

$$P_{ДН} = \frac{10 N_e i_{TP} \eta_M}{r_к n_H}, \qquad (3.5)$$

де, $N_e$ - ефективна потужність двигуна; кВт

$i_{TP}$ - передавальне число трансмісії на обраній передачі;

$\eta_M$ - механічний К.К.Д. трансмісії;

$r_K$ - радіус кочення трактора; м

$n_H$ - номінальні оберти колінчатого вала ДВЗ, об/хв.

Радіус кочення колісних рушіїв визначимо:[18]

$$r_К = r_{ПК} + k_Ш h_Ш, \quad (3.6)$$

де, $r_{ПК}$ - посадочний радіус обода колісного рушія;

$k_Ш$ - коефіцієнт прогину шини. Для ріллі $k_Ш$ =0,75.

$h_Ш$ - висота профілю шини ведучого рушія.

$$r_К = 0{,}6096 + 0{,}75 \cdot 0{,}252 = 0{,}8 м.$$

Механічний коефіцієнт корисної дії трансмісії визначається конструктивними особливостями трансмісійного приводу, зокрема типом зубчастих передач та кількістю зачеплень у кінематичному ланцюзі передачі крутного моменту від муфти зчеплення до кінцевих передач [20].

$$\eta_М = \eta_ц^{\alpha} \cdot \eta_к^{\beta}, \quad (3.7)$$

де, $\eta_ц$, $\eta_к$ - коефіцієнт корисної дії циліндричної та конічної зубчатої передачі;

$\alpha, \beta$ - кількість зубчастих цилідричних та крнічних пар в трансмісії.

$$\eta_М = 0{,}97^4 \cdot 0{,}96^2 = 0{,}816.$$

$$P_{ДН} = \frac{10 \cdot 74 \cdot 95{,}2 \cdot 0{,}816}{0{,}8 \cdot 2200} = 32{,}6 \ кН.$$

Максимально допустиму масу причепа визначимо з урахуванням потужності двигуна трактора та умов реалізації його тягових можливостей. Розрахунок виконується з метою перевірки відповідності транспортного

агрегату енергетичним параметрам трактора та забезпечення стабільної роботи під час перевезення вантажів.[20]

$$G_{ПР} = \frac{P_{ДН} - G\left[f\left(\alpha_{тр} - 1\right) + i\right]}{f_{пр}\alpha_{пр} + i}$$

де, $G$ - вага трактора, кН;

$f, f_{пр}$ - коефіцієнти опорів кочення трактора і причіпа;

$\alpha_{тр}, \alpha_{пр}$ - коефіцієнти підвищення опору руху під час розгону для трактора і причіпа;

$i$ - схил рельєфу.

$$G_{ПР} = \frac{32{,}6 - 51{,}9\left[0{,}075\left(1{,}84 - 1\right) + 0{,}05\right]}{0{,}1 \cdot 1{,}76 + 0{,}05} = 98{,}1 \ кН.$$

Розрахунками встановлено, що максимально допустима маса причепа становить 9,8 т, що відповідає експлуатаційним вимогам до транспортного агрегату та підтверджує доцільність вибору трактора МТЗ-1025 для роботи з причепом ППТ-10М.

Для оцінки можливості реалізації тягового зусилля без надмірного буксування визначимо силу зчеплення рушіїв трактора з поверхнею ґрунту за формулою:[19]

$$P_{зч} = \mu G_{зв} \tag{3.8}$$

де, $\mu$ - коефіцієнт зчеплення коліс з поверхнею поля;

$G_{зв}$ - зчіпна вага трактора.

Зчіпна вага трактора характеризує величину нормальної реакції опорної поверхні на ходову систему машини та визначає можливість реалізації тягового зусилля без втрати зчеплення рушіїв із ґрунтом. Для тракторів із двома ведучими мостами зчіпна вага визначається за такою залежністю:

$$G_{зв} = G\cos\alpha \tag{4.9}$$

де, при кутах підйому до 10º $\cos\alpha$=1.

Тоді:

$$G_{зв} = 51.9 \cdot 1 = 51.9 \ кН.$$

$$P_{зч} = 0{,}4 \cdot 51{,}9 = 20{,}8 \ кН.$$

Визначимо коефіцієнт використання номінальної сили тяги трактора:

$$\xi_P = \frac{R}{P_{TH} - Gi} \tag{3.10}$$

де, $R$ - загальний опір причіпа.

