

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Технічної механіки та сільськогосподарських машин

(повна назва кафедри)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

**бакалавр**

(назва освітнього ступеня)

на тему: Удосконалення процесу викопування картоплі з розробкою  
сепаруючого пристрою однорядного картоплекопача

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МГ-41

спеціальності 208

**Агроінженерія**

(шифр і назва спеціальності)

Яловега С.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Олексюк В.П.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Сташків М.Я.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Бабій А.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2024

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)

Кафедра Технічної механіки та сільськогосподарських машин  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
Бабій А.В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)  
« » 20\_\_ р.

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

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 208 Агроінженерія  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Яловезі Степану Васильовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення процесу викопування картоплі з розробкою сепаруючого пристрою однорядного картоплекопача

Керівник роботи Олексюк Василь Петрович, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 24 » січня 2024 року № 4/7-62

2. Термін подання студентом завершеної роботи 25 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

Базова конструкція однорядного картоплекопача; продуктивність – 0,16 га/год;  
склад агрегату: Т40 + КТ-0,6; кількість викопуваних рядків - 1 рядок;  
швидкість копання – 2,2 км/год.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Реферат. Вступ. 1. Оглядова частина. 2. Проектування технології викопування картоплі.

3. Проектна частина. 4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Загальні висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Аналіз картоплезбиральної техніки. – 1А4. 2. Аналіз конструкцій сепаруючих

пристроїв – 1А4. 3. Загальний вигляд картоплекопача – 2А4. 4. Технологічна схема

сепаруючого пристрою – 1А4. 4. Технічні характеристики картоплекопача – 1А4.

5. Технологія збирання картоплі – 1А4. 6. Деталювання – 1А4

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Окіпний І.Б., доцент		

7. Дата видачі завдання

24.01.2024 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Оглядова частина	02.02.2024 р.	
2	Проектування технології викопування картоплі	10.02.2024 р.	
3	Проектна частина	05.06.2024 р.	
4	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	10.06.2024 р.	
5	Реферат. Вступ. Висновки	15.06.2024 р.	
6	Ілюстративна частина. Специфікації	20.06.2024 р.	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Яловега С.В.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Олексюк В.П.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

**Автор роботи** – Яловега Степан Васильович.

**Тема роботи** – «Удосконалення процесу викопування картоплі з розробкою сепаруючого пристрою однорядного картоплекопача».

Робота виконана на кафедрі технічної механіки та сільськогосподарських машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

**Керівник роботи** – Олексюк Василь Петрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин.

### **Актуальність теми роботи**

Робота відомих картоплезбиральних машин в умовах важких ґрунтів і значної вологості незадовільна і супроводжується недостатньою сепарацією компонентів грядки, що пояснюється фізико-механічними властивостями ґрунту, які є несприятливими для здійснення сепарації.

Найбільш перспективними є пошуки та конструювання активних робочих органів для руйнування картопляної грядки на початку технологічного процесу збирання картоплі. Найефективнішими з цієї точки зору є пристрої, в яких використовується руйнування пласта зусиллями розтягу та зсуву, яке відрізняється меншою енергоємністю і нижчою пошкоджуючою дією на бульби порівняно з іншими типами активних робочих органів.

Таким чином, з метою підвищення продуктивності збирання картоплі, зменшення затрат праці та зниження рівня пошкоджень бульб пошук та обґрунтування параметрів сепаруючих елеваторів для картоплезбиральних машин є актуальною науково-практичною задачею, яка визначила напрямок досліджень кваліфікаційної роботи.

### **Мета роботи**

Основною метою кваліфікаційної роботи є удосконалення процесу викопування картоплі шляхом розробки сепаруючого пристрою однорядного картоплекопача, що дасть можливість підвищити продуктивність збирання

картоплі, зменшити затрати праці та знизити рівень пошкоджень бульб.

### **Об'єкт, методи та джерела дослідження**

*Об'єкт дослідження.* Технологія викопування картоплі.

*Предмет дослідження.* Однорядний картоплекопач.

*Методи дослідження.* Економіко-статистичний, порівняльний, математичного моделювання, теоретико-емпіричний.

### **Отримані результати:**

- розглянуто характеристики умов вирощування та технологію збирання картоплі;
- здійснено аналіз картоплезбиральної техніки та аналіз конструкцій сепаруючих пристроїв картоплезбиральних машин;
- проаналізовано умови експлуатації картоплекопача;
- розроблено операційно-технологічну карту на викопування бульб;
- проведено розрахунки показників тягових властивостей трактора та продуктивності машинно-тракторного агрегату в цілому;
- здійснено технологічні розрахунки картоплекопача;
- розраховано на міцність елементи сепаруючого елеватора;
- розглянуто заходи безпеки при збиранні картоплі удосконаленим копачем;
- розроблено заходи пожежної безпеки при збиранні врожаю картоплі.

### **Практичне значення отриманих результатів.**

Запропоновано конструкцію та обґрунтовано параметри сепаруючого пристрою однорядної картоплезбиральної машини, що дозволить значно знизити затрати енергії на сепарацію, знизити ступінь пошкоджень бульб та покращити їхні товарні якості.

**Структура роботи.** Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань та додатків. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 69, додатки – 1 арк. формату А4, ілюстративний матеріал – 9 арк. формату А4.

**Ключові слова:** картоплекопач, машинно-тракторний агрегат, трактор, технологія викопування, сепаруючий пристрій, сепарація, бульба.

## УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

### *Розділ 2:*

$N_{ен}$  – номінальна потужність двигуна, кВт;

$i$  – загальне передаточне число трансмісії на даній передачі;

$\eta_m$  – механічний коефіцієнт корисної дії трансмісії;

$n_n$  – номінальна частота обертання колінчастого валу двигуна, хв<sup>-1</sup>;

$r_k$  – радіус кочення ведучого колеса, м;

$d$  – посадочний діаметр шини, ”;

$b$  – ширина профілю шини, ”;

$V_n$  – розрахункова швидкість руху трактора на даній передачі, м/с;

$G_{тр}$  – вага трактора, Н;

$\lambda_k$  – коефіцієнт навантаження ведучих коліс трактора;

$f$  – коефіцієнт опору руху трактора;

$\rho$  – нахил рельєфу, град;

$n_d$  – частота обертання колінчастого вала двигуна, хв<sup>-1</sup>;

$\delta$  – буксування ведучих коліс трактора, %.

$n_x$  – частота обертання колінчастого вала двигуна на холостих обертах, об/хв.;

$p$  – безрозмірний параметр;

$k$  – питомий опір машини, Н/м;

$B$  – ширина захвату машини, м;

$G_k$  – вага картоплекопача, Н;

$f$  – коефіцієнт опору коченню картоплекопача;

$k_0$  – питомий опір машини при швидкості руху  $V_0$ , Н/м;

$\Delta C$  – темп збільшення питомого опору;

$B_p$  – робоча ширина захвату агрегату, м;

$T_p$  – чистий робочий час, год;

$L_p$  – середня робоча довжина гону, м;

$l_x$  – середня питома довжина холостого ходу на загоні, яка приходить на один робочий хід агрегату, м;  
 $L$  – довжина робочої ділянки, м;  
 $E$  – мінімальна ширина поворотної смуги, м;  
 $R_0$  – радіус повороту агрегату, м;  
 $d_a$  – кінематична ширина агрегату, м;  
 $e$  – довжина виїзду агрегату, м;  
 $T_{зм}$  – час зміни, год;  
 $T_{техн}$  – час, який витрачається на технологічне обслуговування агрегату, год;  
 $T_{пз}$  – час на зупинки агрегату, год;  
 $T_{ф}$  – час на зупинки по фізіологічним причинам, год;  
 $T_{пер}$  – час на переїзди агрегату, год;  
 $\tau$  – коефіцієнт тривалості поворотів;  
 $G_p, G_x, G_z$  – годинна витрата палива на основній роботі, на поворотах, заїздах, переїздах, на зупинках з працюючим двигуном, кг/год;  
 $T_x$  – час холостого ходу агрегату протягом зміни, год;  
 $T_z$  – час зупинок агрегату з працюючим двигуном, год.

### ***Розділ 3:***

$\varphi$  – кут тертя маси бульбоносного пласта по поверхні лемеша, град;  
 $\psi$  – кут тертя рослинних решток по поверхні лемеша, град;  
 $B$  – ширина підкопаного пласта, м;  
 $b_1$  – зазор між лемешем та дисковими ножами, м;  
 $h_{л}$  – висота підйому пласта лемешем, м;  
 $l_{п}$  – довжина відкидних пальців, м;  
 $d$  – діаметр зірочки елеватора, м;  
 $s$  – найбільший розмір твердих грудок та каміння, м;  
 $\Delta b$  – монтажний зазор між пальцями, м;

$L$  – довжина елеватора, м;

$a$  і  $b$  – дослідні коефіцієнти;

$\Delta V_{\text{ел}}$  – максимальна швидкість співудару бульб з поверхнею полотна елеватора, м/с;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$h$  – максимально допустима висота падіння бульб на не прогумовану поверхню, м;

$K$  – коефіцієнт пропорційності;

$B_{\text{ел}}$  – ширина полотна елеватора, м;

$z$  – кількість ланцюгів, шт;

$F_t$  – колове зусилля на зірочках, Н;

$k_f$  – коефіцієнт, який враховує вплив провисання ланцюга;

$q$  – маса одного погонного метра ланцюга, кг/м;

$a$  – міжосьова відстань елеватора, м;

$B$  – ширина полотна елеватора, м;

$N$  – потужність, яка витрачається на привід елеватора, Вт;

$V_{\text{ес}}$  – середня швидкість руху полотна елеватора, м/с;

$\gamma$  – об'ємна вага вороху, Н/м<sup>3</sup>;

$V$  – об'єм вороху на елеваторі, м<sup>3</sup>.



## ЗМІСТ

<b>Вступ</b> .....	10
<b>1. Оглядова частина</b> .....	11
1.1 Умови вирощування та технологія збирання картоплі .....	11
1.2 Аналіз картоплезбиральної техніки .....	12
1.3 Аналіз конструкцій сепаруючих пристроїв .....	18
1.4 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи бакалавра .....	22
<b>2. Проектування технології викопування картоплі</b> .....	23
2.1 Умови експлуатації картоплекопача .....	23
2.2 Розробка операційно-технологічної карти на викопування бульб .....	24
2.2.1 Розрахунок показників тягових властивостей трактора .....	24
2.2.2 Комплектування машинно-тракторного агрегату .....	29
2.2.3 Продуктивність машинно-тракторного агрегату і витрати палива .....	32
<b>3. Проектна частина</b> .....	35
3.1 Обґрунтування конструкції картоплекопача .....	35
3.2 Технологічні розрахунки .....	39
3.2.1 Розрахунок підкопуючої частини .....	39
3.2.2 Розрахунки сепарувального елеватора .....	43
3.3 Розрахунок на міцність елементів сепарувального елеватора .....	48
3.3.1 Розрахунок на міцність полотна елеватора .....	48
3.3.2 Розрахунок на міцність валів елеватора .....	49
<b>4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</b> .....	59
4.1 Заходи безпеки при збиранні картоплі удосконаленим копачем .....	59
4.2 Заходи пожежної безпеки при збиранні врожаю картоплі .....	63
<b>Загальні висновки</b> .....	65
<b>Перелік посилань</b> .....	66
<b>Додатки</b> .....	69

## ВСТУП

Картопля є однією з найбільш поширених культур сільськогосподарського призначення, яку культивують майже в усіх країнах світу. Однак рівень механізації її вирощування ще не повністю задовольняє агротехнічні вимоги. Найбільш трудомістким процесом у всьому виробничому циклі картоплі вважається операція збирання, яка становить 40-60% усіх трудових витрат. Технічні труднощі механізації збирання значною мірою обумовлюються особливостями цієї культури.

Картоплезбиральна техніка має піднімати значні об'єми ґрунту, маса якого може досягати 2000 тонн з кожного гектара зібраної площі, і з цього об'єму виділити лише 2-3% бульб, а всю масу ґрунту відсіяти назад на поле, не пошкодивши бульб. На процес сепарування ґрунту впливає низка факторів: вологість ґрунту, його структура, присутність бадилля, наявність каміння...