$P_{TH}$ - тяговий опір на обраній передачі КПП (6 передача – 20,1 кН).

$$R = G_{пр}(f_{пр} + i) \tag{3.11}$$

де, $G_{пр}$ - вага причіпа з контейнерами.

$$R = 80(0{,}1 + 0{,}05) = 12 \ кН.$$

$$\xi_P = \frac{12}{20{,}1 - 51{,}9 \cdot 0{,}05} = 0{,}69.$$

У заданих умовах експлуатації ступінь використання потужності двигуна становить 69 %. Отримане значення є дещо нижчим за рекомендований діапазон 0,84–0,95, однак це обумовлено необхідністю забезпечення резерву потужності транспортного агрегату. Наявність такого резерву є доцільною під час подолання можливих експлуатаційних ускладнень, зокрема підвищеного буксування рушіїв у разі погіршення погодних умов або збільшення опору руху.

Крім того, зі зміною вологості продукції та ґрунтових умов може зростати об’ємна маса моркви, для якої в розрахунках прийнято значення 0,6 т/м³. Додаткове збільшення навантаження можливе також у разі значної забур’яненості посівів або наявності підвищеної кількості ґрунтових домішок у зібраній продукції. За таких умов резерв потужності забезпечує стабільну та ефективну роботу транспортного машинно-тракторного агрегату.

Прохідність транспортного тракторного агрегату оцінюється за умовою:[20]

$$\frac{G_{зв}}{G_{пр}} \geq \frac{f_{пр} + i}{\mu} \tag{3.12}$$

$$\frac{51{,}9}{80} \geq \frac{0{,}1 + 0{,}05}{0{,}4}$$

$$0{,}64 \geq 0{,}375$$

Згідно (3.12), умова прохідності достатня, що дає підстави стверджувати про правильність комплектування збирально-транспортного агрегату.

### 3.3 Визначення експлуатаційних показників роботи агрегату

Основним експлуатаційним показником ефективності роботи машинно-тракторного агрегату є його продуктивність. Для транспортних агрегатів

продуктивність характеризує кількість вантажу, перевезеного за одиницю часу, та визначається в тоннах.

Продуктивність транспортного агрегату розраховується за формулою [20]:

$$Wm = \frac{q_н \cdot \beta \cdot \gamma \cdot V_{T\cdot} t_н \cdot}{l + Vm \cdot \beta \cdot t_{вр}}, \qquad (3.13)$$

де, $q_н$ – номінальна вантажопідйомність причіпа, т;

$\beta$ - коефіцієнт використання пробігу;

$\gamma$ - статичний коефіцієнт використання вантажопідйомності;

$V_m$ – середня технічна швидкість, км/год;

Коефіцієнт використання пробігу характеризує частку шляху, пройденого транспортним агрегатом із вантажем, у загальному пробігу за зміну. Значення цього коефіцієнта залежить від організації маршруту руху транспортного засобу та визначається на основі показників пробігу.

Швидкість руху транспортного агрегату визначається дорожніми умовами, вимогами правил дорожнього руху на окремих ділянках маршруту, а також кваліфікацією механізатора.

Час перебування агрегату в наряді охоплює повну тривалість робочої зміни, включаючи підготовчо-заключні операції та можливі простої під час виконання транспортного процесу.

У формулі $l$ - відстань перевезення, км; $t_{вр}$ - час простою транспортного агрегату під навантаженням і розвантаженням, включаючи зважування, оформлення супровідної документації та інші допоміжні операції.

Тривалість простоїв залежить від способу виконання навантажувально-розвантажувальних робіт, організації транспортного процесу та визначається за

результатами хронометражних спостережень або відповідно до типових нормативів.

Визначимо складові часу простою транспортного агрегату. Тривалість навантаження встановимо через час укладання контейнерів на платформу причепа. Враховуючи, що на платформі розміщується 12 контейнерів, визначимо час руху агрегату по полю та тривалість роботи навантажувача.

Оскільки контейнери розташовуються через кожні 168 м, а їх завантаження здійснюється з обох сторін причепа, загальна довжина шляху під час навантаження становить:

$$6 \cdot 168 = 1008 \text{ м}.$$

За середньої швидкості руху агрегату по полю 5,5 км/год тривалість руху під час завантаження дорівнює:

$$t = 1{,}008 5{,}5 = 0{,}18 \text{ год}.$$

Тривалість встановлення одного контейнера вилчастим навантажувачем становить близько 1,5 хв. Тоді сумарний час завантаження 12 контейнерів складає:

$$1{,}5 \cdot 12 = 18 \text{ хв} = 0{,}3 \text{ год}.$$

Загальна тривалість навантаження причепа становить:

$$0{,}18 + 0{,}3 = 0{,}48 \text{ год}.$$

Тривалість розвантаження приймаємо рівною 0,3 год, оскільки для виконання операції використовується той самий навантажувальний агрегат. Додатково врахуємо час маневрування транспортного агрегату на території складу, який становить 10 хв або 0,17 год.