Основними складнощами при розробці картоплезбиральних машин є створення такого типу робочих органів, які будуть виділяти бульби з усього об'єму ґрунту, мінімізуючи пошкодження бульб.

Застосування відомих конструкцій картоплезбиральних машин на середніх та важких ґрунтах з підвищеною вологістю є незадовільною через недостатню сепарацію компонентів грядки. Це обумовлено фізичними та механічними властивостями ґрунту, які несприятливі для сепарації. Тому вдосконалення наявних методів і розробка нових способів сепарації ґрунту поряд із пошуком робочих органів для картоплезбиральних машин є важливим і актуальним завданням.

Тому, найперспективнішим напрямом є пошук і створення робочих органів активного типу, які забезпечуватимуть руйнування картопляних гряд на початку циклу операцій збирання картоплі. Самими ефективними в розрізі цього є пристрої, які використовують руйнування пластів за допомогою розтягувальних та зсувних зусиль. Ці пристрої відрізняються меншими показниками енергомісткості та мінімальним пошкоджувальним впливом на бульби порівнюючи інші типи активних робочих органів.

# 1. ОГЛЯДОВА ЧАСТИНА

## 1.1 Умови вирощування та технологія збирання картоплі

Картопля суттєво відрізняється від більшості сільськогосподарських культур, головним чином через спосіб розмноження бульбами. Значна кількість води і поживних речовин у бульбах дозволяє рослинам картоплі нормально рости і розвиватися в початковій фазі навіть при значних відхиленнях від оптимального рівня забезпеченості вологою, теплом та світлом.

Конструкція, параметри і тип робочих органів картоплезбиральної техніки вибирається з урахуванням розташування бульб у ґрунті, їх форми і розмірів, а також фізичних та механічних особливостей бульб та бадилля. Усі ці характеристики бульб є непостійними і можуть змінюватися залежно від сортів, глибин та прямолінійності висаджування, а також агротехнічних прийомів і ґрунтово-кліматичних умов вирощування.

Картопля зазвичай вирощується із шириною міжрядь 70 см. Практично всі сорти висаджуються з відстанню між бульбами в рядку порядку 30 см, що забезпечує кількість приблизно 50 тис. кущів на 1 га. Картопля розташовується в кущі, форма та розміри якого визначатимуть основні геометричні характеристики використовуваних підкопуючих органів збиральних машин.

Важливу роль при встановленні параметрів того чи іншого підкопуючого робочого органу мають наступні параметри кущів картоплі: глибини, на яких залягають нижні бульби, віддаленість між крайніми бульбами в кущі, і звичайно глибини залягання верхніх бульб. Ці параметри постійно змінюються в залежності від сортів картоплі, типів ґрунтів, глибин висаджування, використовуваної агротехніки вирощування та інших чинників.

Ширина кущів висаджуваних сортів картоплі варіюється від 14 до 24 см; середні значення ширини кущів становить 15-21 см, а максимальні — 23-32 см. Максимальні глибини залягання нижніх бульб становить 16-21 см.

Бульби картоплі мають форми, які є характерними для різних сортів.

Для прикладу, бульби «Рання роза» є великими та подовженими, сорту «Епікур» є бочкоподібними, а сортів «Епрон» і «Лорх» є округлими.

Під час сепарації відокремлюються краще крупні бульби, що мають округлу форму. Крупність бульб залежать від їх кількості в кущі та від сорту. Жива тканина картоплі руйнується за статичного навантаження стиску або в результаті динамічної взаємодії – удару. Міцність бульб картоплі зростає в міру їх дозрівання, коли відповідно зменшується вологість.

Поява тріщин у бульбах, тобто їх руйнування стається при динамічних ударах з металевою поверхнею при швидкостях удару понад 10 м/с. За менших швидкостей можливе часткове пошкодження бульб, а при швидкості менше 3 м/с бульби не пошкоджуються. Міцність бульб картоплі також залежить від їх розмірів та сорту.

Фізичні та механічні властивості бульб картоплі та її бадилля знаходяться в значній залежності від сортів та великої кількості інших чинників. [7].

### **Технологія збирання картоплі**

Урожай картоплі збирають із застосуванням потокових та потоково-перевалочних способів (із використанням комбайнів), роздільними та комбінованими методами. При цих методах картоплю спочатку викопувають у валки або картопля подається у міжряддя двох некопаних рядів, після чого з валків вона підбирається комбайном або викопується із залишених рядків разом із картоплею з міжрядь за допомогою копача-валкоутворювача [10, 13].

При застосуванні потокового способу збирання, картопля від комбайна подається в транспортні засоби саморозвантажувального типу на пряму з бункерів або вивантажувальних транспортерів комбайна і прямує на сортувальні пункти. Там картоплю завантажують у приймальний бункер, де її очищають від домішків ґрунтів, бадиль, камінців, видаляють сильно пошкоджену, гнилу та уражену хворобами, сортують за розмірами – дрібна, середня та велика. Відсортований урожай картоплі вивантажують у транспортні засоби або сховища для подальшого зберігання.

Цей метод збирання базується на принципі промислового конвеєра, за яким бульби від моменту викопування до зберігання або відправки споживачам перебувають у безперервному потоці. Недоліком потокових способів збирання картоплі вважається значна її пошкоджуваність на сортувальних пунктах та невідповідність продуктивності роботи комбайнів з сортувальними пунктами.

За потоково-перевалочного способу картопля зібрана комбайнами доставляється при допомозі транспортних засобів саморозвантажувального типу на площадки, де вона розвантажується у кагати тимчасового зберігання і залишається на 10-12 днів. Протягом цього відрізка часу шкірка бульб грубішає, що зменшує пошкодження під час сортування у 2-3 рази. Також проявляються уражені хворобами та пошкоджені бульби, які потім видаляють на сортувальних пунктах. Картопля із тимчасових кагатів завантажується за допомогою екскаваторів, які обладнані спеціальними ковшами для картоплі.

Роздільним способом збирання картоплі користуються за високої вологості ґрунтів, коли використання прямого комбайнування є неефективним. У цьому випадку копачами-валкоутворювачами викопуються бульби картоплі з двох, чотирьох чи шести рядів і укладаються у валки. Під час першого проходу копач викопує бульби з двох рядків і укладає валок на вирівняну за допомогою спеціальних пристроїв поверхню, відкидаючи бадилля набік. Під час других (других і третіх) проходів картопля укладається на вже сформований валок, залишаючи бадилля за копачем. Такі валки підбираються лише при допомозі комбайнів типу ККУ-2А.

Інші комбайни є конструктивно непридатними для операції підбирання викопаної картоплі. Комбінованим способом збирання користуються при роботах на легких ґрунтах. Копачами-валкоутворювачами викопується картопля з двох або чотирьох сусідніх рядків при укладанні її у міжряддя двох невикопаних рядів. Потім комбайн викопує бульби картоплі із не викопаних двох рядів і підбирає бульби разом з бульбами, які укладені в міжряддя.

Роздільні та комбіновані методи збирання бульб дозволяють знизити трудові витрати майже на 50% і фінансові витрати на 25% порівнюючи з

потоковими способами, а також збільшити показники продуктивності картоплезбиральних комбайнів у 1,5-2,5 рази.

Для прискорення дозрівання бульб та запобігання поширенню фітофтори за 10-12 днів до збирання урожаю, бадилля скошується за допомогою косарок-подрібнювачів і вивозиться з поля.

В умовах дуже важких ґрунтів картопля збирається картоплекопачами з подальшим підбиранням бульб ручним способом.

### **Агротехнічні вимоги до збирання картоплі**

Першочергово картопля викопується на полях, де бадилля почало всихати або вже повністю висохло. Процес збирання припиняють, коли середньодобові температури повітря не опускаються нижче +5 °С.

Поля, які мають довжину гонів до 200 м та нахилом більш як 5° є непридатними для комбайнового способу збирання. Для збору картоплі використовують картоплекопачі. Глибини підкопування повинні бути трохи більшими за глибини залягання бульб картоплі. Кількість ушкодженої картоплі під час збирання комбайнами не повинна бути більшою 12%, а втрати після проходжень комбайнами мають бути не більше 3% (однак не перевищувати 0,6 т/га), без врахування бульб діаметром до 25 мм або вагою до 15 г. Чистота зібраних картоплезбиральними комбайнами бульб картоплі повинна бути не меншою за 80%.

Відсоток механічних пошкоджень бульб картоплезбиральними комбайнами – до 5% стосовно легких ґрунтів і до 12% стосовно важких, тоді як копачами-валкоутворювачами та іншими копачами допускається до 5%.

## 1.2 Аналіз картоплезбиральної техніки

Для максимального використання можливостей двигунів енергозасобів та можливості збору урожаю картоплі за одне проходження агрегату ділянкою використовують комбіновані картоплезбиральні знаряддя. Такі агрегати комплектуються бадиллеподрібнювачами, встановленими на фронтальні навіски, та картоплекопачами-навантажувачами або причіпними картоплезбиральними комбайнами.



Рисунок 1.1 – Комбайни для збирання картоплі ZM2 ardappelrooier

У господарствах Європи, які займаються вирощуванням картоплі поширені однорядні картоплезбиральні комбайни, що мають бокове розташування підкопуючих органів. Вони пропонуються багатьма провідними виробниками. Принципово конструкції однорядних комбайнів не відрізняються, вони обладнані підкопуючими і сепаруючими робочими органами, які призначені для виконання однакових функцій на агрегатах більшості виробників .

Однорядні картоплезбиральні комбайни, які мають бокове розташування підкопуючих органів можуть збирати картоплю як на ділянках, де бадилля скошене, так і на полях без попереднього подрібнення бадилля.



Рисунок 1.2 – Комбайни для збирання картоплі SE 75 - 30 / 40 UB



Рисунок 1.3 – Комбайни для збирання картоплі Racer 4000 WM  
Kartoffeltechnik

У господарствах України використовують однорядні картоплезбиральні комбайни. Агрегати цього типу пропонують компанії Grimme (SE 75/85-55, SE 75-30, SE 75/85-55), Netagco (Wühlmaus), AVR (Spirit 4100), Underhaug (UN 5300), АКПІЛ (Z-608), Agromet-pioneer (Z-643/1), Unia (Z 644 ANNA), Sampo (Sampo Master) та інші.



Однорядні картоплезбиральні комбайни від провідних виробників, таких як Grimme, Netagco, AVR, Underhaug та Sampo, зазвичай оснащені наступними сепаруючо-транспортуючими робочими органами для очищення вороху бульб картоплі: прутковий просіювальний транспортер, багатофункціональний транспортер, перший і другий сепарувальні пристрої, роликів сортувалка та перебиральний стіл.



Рисунок 1.4 – Причіпні картоплезбиральні комбайни Lockwood

Однорядні картоплезбиральні комбайни від компаній Grimme, Netagco, AVR, Underhaug та Sampo мають автоматичну систему, яка здійснює пошук середини гребенів. Ця система, двома датчиками на гребеневому барабані, здійснює керування сницею та направляє підкопувальні лемеші по центру гребеня. Крім того, ці машини мають гідравлічну систему керування колесами, яка вирівнює та утримує комбайни в горизонтальних положеннях на схилах.



Рисунок 1.5 – Однорядний копач картоплі Schmotzer A-ZVK

Для збирання урожаїв картоплі при роздільній технології користуються картоплекопачами-валкоутворювачами та підбирачами валків. Підбирачі включають підбираючі та сепаруючі органи, навантажувальні транспортери та пристрої для горизонтального вирівнювання рами при роботі на схилах.

### **1.3 Аналіз конструкцій сепаруючих пристроїв**

У конструкціях машин для збирання картоплі використовуються сепарувальні робочі органи різних типів та кінематичних схем (рис. 1.6) [15]. Основні типи - грохоти, решета яких здійснюють коливальні рухи (рис. 1.6, а), елеватори пруткового типу (рис. 1.6, б), грохоти барабанного типу (рис. 1.6, в) та валкові грохоти (рис. 1.6, г).