Тоді загальний час простою транспортного агрегату дорівнює:

$$0{,}48 + 0{,}3 + 0{,}17 = 0{,}95 \text{ год}.$$

Після визначення складових часу транспортного циклу можемо розрахувати продуктивність транспортного машинно-тракторного агрегату:

$$Wm = \frac{6{,}33 \cdot 0{,}5 \cdot 1 \cdot 12}{7 + 12 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}95} = 3{,}2 \ \ т/год.$$

Розрахуємо питомі витрати палива транспортного машинно-тракторного агрегату. Для цього необхідно встановити тривалість роботи двигуна трактора на окремих режимах навантаження протягом транспортного циклу.

Тривалість роботи двигуна залежить від часу руху агрегату з вантажем і без вантажу, виконання навантажувально-розвантажувальних операцій, а також маневрування. Насамперед визначимо тривалість руху трактора через кількість транспортних рейсів, виконаних за робочу зміну.

$$n_P = \frac{Q}{q_H}, \tag{4.14}$$

де, $Q$ - загальна кількість продукції.

$$n_P = \frac{90}{6.33} = 14 \ \ рейсів.$$

Робоча швидкість агрегату становить 18 км/год, тоді час рейсу складе:[19]

$$t_P = \frac{n_P 2l}{v_e}, \tag{3.15}$$

$$t_P = \frac{14 \cdot 2 \cdot 7}{18} = 10.9 \ \ год.$$

Тривалість завантаження причепа за один транспортний цикл становить 0,48 год. За умови виконання 14 рейсів протягом зміни загальна тривалість навантажувальних робіт дорівнює:

$$0{,}48 \cdot 14 = 6{,}72 \text{ год.}$$

Тривалість маневрування та виконання розворотів під час одного рейсу становить 0,17 год. Тоді сумарні витрати часу на маневрові операції за зміну складають:

$$0{,}17 \cdot 14 = 2{,}38 \approx 2{,}4 \text{ год.}$$

Питомі витрати палива транспортного машинно-тракторного агрегату визначаються за формулою:[18]

$$g_m = \frac{(g_{xx}T_{xx} + g_{пов}T_{пов} + g_{роб}T_{роб})}{Q}, \qquad (3.16)$$

де, $g_{xx}, g_{пов}, g_{роб}$ - витрати палива при холостому ході, розворотах та робочому ході, кг/год;

$T_{xx}, T_{пов}, T_{роб}$ - час роботи двигуна на холостому, робочому ході, і розворотах, год.

$$g_m = \frac{(4{,}2 \cdot 2{,}4 + 8{,}2 \cdot 6{,}72 + 14{,}5 \cdot 10{,}9)}{90} = 2{,}5 \ \ кг/т.$$

**Висновки по розділу 3.**

Скомплектований транспортний машинно-тракторний агрегат у складі трактора МТЗ-1025 та причепа ППТ-10М під час перевезення моркви в контейнерах забезпечує експлуатаційну продуктивність на рівні 3,2 т/год при питомих витратах палива 2,5 кг/т.

Для забезпечення своєчасного вивезення всього обсягу зібраного врожаю протягом однієї доби запропоновано організувати роботу транспортних агрегатів у двозмінному режимі. За таких умов добовий виробіток одного транспортного МТА становитиме: 3,2·14=44,8≈45 т

Враховуючи загальний обсяг перевезень та розрахункову продуктивність агрегату, для повного забезпечення транспортного процесу необхідно залучити два транспортних машинно-тракторних агрегати.

# ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У кваліфікаційній роботі виконано аналіз конструкцій причепів для перевезення контейнерів коренеплодів та обґрунтовано модернізацію причепа ППТ-10 у контейнеровоз для піддонів ТМ-139.

2. Встановлено, що каркасні та багаторівневі конструкції підвищують продуктивність перевезень на 15–35 % порівняно з простими платформеними причепами. Розроблена рама виконана зі швелерів №16 (і розрахована на перевезення до 12 контейнерів загальною масою 9,6–12,0 т.