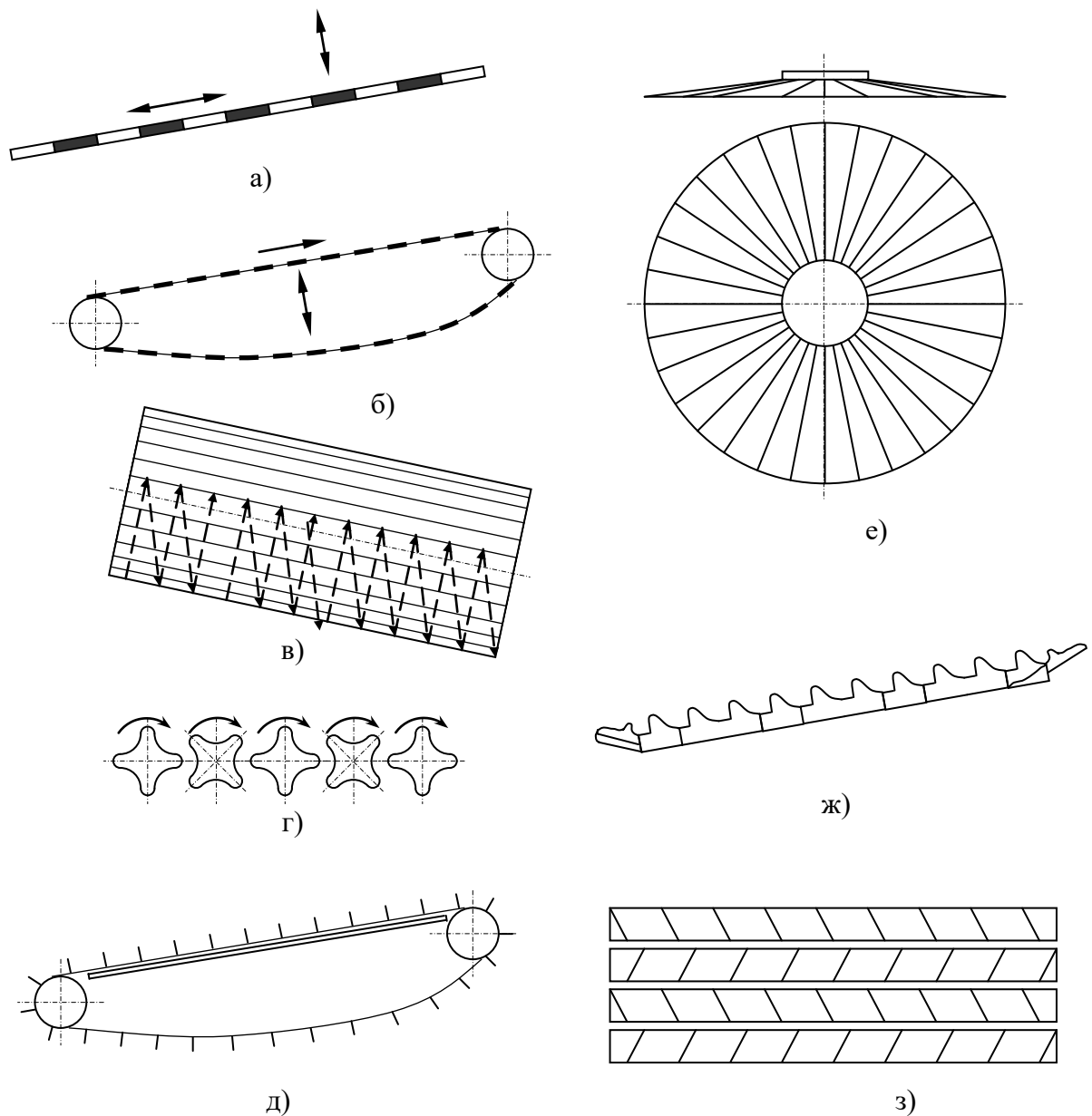


Рисунок 1.6 – Сепаруючі робочі органи

Не дивлячись на те, що пруткові елеватори є одними з найдревніших сепарувальних пристосувань, вони і далі слугують робочими органами для великої кількості як вітчизняних так і закордонних комбайнів. Їх широке застосування пояснюється простотою будови та здатністю одночасно з сепарацією транспортувати пласт вверх під кутом 20-25 градусів. Перевагою цих сепаруючих пристроїв є також мала чутливість до величина нахилу машин

відносно їх горизонтального розміщення.

Проте прутковий елеватор має й суттєві недоліки: велика кількість поверхонь тертя, що призводить до швидкого зношування у абразивному середовищі та додаткових енерговитрат на приведення в дію елеватора; висока металоємкість через те, що робочі частини елеваторів становить менше 80% загальної довжини; присутнє залипання землею площин між прутками за роботи на зволожених типах ґрунтів.

Окрім пруткових елеваторів, на сучасній картоплезбиральній техніці використовують грохоти, що здійснюють коливальні рухи, грохоти вібраційного та барабанного типу.

У вібраційних грохотів коливання решета викликаються незрівноваженими вантажами (дебалансним вібратором). Амплітуда і траєкторія коливань залежать від співвідношення мас дебаланса і корпусу. При збільшенні маси грохоту в період його перевантаження масою, яка сепарується, амплітуда може зменшитися до нуля. Тому такі грохоти малоприйнятні в картоплезбиральних машинах.

Плоскі грохоти, що здійснюють поздовжні коливання є самим поширеним типом грохотів. Їх перевага полягає в можливості легкої зміни відстані між сусідніми прутками заміною решіт, що дозволяє налаштовувати грохот у потрібних межах.

Барабанні грохоти (рис. 1.6, в), які широко використовувалися в ранніх конструкціях картоплезбиральних агрегатів, є надійними і зносостійкими. Їхніми перевагами є те, що у них відсутні незрівноважені інерційні сили і здатність піднімати масу на великі висоти. Однак, барабанні грохоти мають недоліки: вони забиваються рослинними рештками та вологим ґрунтом, що знижує їхню сепарувальні можливості. Крім того, під час виконання робіт на кам'янистих ґрунтах картопля може зазнавати пошкоджень камінням у барабані.

На деяких агрегатах як основний елеватор використовували ротаційні чашеві сепаратори. Перевагами таких сепараторів, по аналогії з барабанними, є

те, що у них відсутні незрівноважені інерційні сили. По характеру руху сепарувальних поверхонь чашеві сепаратори схожі на циліндричні решіта (рис. 1.6, е), які застосовані на зарубіжних картоплезбиральних машинах.

Валкові (кулачкові) грохоти (рис. 1.6, г) дозволяють здійснювати підйом маси вороху під кутом до  $15^\circ$ . У них відсутні інерційні сили і місця інтенсивного зношування, однак мають схильність до заклинювань, коли між кулачки потрапляють сторонні предмети та камені, а також на валики можуть намотуватись рослинні рештки.

Ефективно відбувається піднімання маси скребковими транспортерами у парі із колосниковими ґратками (рис. 1.6, д). При русі ґрунтові грудки фрезеруються та руйнуються через прутки ґратки.

Прутково-клавішні сепаратори (рис. 1.6, ж) мають дві секції пруткових клавіш, які мають нахил  $22^\circ$ , і зазори між прутками 30 мм. Прутки одних секцій розташовуються між прутками інших секцій, утворюючи перепади в кожних секціях. Колінчасті вали обертаються і бульби картоплі переміщуються перепадами вгору на перебиральні столи.

Шнекові сепаратори (рис. 1.6, з) утворені однією або декількома парами гвинтів, що здійснюють обертання в різних керунках. Особливостями цих сепараторів є використання впливу сил гравітації та сил тертя, це дає можливість видалення як ґрунту, так і рослинних решток, шляхом протягування їх через щілини. Не дивлячись на використання гвинтових сепараторів в окремих конструкціях картоплезбиральних агрегатів, вони дають великий відсоток пошкоджених бульб.

Чк бачимо, жоден з відомих робочих органів для здійснення операції сепарації картопляного вороху не має суттєвих переваг. Тому найбільш поширеними є пруткові елеватори завдяки своїй конструктивній простоті.

## 1.4 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи бакалавра

Використання картоплезбиральної техніки на важких і вологих ґрунтах є незадовільною через недостатню якість сепарації компонентів вороху. Це викликано фізичними та механічними властивостями ґрунту, які не сприяють сепарації.

Доволі перспективним напрямом є пошук і розробка робочих органів активного типу для проведення руйнації картопляних грядок на початковому етапі збирання. Ефективними в цьому контексті є пристрої, які забезпечують руйнування пластів зусиллями розтягу та зсуву, що супроводжується меншими затратами енергії та нижчим рівнем пошкодження бульб порівнюючи з іншими робочими органами.

Через складнощі, громіздкість та високу вартість відомих пристроїв, які дозволяють проводити автоматичний розподіл грудок і бульб, а також їх малу продуктивність, варто зосередити більшу увагу на двох основних напрямках: максимальне подрібнювання грудок ґрунту та відокремлювання ґрунту при допомозі робочих органів призначених для первинного сепарування.

Найцікавішими пристроями для сепарування, що присутні в конструкціях картоплезбиральної техніки, є ті, що руйнують грудки не стискаючи їх, а за допомогою використання зусиль розтягу та зсуву, що є в 4-8 разів ефективніше.

Для викопування бульб картоплі доцільним є застосування агрегатів з сепаруючими пристроями активного типу, які дозволяють значно підвищити як продуктивність та і якість роботи.

Отже, для збільшення ефективності збирання урожаїв картоплі, шляхом зниження витрат праці та забезпечення мінімальної пошкоджуваності бульб, варто використовувати картоплезбиральні машини, що мають активні сепаруючі органи, наприклад, сепаруючі елеватори, які враховують зазначені особливості при викопуванні картоплі.

## **2. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИКОПУВАННЯ КАРТОПЛІ**

### **2.1 Умови експлуатації картоплекопача**

Робота картоплекопачів у польових умовах пов'язана з постійними кількісними та якісними змінами умов збору як протягом дня, так і протягом усього сезону збору урожаю картоплі. Причинами нерівномірності завантаження робочих органів картоплекопачів зовнішні та внутрішні чинники.

До зовнішніх чинників, що порушують оптимальний технологічний процес, відносяться: зміни фізико-механічних властивостей бульбоносного вороху та його складу (вологість, механічний склад та щільність ґрунту, забур'яненість ділянки, що залежать від якості проведення попередніх обробітків ділянки, стану бадилля та урожайності картоплі) та неоднорідність в копанні та подаванні бульбоносного шару на сепарувальні органи викопуючого агрегату. На це впливає ряд причин зумовлених змінами глибин проходження підкопувальної частини та нерівномірністю форми картопляних грядок, нестабільністю коефіцієнту пробуксування енергозасобу, що агрегується з картоплекопачем....

Для належного виконання процесу викопування в картоплекопачах потрібно здійснювати регулювання інтенсивності роботи його підкопувальних та сепарувальних органів як з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов, які характерні для даної ділянки, так і при русі картоплекопача упродовж гонів у відповідності до змін вороху, який поступає у копаючий агрегат.

Внутрішні причини включають: загальні показники технічного стану картоплекопачів та їх виконавчих органів; правильний вибір конструктивних параметрів, що впливають на пропускну спроможність; раціональну форму та розміри переходів, а також розміщення конструктивних частин агрегату, які можуть забиватися, та інші фактори.

Тобто, внутрішні чинники, які призводять до порушень протікання

технологічного процесу викопування, усуваються лише шляхом подальшого конструктивного вдосконалення робочих органів картоплекопачів.

Сумарний вплив зовнішніх та внутрішніх чинників доволі болісно позначається на таких показниках як продуктивність та якість викопування сучасної картоплезбиральної техніки, що призводить до її поломки та можливих забивань ворохом.

## **2.2 Розробка операційно-технологічної карти на викопування бульб**

При розроблянні операційно-технологічної карти для виконання операцій копання картоплі за допомогою машинно-тракторного агрегату у складі трактор Т40 + КТ-0,6, необхідно визначити його основні умови роботи.

Враховавши, що в пропонованій конструкції картоплекопача привід основних вузлів буде з використанням гідравліки, то відповідно коефіцієнт використання часу зміни буде більшим. Завдяки більш активному процесу сепарування ґрунту на основному елеваторі, запропонований картоплекопач матиме вищу швидкість копання.

### **2.2.1 Розрахунок показників тягових властивостей трактора**

Розрахунки тягових характеристик трактора Т-40 проводимо для I основної передачі та III, IV, V передач з ходозменшувачем, швидкості руху агрегату на яких відповідають агротехнічним вимогам [3].

Величина номінальної дотичної сили тяги на ободах ведучих коліс знайдемо за формулою:

$$P_{д} = \frac{9554 \cdot N_{ен} \cdot i \cdot \eta_{м}}{r_{к} \cdot 1800}, \quad (2.1)$$



де  $N_{\text{ен}} = 36,8$  кВт;  $\eta_{\text{м}} = 0,91$ ;  $n_{\text{н}} = 1800$  хв<sup>-1</sup>.

Для колісних тракторів величина радіуса кочення ведучих коліс може бути розрахована за формулою:

$$r_{\text{к}} = 0,254 \cdot [0,5 \cdot d + (0,8 \dots 0,85) \cdot b], \quad (2.2)$$

де  $d = 38''$ ;  $b = 13,6''$ .

Тоді

$$r_{\text{к}} = 0,254 \cdot [0,5 \cdot 38 + 0,83 \cdot 13,6] = 0,77 \text{ м.}$$

Знайдемо передаточні числа трансмісії трактора згідно формули:

$$i_{\text{тп}} = 0,377 \cdot \frac{n_{\text{н}} \cdot r_{\text{г}}}{V_{\text{н}}}, \quad (2.3)$$

де  $V_{\text{н IIIx}} = 3$  км/год,  $V_{\text{н IVx}} = 3,5$  км/год,  $V_{\text{н Vx}} = 4,1$  км/год,  
 $V_{\text{н I}} = 6,9$  км/год.

$$i_{\text{тп IIIx}} = 0,377 \cdot \frac{1800 \cdot 0,77}{3,0} = 174,17;$$

$$i_{\text{тп IVx}} = 0,377 \cdot \frac{1800 \cdot 0,77}{3,5} = 149,29;$$

$$i_{\text{тп Vx}} = 0,377 \cdot \frac{1800 \cdot 0,77}{4,1} = 127,44;$$

$$i_{\text{тп I}} = 0,377 \cdot \frac{1800 \cdot 0,77}{6,9} = 75,73.$$

Отже 
$$P_{дIIIx} = \frac{9554 \cdot 36,8 \cdot 174,17 \cdot 0,91}{0,77 \cdot 1800} = 40206,3 \text{ Н};$$

$$P_{дIVx} = \frac{9554 \cdot 36,8 \cdot 149,29 \cdot 0,91}{0,77 \cdot 1800} = 34462,1 \text{ Н};$$

$$P_{дVx} = \frac{9554 \cdot 36,8 \cdot 127,44 \cdot 0,91}{0,77 \cdot 1800} = 29418,3 \text{ Н};$$

$$P_{дI} = \frac{9554 \cdot 36,8 \cdot 75,73 \cdot 0,91}{0,77 \cdot 1800} = 17481,5 \text{ Н}.$$

Визначаємо значення номінальної сили зчеплення рушіїв трактора з ґрунтом:

$$P_{зч} = \mu_n \cdot G_{зч}, \quad (2.4)$$

де  $\mu_n = 0,6$ .

$$G_{зч} = G_{тр} \cdot \lambda_k, \quad (2.5)$$

де  $G_{тр} = 28500 \text{ Н}; \lambda_k = 0,75$ .

Тоді

$$G_{зч} = 28500 \cdot 0,75 = 21375 \text{ Н};$$

$$P_{зч} = 0,6 \cdot 21375 = 12825 \text{ Н}.$$

Тобто величина номінальної дотичної сили тяги на всіх передачах є вищою за значення номінальних сил зчеплення, тому зчеплення є недостатнім і сила, яка здійснює рух агрегату буде відповідати меншій, тобто величині номінальної сили зчеплення:

$$P_p = P_{зч} = 12825 \text{ Н.}$$

Визначаємо опір пересуванню енергозасобу згідно формули:

$$P_{\pi} = f \cdot G_{\text{тр}}, \quad (2.6)$$

де  $f = 0,18$ .

$$P_{\pi} = 0,18 \cdot 28500 = 5130 \text{ Н.}$$

Величину опору рухові енергозасобу на підйом знайдемо за залежністю:

$$P_{\text{н}} = \rho \cdot G_{\text{тр}}, \quad (2.7)$$

де  $\rho = 3\%$ .

$$P_{\text{н}} = 0,03 \cdot 28500 = 855 \text{ Н.}$$

Величини сил тяги на усіх передачах при виконанні процесу викопування в означених умовах будуть однаковими і складатимуть [8]:

$$P_r = P_p - P_{\pi} - P_{\text{н}}; \quad (2.8)$$

$$P_r = 12825 - 5130 - 855 = 6842 \text{ Н.}$$

Знайдемо робочі швидкості руху на обраних передачах згідно формули [8]:

$$V_p = 0,377 \cdot \frac{n_d \cdot r_k}{i} \cdot \left(1 - \frac{\delta}{100}\right). \quad (2.9)$$

За умови недостатнього зчеплення частоти обертів колінвала двигуна буде складати [8]:

$$n_d = n_n + (n_x - n_n) \cdot \frac{P_d - P_{зч}}{P_d}, \quad (2.10)$$

де  $n_x = 1950 \text{ хв}^{-1}$ .

$$n_{дIIIx} = 1800 + (1950 - 1800) \cdot \frac{40206,3 - 12825}{40206,3} = 1902,2 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_{дIVx} = 1800 + (1950 - 1800) \cdot \frac{34462,1 - 12825}{34462,1} = 1894,2 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_{дIVx} = 1800 + (1950 - 1800) \cdot \frac{29418,3 - 12825}{29418,3} = 1884,6 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_{дIIIx} = 1800 + (1950 - 1800) \cdot \frac{17481,5 - 12825}{17481,5} = 1840,0 \text{ хв}^{-1}.$$

Величина пробуксовування ведучих коліс енергетичного засобу:

$$\delta = -k \cdot \ln(1 - p), \quad (2.11)$$

де  $k = 0,15$ .

Значення безрозмірного коефіцієнта  $p$  знайдемо за рівнянням [8]:

$$p = \frac{P_r}{\mu_n \cdot G_{зч}}; \quad (2.12)$$

$$p = \frac{6840}{0,6 \cdot 21375} = 0,53.$$

Тоді  $\delta = -0,15 \cdot \ln(1 - 0,53) = 0,113$ .

Відповідно величини робочих швидкостей на розглянутих передачах будуть складати:

$$V_{p\text{IIIx}} = 0,377 \cdot \frac{1902,2 \cdot 0,77}{174,17} \cdot \left(1 - \frac{11,3}{100}\right) = 2,81 \text{ км/год};$$

$$V_{p\text{IVx}} = 0,377 \cdot \frac{1894,2 \cdot 0,77}{149,29} \cdot \left(1 - \frac{11,3}{100}\right) = 3,27 \text{ км/год};$$

$$V_{p\text{Vx}} = 0,377 \cdot \frac{1884,6 \cdot 0,77}{127,44} \cdot \left(1 - \frac{11,3}{100}\right) = 3,81 \text{ км/год};$$

$$V_{p\text{VIx}} = 0,377 \cdot \frac{1840,0 \cdot 0,77}{75,73} \cdot \left(1 - \frac{11,3}{100}\right) = 6,26 \text{ км/год}.$$

### 2.2.2 Комплектування машинно-тракторного агрегату

Величину тягового опору картоплекопача знайдемо за залежністю [8]:

$$R_k = k \cdot B + G_k \cdot \left(\frac{i}{100} + \rho\right), \quad (2.13)$$

де  $B = 0,7$  м;  $G_k = 6700$  Н;  $f = 0,15 \dots 0,20$ .

Значення питомого опору агрегату знайдемо за рівнянням [8]:

$$k = k_0 \cdot \left[1 + (V_p - V_0) \cdot \frac{\Delta C}{100}\right], \quad (2.14)$$

За швидкості руху  $V_0 = 5$  км/год,  $k_0 = 6500$  Н/м;  $\Delta C = 3\%$  [8].

$$k_{IIIx} = 6500 \cdot \left[ 1 + (2,81 - 5) \cdot \frac{3}{100} \right] = 6073 \text{ Н/м};$$

$$k_{IVx} = 6500 \cdot \left[ 1 + (3,27 - 5) \cdot \frac{3}{100} \right] = 6163 \text{ Н/м};$$

$$k_{Vx} = 6500 \cdot \left[ 1 + (3,81 - 5) \cdot \frac{3}{100} \right] = 6268 \text{ Н/м};$$

$$k_I = 6500 \cdot \left[ 1 + (6,26 - 5) \cdot \frac{3}{100} \right] = 6746 \text{ Н/м}.$$

Знайдемо значення тягових опорів для обраних передач:

$$R_{к IIIx} = 6073 \cdot 0,7 + 6700 \cdot \left( \frac{3}{100} + 0,17 \right) = 5591 \text{ Н};$$

$$R_{к IVx} = 6163 \cdot 0,7 + 6700 \cdot \left( \frac{3}{100} + 0,17 \right) = 5654 \text{ Н};$$

$$R_{к Vx} = 6268 \cdot 0,7 + 6700 \cdot \left( \frac{3}{100} + 0,17 \right) = 5728 \text{ Н};$$

$$R_{к IIIx} = 6746 \cdot 0,7 + 6700 \cdot \left( \frac{3}{100} + 0,17 \right) = 6062 \text{ Н}.$$

Величина частки тягових опорів машини, які припадають на гідропривід елеватора може бути знайдена із формули [8]:

$$R_{\Gamma_{IIIx}} = \frac{9554 \cdot 3,96 \cdot 174,17 \cdot 0,91}{0,77 \cdot 1800} = 4326,5 \text{ Н};$$

$$R_{\Gamma_{IVx}} = \frac{9554 \cdot 3,96 \cdot 149,29 \cdot 0,91}{0,77 \cdot 1800} = 3708,4 \text{ Н};$$

$$R_{\Gamma_{Vx}} = \frac{9554 \cdot 3,96 \cdot 127,44 \cdot 0,91}{0,77 \cdot 1800} = 3165,7 \text{ Н};$$

$$R_{\Gamma_I} = \frac{9554 \cdot 3,96 \cdot 75,73 \cdot 0,91}{0,77 \cdot 1800} = 1881,2 \text{ Н}.$$

Величина загального опору агрегату визначається за формулою:

$$R_a = R_M + R_{\Gamma} . \quad (2.15)$$

$$R_{a_{IIIx}} = 5591 + 4326,5 = 9917,5 \text{ Н};$$

$$R_{a_{IVx}} = 5654 + 3708,4 = 9362,4 \text{ Н};$$

$$R_{a_{Vx}} = 5728 + 3165,7 = 8893,7 \text{ Н};$$

$$R_{a_I} = 6062 + 1881,2 = 7943,2 \text{ Н}.$$

Знайдемо величину коефіцієнта використання сили тяги енергозасобу [3]:

$$\eta_{\Gamma} = \frac{R_a}{P_{\Gamma}} . \quad (2.16)$$

$$\eta_{\Gamma \text{IIIx}} = \frac{9917,5}{12825} = 0,77;$$

$$\eta_{\Gamma \text{IVx}} = \frac{9362,4}{12825} = 0,73;$$

$$\eta_{\Gamma \text{Vx}} = \frac{8893,7}{12825} = 0,69;$$

$$\eta_{\Gamma \text{I}} = \frac{7943,2}{12825} = 0,62.$$

### 2.2.3 Продуктивність машинно-тракторного агрегату і витрати палива

Знайдемо значення продуктивності агрегата за зміну за формулою [8]:

$$W_{\text{зм}} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot T_p, \quad (2.17)$$

де  $B_p = 0,7$  м.

Щоб обґрунтувати величину  $T_p$ , розглянемо рух агрегату на ділянці поля та баланс часу зміни.

Для заданих умов виберемо і обґрунтуємо способи переміщення агрегату на полі, виходячи із агротехнічних вимог та враховуючи можливість забезпечення оптимальний коефіцієнт робочих ходів  $\varphi$  [8].

$$\varphi = \frac{L_p}{L_p + l_x}. \quad (2.18)$$

Величина робочої довжини гону [8]:



$$L_p = L - 2 \cdot E,$$

де  $L = 840$  м.