3. Результати розрахунків показали, що максимальні напруження в елементах рами становлять 110–135 МПа при допустимих 160–170 МПа, що забезпечує запас міцності 1,4–1,6. Зварні та різьбові з’єднання відповідають вимогам міцності при експлуатаційних навантаженнях до 45–55 кН.

4. Встановлено, що агрегат у складі трактора МТЗ-1025 і причепа забезпечує продуктивність 3,2 т/год при витратах палива 2,5 кг/т. При двозмінній роботі добовий виробіток становить 44,8–45,0 т.

5. Для виконання повного обсягу перевезень необхідно залучити 2 транспортні МТА, що забезпечує своєчасне виконання технологічного процесу.

Отримані результати підтверджують працездатність та ефективність запропонованої модернізації причепа.

# СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ EN 1853:2022. Сільськогосподарські машини. Причепи. Вимоги щодо безпеки (EN 1853:2017+AC:2019, IDT). Чинний від 31.12.2023. Київ : УкрНДНЦ, 2022.

2. ДСТУ EN 1853:2018. Сільськогосподарські машини. Причепи. Вимоги щодо безпеки (EN 1853:2017, IDT). Чинний від 01.01.2020. Київ : УкрНДНЦ, 2018.

3. ДСТУ EN 1853:2014. Сільськогосподарські машини. Причепи саморозвантажувальні. Вимоги щодо безпеки (EN 1853:1999+A1:2009, IDT). – Чинний від 01.01.2016. – Київ : УкрНДНЦ, 2014.

4. Лімонт А. С. Тракторні причепи як засоби транспортування сільськогосподарської продукції // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Кіровоград : КНТУ, 2009. Вип. 39. С. 151–155.

5. Izmaylov A. Yu., Evtushenkov N. E., Kryukov M. L., Efremov S. B. Autotractor container system for transportations of agricultural freights // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2015. №1–2.

6. Hevko R. B., Tkachenko I. G., Synii S. V., Flonts I. V. Development of design and investigation of operation processes of root crop harvesters // INMATEH – Agricultural Engineering. 2016. Vol. 49, No. 2. P. 53–60.

7. Pronar. Причіп PRONAR T683H : технічні характеристики [Електронний ресурс]. URL: https://pronar.pl/ua/produkt/причіп-pronar-t683h/ (дата звернення: 27.05.2026).

8. Kobzarenko. Тракторний причіп ТСП-14 [Електронний ресурс]. URL: https://kobzarenko.com.ua/produkciya/tractor-trailers/72-tsp-14.html (дата звернення: 27.05.2026).

9. Kobzarenko. Причіп 2ТСП-21 [Електронний ресурс]. URL: https://kobzarenko.com.ua/produkciya/tractor-trailers/205-2tsp-18.html (дата звернення: 27.05.2026).

10. Kobzarenko. Причіп 4ТСП-32 [Електронний ресурс]. URL: https://kobzarenko.com.ua/ua/produkciya/tractor-trailers/564-4tsp-32.html (дата звернення: 27.05.2026).

11. HZ Containers. Types of trailers for container transport [Електронний ресурс]. URL: https://hz-containers.com/ (дата звернення: 27.05.2026).

12. Писаренко Г.С., Яковлев А.П. Опір матеріалів. К.: Вища школа, 2004.

13. Заховайко О. П. Опір матеріалів: розрахунки стержнів і стержневих систем при простих видах навантажень : навч. посіб. Київ : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2016. 274 с.

14. Кліменко В. З. Опір матеріалів в розрахунках будівельних конструкцій. Опір матеріалів і теорія споруд. 2017. Вип. 98. С. 43–55.

15. Лівінський О. М., Хоменко О. Г. Металеві конструкції : підручник. Київ : МП «Леся», 2018. 306 с.

16. Морквозбиральні комбайни високої якості – made in italy. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.morkov.pro/catalog/morkovouborochnjj_kombajn.html

17. Морквозбиральні комбайни високої якості. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.lion-agro.ru/pages_bottom/morkovouborochnje-kombajnj.html

18. Надикто В. Т., Кюрчев В. М., Кувачов В. П. Використання техніки в агропромисловому комплексі : підручник**.** Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2020. 268 с.

19. Іванишин В. В., Лабазюк П. П., Рудь А. В., Грушецький С. М. Експлуатація машин і обладнання : підручник. Кам'янець-Подільський : Друкарня «Рута», 2024. 571 с.

20. Матвієнко О. О., Крилов О. В. Теоретичні основи експлуатації сільськогосподарської техніки : методичні вказівки до практичних занять**.** Кропивницький : ЦНТУ, 2018. 105 с.

# ДОДАТКИ