Мінімальні значення ширин поворотних смуг знайдемо враховуючи спосіб поворотів. Для безпетльових поворотів величина мінімальної ширини поворотних смуг буде мати [8]:

$$E = 2,8 \cdot R_0 + 0,5 \cdot d_a + e, \quad (2.19)$$

де  $R_0 = 3,3$  м;  $d_a = 1,4$  м;  $e = 1,2$  м.

$$E = 2,8 \cdot 3,3 + 0,5 \cdot 1,4 + 1,2 = 11,14 \text{ м.}$$

Прийmemo значення ширин поворотних смуг кратними ширині захоплення агрегату,  $E = 11,2$  м.

Тоді

$$L_p = 840 - 2 \cdot 11,2 = 817,6 \text{ м.}$$

Величина середньої питомої довжини холостих ходів знайдемо згідно залежності [8]:

$$l_x = 3,6 \cdot R_0 + 2 \cdot e; \quad (2.20)$$

$$l_x = 3,8 \cdot 3,3 + 2 \cdot 1,2 = 14,9 \text{ м.}$$

Величина коефіцієнта використання робочих ходів складатиме:

$$\varphi = \frac{817,6}{817,6 + 14,9} = 0,98.$$

Величини чистого робочого часу за зміну знайдемо за формулою [8]:

$$T_p = \frac{T_{зм} - (T_{техн} + T_{пз} + T_{ф} + T_{пер})}{1 + \tau_{пов}}, \quad (2.22)$$

де  $T_{зм} = 7$  год;  $T_{техн} = 0,2$  год;  $T_{пз} = 0,15$  год;  
 $T_{ф} = 0,31$  год;  $T_{пер} = 0,25$  год.

$$\tau_{пов} = \frac{1 - \varphi}{\varphi}; \quad (2.23)$$

$$\tau_{пов} = \frac{1 - 0,98}{0,98} = 0,02;$$

$$T_p = \frac{7 - (0,25 + 0,15 + 0,31 + 0,25)}{1 + 0,02} = 6,0 \text{ год.}$$

Отже,

$$W_{зм} = 0,1 \cdot 0,7 \cdot 6,26 \cdot 6 = 2,6 \text{ га.}$$

Значення погектарних витрат палива знайдемо згідно залежності [8]:

$$g = \frac{G_p \cdot T_p + G_x \cdot T_x + G_3 \cdot T_3}{W_{год}}, \quad (2.24)$$

де  $G_p = 7,9$  кг/год;  $G_x = 4,8$  кг/год;  $G_3 = 1,1$  кг/год;  
 $T_x = 0,36$  год;  $T_3 = 0,64$  год.

$$g = \frac{7,9 \cdot 6 + 4,8 \cdot 0,36 + 1,1 \cdot 0,64}{2,6} = 22,6 \text{ кг/га.}$$

### 3. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Обґрунтування конструкції картоплекопача

Нова конструкція картоплекопача з активним сепаруючим механізмом у формі сепаруючого елеватора спрямована на підвищення ефективності картоплезбиральних машин на складних ґрунтах, збільшення обсягів зібраної продукції, мінімізацію трудових витрат та зниження пошкоджень бульб.

Картоплекопач ефективно функціонує на важких ґрунтах з вологістю між 10 та 27% та придатний для використання на вологих торфовищах. Машина оптимально працює на гребневих та напівгребневих насадженнях картоплі за міжрядь 60 до 70 см. Її рекомендовано агрегатувати з тракторами класу тяги 0,9 усіх модифікацій, причому робочі органи картоплекопача приводяться в дію від гідросистеми енергозасобу.

Агрегатувати машину потрібно із тракторами тягового класу 0,9 всіх модифікацій.

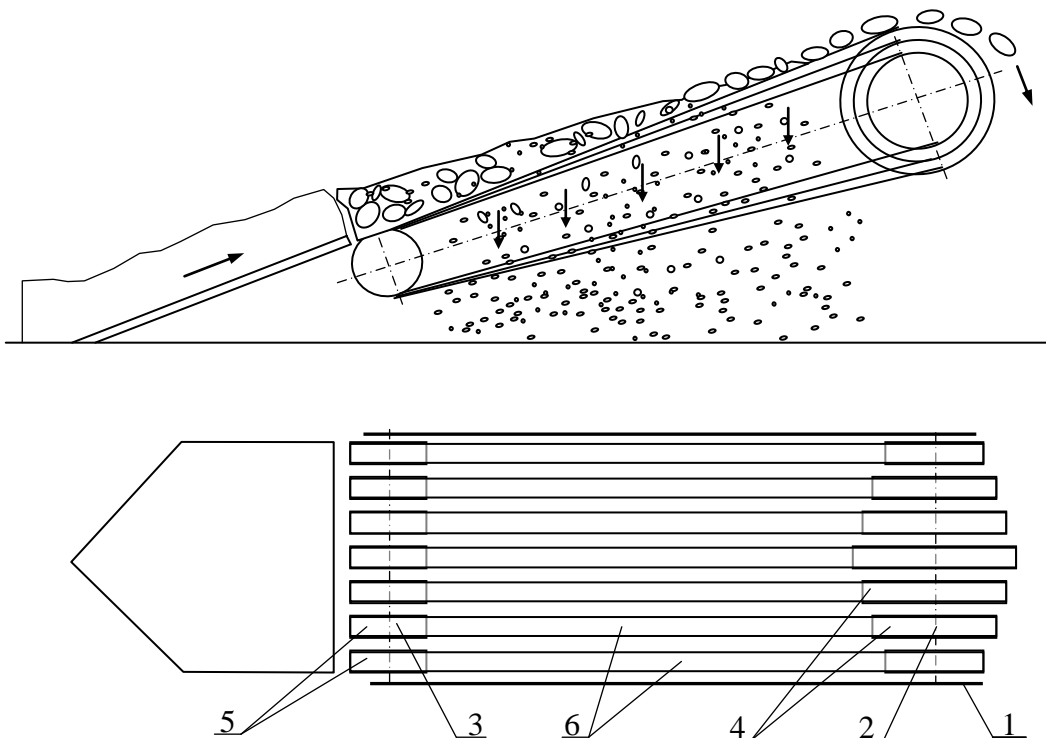


Рисунок 3.1 – Технологічна схема сепаруючого елеватора картоплекопача

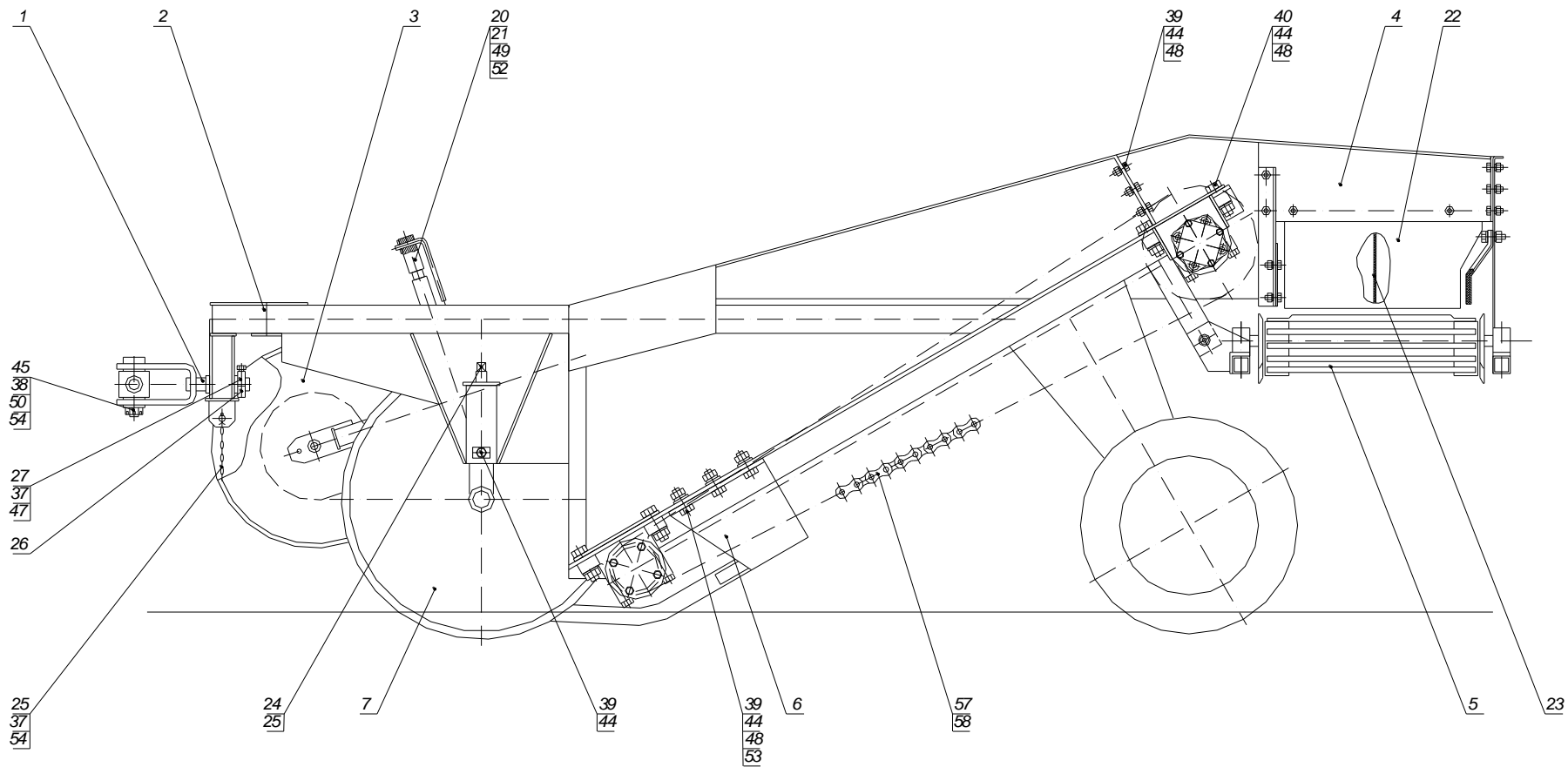


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд однорядного картоплекопача

Сепаруючий елеватор сконструйовано з основної рами 1, на якій розміщено ведучий вал 2 та ведений вал 3. На ведучому валу 2 зафіксовано зірочки різних розмірів 4, тоді як на веденому валу 3 розміщено зірочки одного діаметра 5. Через різні діаметри ведучих зірочок, ланцюги 6, що встановлені на зірочках, обертаються з різними швидкостями, що сприяє інтенсифікації процесу сепарації через розтягування матеріалу та створення ефекту "кипіння" на поверхні елеватора.

Ось короткий опис головних компонентів картоплекопача та їх функціонального призначення у технологічному процесі.

Копіювальний коток задіяний для наслідування рельєфу картопляного поля та регулювання глибини роботи підкопуючих елементів. Регулювання глибини виконується через систему важелів, яка дозволяє вертикальне переміщення котка, кріпленого до передньої частини рами.

Відрізні диски використовуються для точного відрізання частини картопляної грядки з необхідною шириною та запобігання її розсипанню перед подачею в сепаруючий пристрій. Вони також усувають рослинні рештки, запобігаючи тим самим засміченню підкопуючого механізму. Глибина заглиблення відрізних дисків може регулюватися.

Леміш виконує функцію підбору порушеної землі та її подачі на сепаруючий елеватор. Леміш має трикутну форму, що допомагає уникнути засмічення підкопуючих частин рослинними рештками, із кутом загострення у 90 градусів.

Активний сепаруючий елеватор призначений для ефективної сепарації входжуваної маси від підкопуючого елемента. Елеватор містить сім рядів ланцюгів моделі ПРД-40-1800, що рухаються на різних швидкостях, що сприяє розтягуванню маси та прискорює процес сепарації.

Для регулювання швидкості елеватора використовується регульована гідросистема з дросельним регулюванням, а привід гідромотора забезпечується через гідросистему енергозасобу.

### Технічна характеристика картоплекопача

1. Тип машини	напівначіпна
2. Тип грудкоподрібнювальних робочих органів	грядкообжимний коток
3. Тип сепаруючого робочого органу	активний сепаруючий пристрій
4. Кількість викопуваних рядків	1
5. Ширина міжрядь, м	0,7
6. Робоча ширина захвату, м	0,7
7. Привід робочих органів	із використанням гідросистеми трактора
8. Тяговий клас трактора	0,9
9. Робоча швидкість агрегату, км/год	2,2...5,6
10. Транспортна швидкість, км/год	до 20
11. Габаритні розміри машини, мм	
довжина	3210
ширина	1480
висота	1100
12. Розміри лемеша, мм	
довжина	450
ширина	360
кут нахилу до горизонту, град	30
13. Основний сепаруючий елеватор	
тип	активний, стрічковий
розміри, мм:	
довжина робочої поверхні	1500
ширина	455
кут нахилу до горизонту, град	30
14. Поперечний елеватор	
тип	прутковий, пасовий
розміри, мм:	
довжина робочої поверхні	1000
ширина	455
кут нахилу до горизонту, град	0
15. Потужність приводу активних робочих органів, кВт	3,96
16. Загальна маса машини, кг	670

Опорні колеса використовуються для переміщення картоплекопача. Привід сепаруючих і поперечних елеваторів забезпечується через гідросистему трактора при допомозі гідромотора МГП-100.

Налаштування режиму роботи агрегату здійснюється шляхом вибирання частоти обертання валу гідромотора, регулюючи глибину підкопування, та вибором необхідних робочих передач енергозасобу.

## **3.2 Технологічні розрахунки**

### **3.2.1. Обґрунтування підкопуючої частини**

Підкопуючий елемент картоплезбиральної машини розроблений для підрізання шару з бульбами на визначену глибину та подачі цього шару на сепарувальний елеватор. Відповідно до рекомендацій, оптимальною і найбільш перспективною є конструкція, що включає пасивний трикутний леміш і два дискові ножі. Ці елементи запобігають розсипанню землі та відповідним втратам бульб. Технологічне розташування такого підкопуючого елемента ілюстроване на рисунку 3.3.

#### **Розрахунок підкопуючого лемеша**

Розрахунок кута нахилу лемеша  $\alpha$  здійснюється на основі забезпечення оптимального ковзання бульбоносної маси по поверхні лемеша, що гарантує виконання необхідної умови:

$$\alpha \leq \varphi, \quad (3.1)$$

де  $\varphi = 30 \dots 40^\circ$  [4].

Відповідно до нерівності (3.1) та численних експериментальних даних у цій сфері, ідеальне значення кута  $\alpha$  встановлене на рівні 25 градусів [4].

Кут нахилу лемеша  $\gamma$  визначається таким чином, щоб забезпечити ковзний рух рослинних решток по лезу лемеша, що сприяє їх ефективному перерізуванню або видаленню за межі підкопуючого елемента.

Для досягнення цього результату має бути виконана відповідна нерівність:

$$\gamma \leq 2\psi, \quad (3.2)$$

де  $\psi = 45 \dots 50^\circ$  [4].

Приймаємо кут  $\psi = 45^\circ$ .

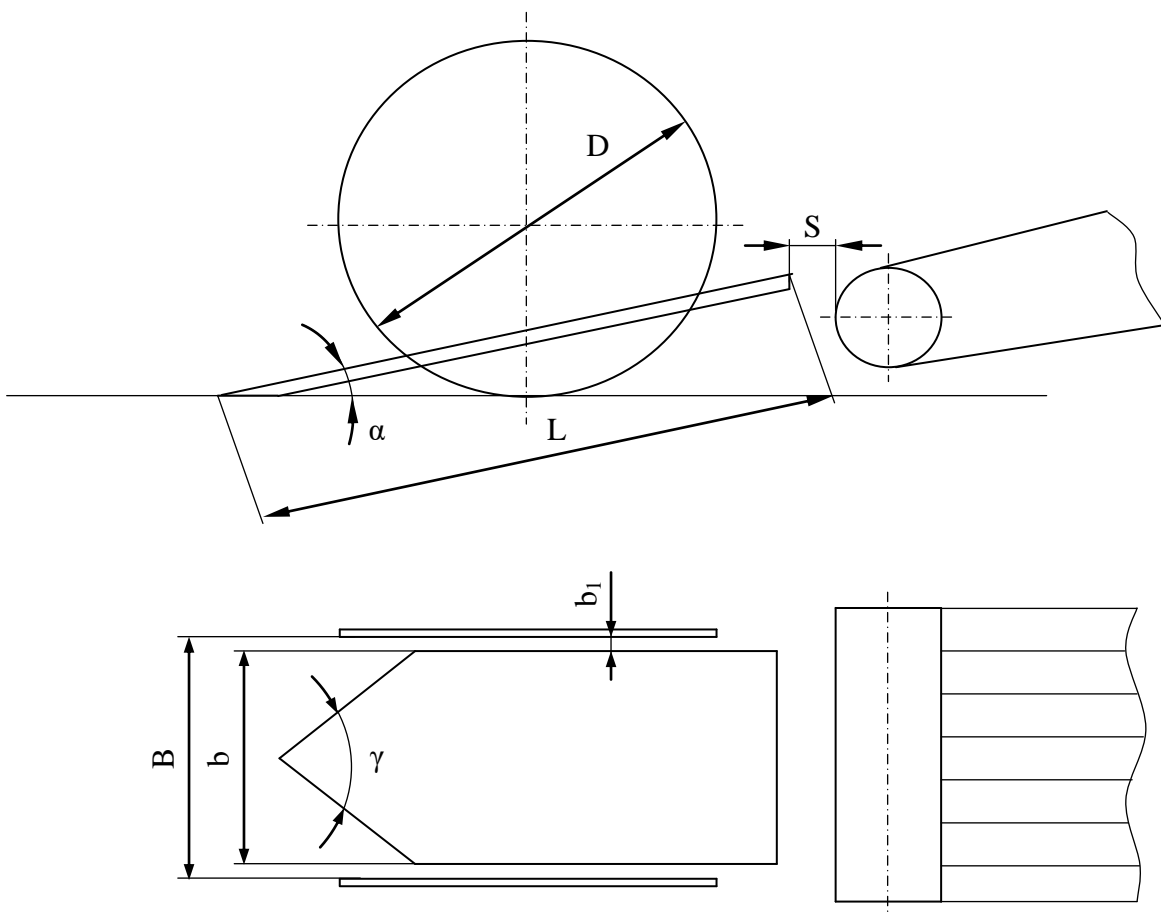


Рисунок 3.3 – Технологічна схема підкопуючої частини

Ширину лемеша  $b$  встановлюємо, виходячи з необхідності мінімізувати



навантаження на сепаруючий орган бульбоносним ворохом з одного боку та забезпечення мінімальних втрат бульб.

$$b = B - 2b_1, \quad (3.3)$$

де  $B = 400$  мм;

$b_1 = 20$  мм.

$$b = 400 - 2 \cdot 20 = 360 \text{ мм.}$$

Знайдемо значення довжини лемеша  $L$  згідно формули [4]:

$$L = \frac{h_n}{\sin \alpha} - l_n, \quad (3.4)$$

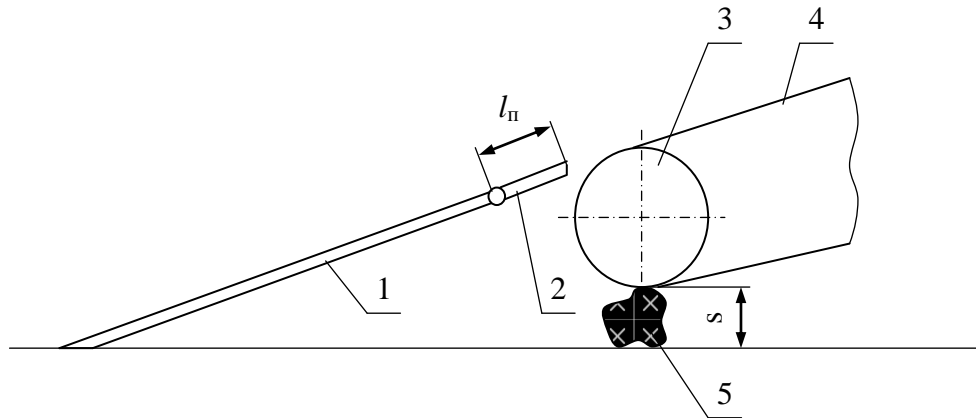
де

$$h_n = d + s + b \cdot \operatorname{tg} \theta / 2, \quad (3.5)$$

де  $d = 0,13$  м;  $s = 0,06 \dots 0,08$  м.

$$h_n = 0,13 + 0,05 + 0,36 \cdot \operatorname{tg} 30^\circ / 2 = 0,27 \text{ м.}$$

Розрахункова схема для знаходження довжини відкидних пальців подана на рис. 3.4.



1 – леміш; 2 – відкидний палець; 3 – зірочка ведена; 4 – елеватор;  
5 – тверда грудка, камінь

Рисунок 3.4 – Схема до розрахунків довжини відкидних пальців:

Значення довжини відкидних пальців визначимо згідно умови:

$$l_{\text{п}} \geq s. \quad (3.6)$$

Прийmemo  $l_{\text{п}} = 0,1$  м.

Отже:

$$L = \frac{0,27}{\sin 30^\circ} - 0,1 = 0,44 \text{ м.}$$

Значення ширини відкидних пальців, конструктивно прийmemo рівною  $b_{\text{п}} = 4$  см.

Число пальців знайdemo згідно формули:

$$z = \frac{b}{b_{\text{п}} + \Delta b}, \quad (3.7)$$

де  $\Delta b = 0,01 \dots 0,03$  м.

$$z = \frac{0,36}{0,04 + 0,02} = 9.$$

### 3.2.2 Розрахунки сепарувального елеватора

Сепарувальний елеватор однорядних картоплекопачів поданий на рисунку 3.5.

Значення довжини робочої частини елеватора встановлюємо на основі агротехнічних вимог та математичного вираження коефіцієнту сепарування ґрунту [5]:

$$\eta = \frac{a \cdot L^b}{1 + a \cdot L^b}, \quad (3.8)$$

де  $a = 3,5$ ;  $b = 0,66$ .

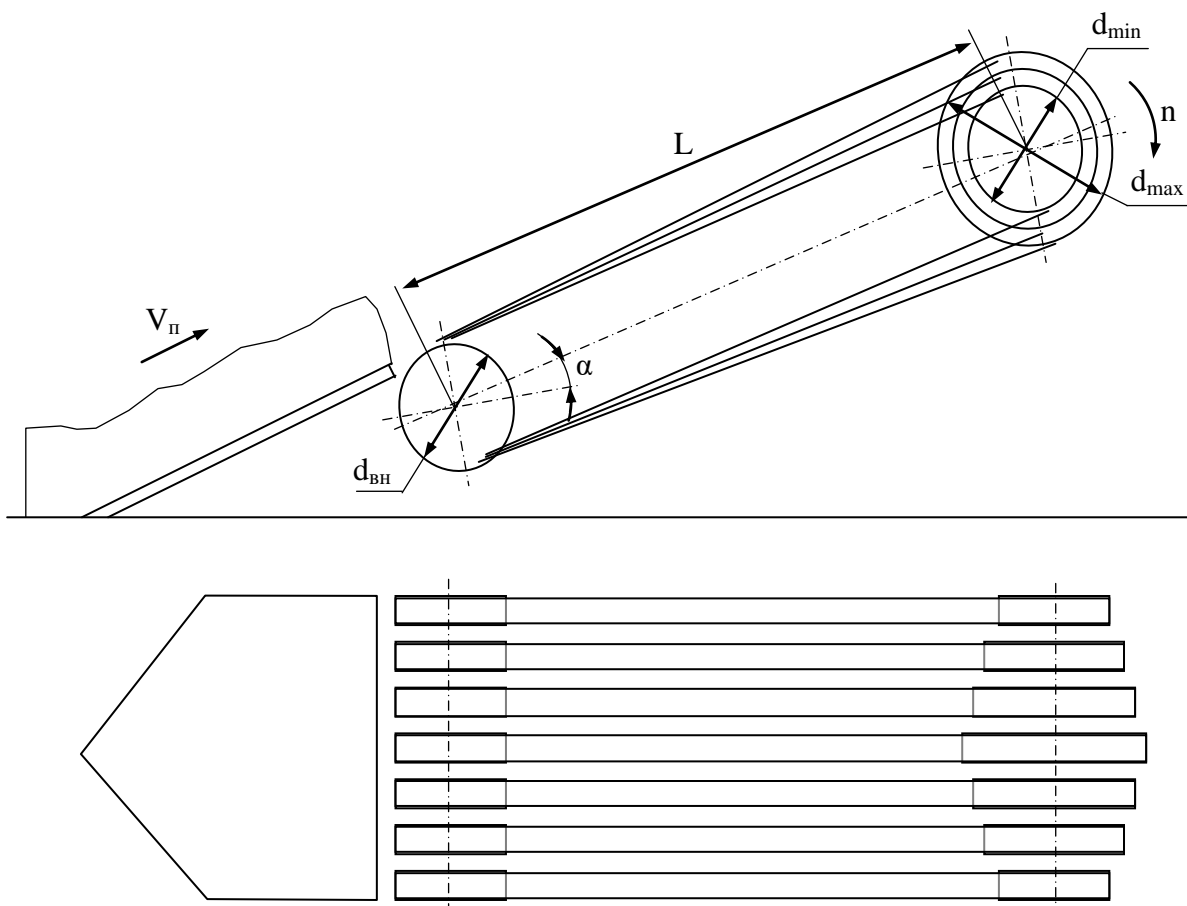


Рисунок 3.5 – Схема сепарувального елеватора картоплекопача

За даними [5], оптимальна довжина елеватора становить  $L = 1,5$  м, при

цьому коефіцієнт сепарації  $\eta$  складає 0,85, що відповідає агротехнічним вимогам.

Відомо також, що покращення сепаруючих властивостей елеватора спостерігається зі зростанням різниці швидкостей руху полотна елеватора та поступальної швидкості машини, як показано в джерелах [4, 5].

Беручи до уваги максимально припустиму висоту падіння бульб на тверду, непрогумовану поверхню, знайдемо величину максимальної швидкості зіткнення бульб із поверхнею полотна елеватору:

$$\Delta V_{\text{ел}} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}, \quad (3.9)$$

де  $h = 0,2$  м [5].

Отже,

$$\Delta V_{\text{ел}} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,2} = 1,97 \text{ м/с.}$$

Найбільш раціональним значенням швидкості стрічок полотна елеватора буде швидкість, яка знаходиться в межах:

$$V_{\text{ел}} = V_{\text{м}} \dots (V_{\text{м}} + \Delta V_{\text{ел}}).$$

Або у чисельному вираженні:

$$V_{\text{ел}} = 1,5 \dots (1,5 + 1,97) = 1,5 \dots 3,47 \text{ м/с.}$$

Значення середньої швидкості полотна елеватора складатиме:

$$V_{\text{с.с}} = \frac{1,5 + 3,47}{2} = 2,68 \text{ м/с.}$$

Для забезпечення оптимальної сепарації без ризику зростання пошкоджень бульб через збільшення маси при сповільненні швидкості стрічок елеватора, потрібно знизити різницю швидкостей на 20...25%. Це означає:

$$\Delta V = 0,8 \cdot \Delta V_{\max} = 0,8 \cdot 1,97 = 1,58 \text{ м/с.}$$

Значення діаметрів ведучих зірок будуть обрані так, щоб забезпечити однорідність товщини шару вороху на виході з сепаруючого елеватора по всій ширині захвату. Для цього ми виведемо рівняння теоретичного профілю поперечних перерізів матеріалу, що подається на елеватор, з урахуванням умови неперервності матеріалу:

$$y = 210,6 \cdot \exp\left[-\frac{(x - 350)^2}{36508}\right] - |x - 350| \cdot \tan\theta + 100. \quad (3.10)$$

Теоретичні кути нахилу поперечного перерізу значно вищі за кут внутрішнього тертя ґрунту, який становить  $\rho = 45^\circ$ . Тому реальний профіль поперечних перерізів формуватиметься через осипання ґрунту, і кут нахилу буде дорівнювати  $45^\circ$ .

Формула для реального профілю поперечного перерізу шару ґрунту буде такою:

$$y = ||x - 350| - 350| - 54,18. \quad (3.11)$$

Оскільки довжина елеватора становить 1,5 м, рівняння для зміни величин діаметрів ведучих зірок відносно координатних осей, які починаються з крайньої точки поперечного перерізу підкопаного шару, виглядає так:

$$d = K \cdot \left( \frac{||x - 200| - 200|}{1,5} + 98,82 \right). \quad (3.12)$$

Для гнучких стрічкових елементів елеватора використовуємо ланцюги довголанкові серії ПРД, а крок ланцюгів розраховуємо згідно формули [18]:

$$t = \frac{L}{30 \dots 50} = \frac{1500}{30 \dots 50} = 50 \dots 30 \text{ мм.} \quad (3.13)$$

Прийmemo ланцюг ПРД-38-4000 ГОСТ 13568-75, для котрого крок  $t = 38$  мм, а ширина  $b = 47$  мм [18].

Величину зазору  $s_2$  між ланцюгами прийmemo 18 мм.

Знайdemo число ланцюгів:

$$n_{\text{л}} = \frac{B_{\text{ел}}}{b + s_2}, \quad (3.14)$$

де  $B_{\text{ел}} \geq B_{\text{п}}$ ,  $B_{\text{ел}} \geq 400$  мм.

$$n_{\text{л}} \geq \frac{400}{47 + 18} = 7.$$

Прийmemo число ланцюгів рівним 7.

Уточнимо значення ширини сепарувального елеватора:

$$B_{\text{ел}} = n_{\text{л}} \cdot (b + s_2) = 7 \cdot (47 + 18) = 455 \text{ мм.}$$

Знаючи мінімально допустиму кількість зубів зірочки  $z_{\text{min}}=10$  знайdemo величину діаметра меншої ведучої зірочки елеватору [18]:

$$d_1 = \frac{z \cdot t}{\pi} = \frac{10 \cdot 38}{3,14} = 121 \text{ мм.} \quad (3.15)$$

Підставляємо його величину та координати  $x = 5$  мм в залежність (3.12) знайdemo значення коефіцієнта  $K$ :

$$K = \frac{d}{\frac{||x - 200|| - 200}{1,5} + 98,82}; \quad (3.16)$$

$$K = \frac{121}{\frac{|5 - 200| - 200}{1,5} + 98,82} = 1,18.$$

Підставляємо отриману величину коефіцієнта  $K$  та координати  $x = 200$  мм в рівняння (3.12), таким чином знайдемо значення діаметру самої більшої з ведучих зірочок:

$$d = 1,18 \cdot \left( \frac{||200 - 200| - 200|}{1,5} + 98,82 \right) = 274 \text{ мм.}$$

Знайдемо число зубців самої більшої зірочки:

$$z_4 = \frac{\pi \cdot d}{t} = \frac{3,14 \cdot 274}{38} = 22.$$

Оскільки закон за яким змінюються діаметри зірочок має лінійний характер, то кількість зубів на зірочках буде визначена так:

$$z_1 = z_7 = 10; \quad z_2 = z_6 = 14; \quad z_3 = z_5 = 18; \quad z_4 = 22.$$

Для ведених зірочок  $z_B = 10$ .

На основі мінімальних та максимальних дозволених швидкостей руху стрічок елеватора встановимо діапазон змін частоти обертання ведучого вала:

$$n_{\min} = \frac{60 \cdot V_{\min}}{z_1 \cdot t} = \frac{60 \cdot 1,5}{10 \cdot 0,038} = 236 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_{\max} = \frac{60 \cdot V_{\max}}{z_4 \cdot t} = \frac{60 \cdot 3,47}{22 \cdot 0,038} = 250 \text{ хв}^{-1}.$$

Знайдемо число ланок для кожного ланцюга [18]:

$$m = \frac{2 \cdot L}{t} + \frac{z_n + z_b}{2} + \left( \frac{z_n - z_b}{2 \cdot \pi} \right)^2 \cdot \frac{t}{L} + 2; \quad (3.17)$$

$$m_1 = m_7 = \frac{2 \cdot 1500}{38} + \frac{10 + 10}{2} + \left( \frac{10 - 10}{2 \cdot 3,14} \right)^2 \cdot \frac{38}{1500} + 2 = 91;$$

$$m_2 = m_6 = \frac{2 \cdot 1500}{38} + \frac{14 + 10}{2} + \left( \frac{14 - 10}{2 \cdot 3,14} \right)^2 \cdot \frac{38}{1500} + 2 = 93;$$

$$m_3 = m_5 = \frac{2 \cdot 1500}{38} + \frac{18 + 10}{2} + \left( \frac{18 - 10}{2 \cdot 3,14} \right)^2 \cdot \frac{38}{1500} + 2 = 95;$$

$$m_4 = \frac{2 \cdot 1500}{38} + \frac{22 + 10}{2} + \left( \frac{22 - 10}{2 \cdot 3,14} \right)^2 \cdot \frac{38}{1500} + 2 = 97.$$

### 3.3 Розрахунки на міцність елементів сепарувального елеватора

#### 3.3.1 Розрахунок на міцність полотна елеватора

Здійснимо перевірку ланцюгової передачі на міцність.

Основний критерій для забезпечення функціонування ланцюгової передачі – це частота ударів ланок за секунду [18]:

$$\nu = \frac{4 \cdot z \cdot n}{60 \cdot m} = \frac{4 \cdot 22 \cdot 250}{60 \cdot 97} = 3,8 \text{ с}^{-1}. \quad (3.18)$$

Для втулково-роликкових ланцюгів прийнятно, що частота ударів ланок



складає  $v = 20$  ударів за секунду [18], тому ланцюгова передача елеватора є працездатною за цим критерієм.

### 3.3.2 Розрахунок на міцність валів елеватора

#### Розрахунок величин навантажень на вали

Для оцінки навантажень на вали будемо керуватись рисунком 3.6.

З огляду на те, що ланцюги елеватора мають лише незначні відмінності у довжинах і потужність приводу розподілена між ними досить рівномірно, можна вважати, що навантаження на вали через зусилля в ланцюгах рівномірно розподілене уздовж валів. Також через однорідну товщину шару ґрунту на всій ширині елеватора, навантаження від ваги ґрунту також буде рівномірно розподілене по валах.

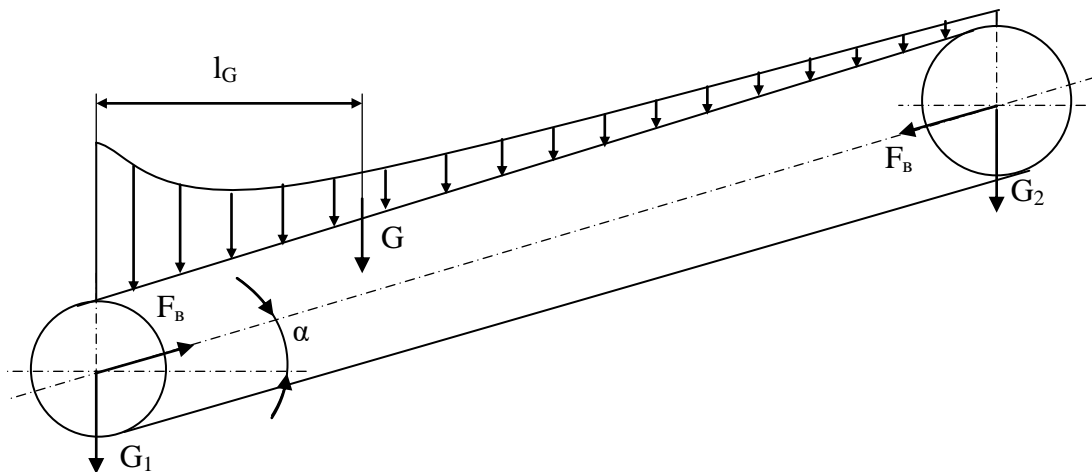


Рисунок 3.6 – Схема навантажень на вали елеватора

Знайдемо величину навантажень на вали від впливу ланцюгових передач згідно формули:

$$F_B = \frac{z \cdot (F_t + 2 \cdot 9,81 \cdot k_f \cdot q \cdot a)}{B}, \quad (3.19)$$

де  $z = 7$ ;  $k_f = 3,5$  [16];  $q = 2,1$  кг/м [18];  $a = 1,5$  м;  $B = 0,455$  м.

Визначимо колові зусилля на зірочках згідно формули:

$$F_t = \frac{N}{V_{ec}}, \quad (3.20)$$

де  $N = 3340$  Вт;  $V_{ec} = 2,68$  м/с.

$$F_t = \frac{3340}{2,68} = 1246 \text{ Н};$$

$$F_B = \frac{7 \cdot (1246 + 2 \cdot 9,81 \cdot 3,5 \cdot 2,1 \cdot 1,5)}{0,455} = 22497 \text{ Н/м.}$$

Для оцінки сили, з якою ворох, що перебуває на елеваторі впливає на вали, спочатку розрахуємо його вагу:

$$G_B = \gamma \cdot V, \quad (3.21)$$

де  $\gamma = 14000$  Н/м<sup>3</sup>.

За даними рисунку 3.11, товщина ґрунту на вході в елеватор становить 0,1 м, тому об'єм вороха на елеваторі знайдемо використовуючи формулу:

$$V = \int_0^{1,5} h \cdot \left( 1 - \frac{a \cdot l^b}{1 + a \cdot l^b} \right) dl \cdot B, \quad (3.22)$$

де  $h = 0,1$  м;

значення дослідних коефіцієнтів  $a$  і  $b$ , відповідно 4,5 і 0,66.

$$V = \int_0^{1,5} 0,1 \cdot \left( 1 - \frac{4,5 \cdot 1^{0,66}}{1 + 4,5 \cdot 1^{0,66}} \right) dl \cdot 0,35 = 0,017 \text{ м}^3.$$

Тоді  $G_b = 14000 \cdot 0,017 = 238 \text{ Н}.$

Питома вага ґрунту на 1 м ширини елеватора розраховується за відповідною формулою:

$$G = \frac{G_b}{B} = \frac{238}{0,455} = 523 \text{ Н/м.} \quad (3.23)$$

Знаходимо координати центра ваги вороха:

$$l_G = \frac{\int_0^l \left( \int_0^l \frac{a \cdot l^b}{1+a \cdot l^b} dl \right) dh}{\int_0^l \left( \int_0^l \frac{a \cdot l^b}{1+a \cdot l^b} dl \right) dh \cdot \cos \alpha} = 0,488 \text{ м.}$$

Тоді:  $G_2 = G \frac{l_G \cdot \cos \alpha}{1} = 523 \cdot \frac{0,488}{1,5 \cdot \cos 30^\circ} = 200 \text{ Н/м};$

$$G_1 = G - G_2 = 523 - 200 = 323 \text{ Н/м.}$$

### **Розрахунок на міцність ведучого вала**

Для аналізу міцності ведучого валу складемо схему його навантаження (згідно рисунку 3.7).

Розрахуємо реакції на опорах валу, враховуючи, що навантаження на вал симетричне, тому реакції як в лівій так і правій опорах будуть однакові:

Вертикальна площина:

$$R_{21}^B = R_{22}^B = \frac{(Q_2 + F_B \cdot \sin \alpha \cdot b \cdot (0,5 \cdot b + c))}{a + b + c}; \quad (3.24)$$

$$R_{21}^B = R_{22}^B = \frac{(200 + 22497 \cdot \sin 30^\circ) \cdot 0,445 \cdot (0,5 \cdot 0,445 + 0,0725)}{0,0725 + 0,455 + 0,0725} = 2547,3 \text{ Н.}$$

Горизонтальна площина:

$$R_{21}^\Gamma = R_{22}^\Gamma = \frac{F_B \cdot \cos \alpha \cdot b \cdot (0,5 \cdot b + c)}{a + b + c}; \quad (3.25)$$

$$R_{21}^\Gamma = R_{22}^\Gamma = \frac{22497 \cdot \cos 30^\circ \cdot 0,445 \cdot (0,5 \cdot 0,445 + 0,0725)}{0,0725 + 0,455 + 0,0725} = 4335 \text{ Н.}$$

Для епюр поперечних сил Q:

$$Q_A^B = R_{21}^B = 2547,3 \text{ Н} \qquad Q_C^B = Q_A^B = 2547,3 \text{ Н};$$

$$Q_B^B = -R_{22}^B = -2547,3 \text{ Н}; \qquad Q_D^B = Q_B^B = -2547,3 \text{ Н.}$$

$$Q_A^\Gamma = R_{21}^\Gamma = 4335 \text{ Н}; \qquad Q_C^\Gamma = Q_A^\Gamma = 4335 \text{ Н};$$

$$Q_B^\Gamma = -R_{22}^\Gamma = -4335 \text{ Н}; \qquad Q_D^\Gamma = Q_B^\Gamma = -4335 \text{ Н.}$$

Для епюр згинальних моментів:

$$M_A^B = M_B^B = 0;$$

$$M_C^B = M_D^B = R_{21}^B \cdot a = 2547,3 \cdot 0,0725 = 184,7 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_E^B = R_{21}^B \cdot (a + 0,5 \cdot b) = 2547,3 \cdot (0,0725 + 0,5 \cdot 0,445) = 764,2 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_A^\Gamma = M_B^\Gamma = 0;$$

$$M_C^\Gamma = M_D^\Gamma = R_{21}^\Gamma \cdot a = 4335 \cdot 0,0725 = 314,3 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_E^\Gamma = R_{21}^\Gamma \cdot (a + 0,5 \cdot b) = 4335 \cdot (0,0725 + 0,5 \cdot 0,445) = 1300,5 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Сумарній згинальні моменти:

$$M_{AC}^B = M_{BC}^B = 0;$$

$$M_C^C = M_D^C = \sqrt{(M_C^B)^2 + (M_C^\Gamma)^2} = \sqrt{184,7^2 + 314,3^2} = 364,6 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_E^C = \sqrt{(M_E^B)^2 + (M_E^\Gamma)^2} = \sqrt{764,2^2 + 1300,5^2} = 1508,4 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Визначимо значення крутного моменту згідно формули:

$$M_{\text{кр}} = \frac{30 \cdot N}{\pi \cdot n}; \quad (3.26)$$

$$M_{\text{кр}} = \frac{30 \cdot 3340}{3,14 \cdot 236} = 135,2 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Згідно з IV теорією міцності, момент у найбільш напруженому перерізі E становить:

Отже, потрібний діаметр вала у цьому напруженому перерізі буде наступним:

$$M_p = \sqrt{(M_E^C)^2 + 0,75 \cdot M_{\text{кр}}^2};$$

$$M_p = \sqrt{1508,4^2 + 0,75 \cdot 135,2^2} = 1513 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_p}{\pi \cdot [\sigma]}}; \quad (3.27)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 1513}{3,14 \cdot 260 \cdot 10^6}} = 0,039 \text{ м.}$$

Прийmemo значення діаметра вала в небезпечному перерізі 40 мм.

Величина діаметру вала під підшипник 35 мм.

Величина діаметру вала під муфту – 32 мм.

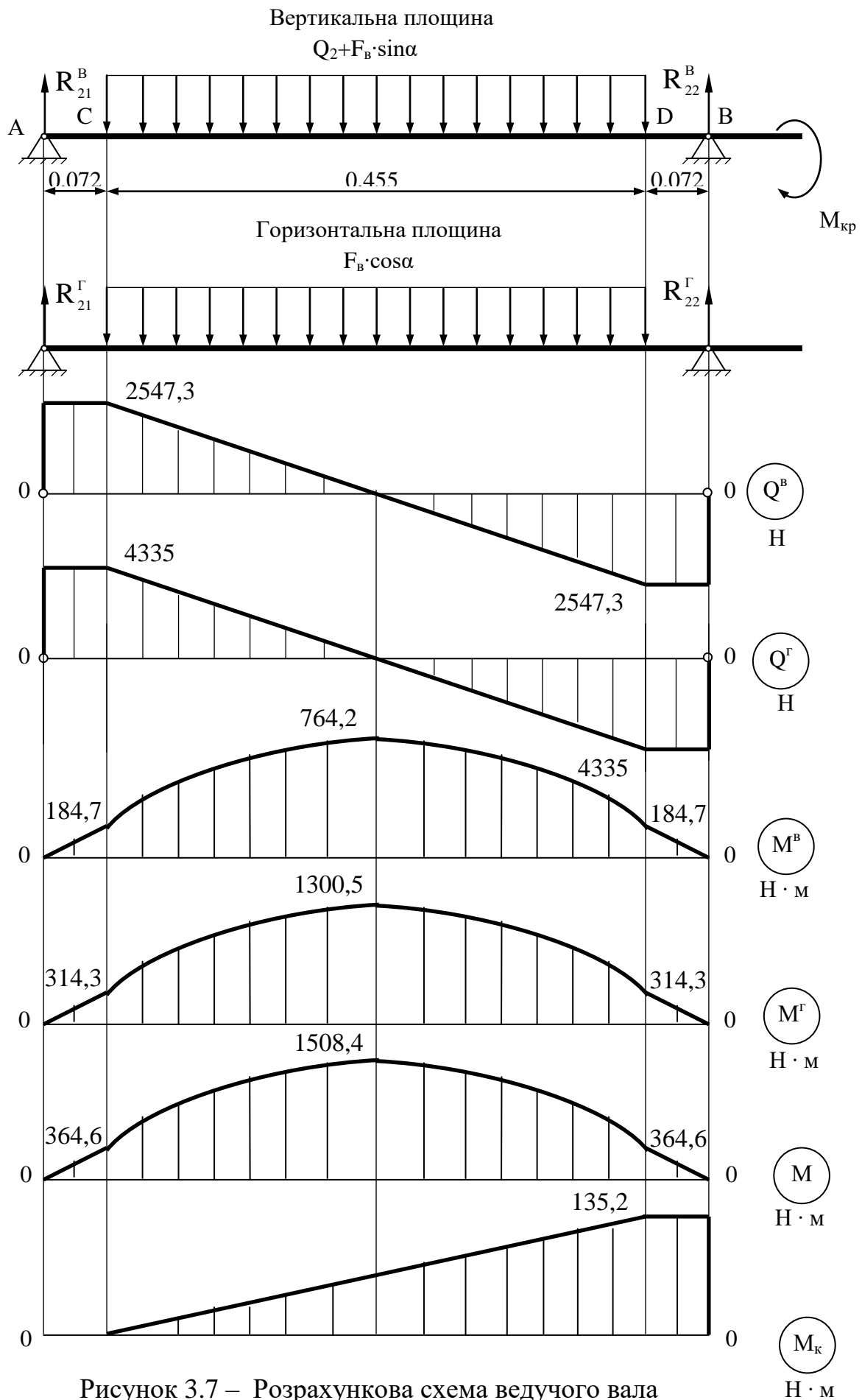


Рисунок 3.7 – Розрахункова схема ведучого вала

## Розрахунок на міцність веденого вала

Для аналізу міцності веденого валу розробимо схему його навантаження (за рисунком 3.8).

Розрахуємо реакції на опорах валу, з урахуванням того, що навантаження на вал є симетричним, тому реакції в лівій та правій опорах виявляться рівними:

$$R_{11}^B = R_{12}^B = \frac{(F_B \cdot \sin \alpha - Q_2) \cdot b \cdot (0,5 \cdot b + c)}{a + b + c}; \quad (3.28)$$

$$R_{11}^B = R_{12}^B = \frac{(22497 \cdot \sin 30^\circ - 323) \cdot 0,445 \cdot (0,5 \cdot 0,445 + 0,0725)}{0,0725 + 0,455 + 0,0725} = 2430,9 \text{ Н.}$$

Горизонтальна площина:

$$R_{11}^\Gamma = R_{12}^\Gamma = \frac{F_B \cdot \cos \alpha \cdot b \cdot (0,5 \cdot b + c)}{a + b + c}; \quad (3.29)$$

$$R_{11}^\Gamma = R_{12}^\Gamma = \frac{22497 \cdot \cos 30^\circ \cdot 0,445 \cdot (0,5 \cdot 0,445 + 0,0725)}{0,0725 + 0,455 + 0,0725} = 4335 \text{ Н.}$$

Для побудови епюр поперечних сил Q:

$$Q_A^B = R_{21}^B = 2430,9 \text{ Н}; \quad Q_C^B = Q_A^B = 2430,9 \text{ Н};$$

$$Q_B^B = -R_{22}^B = -2430,9 \text{ Н}; \quad Q_D^B = Q_B^B = -2430,9 \text{ Н};$$

$$Q_A^\Gamma = R_{21}^\Gamma = 4335 \text{ Н}; \quad Q_C^\Gamma = Q_A^\Gamma = 4335 \text{ Н};$$

$$Q_B^\Gamma = -R_{22}^\Gamma = -4335 \text{ Н}; \quad Q_D^\Gamma = Q_B^\Gamma = -4335 \text{ Н.}$$



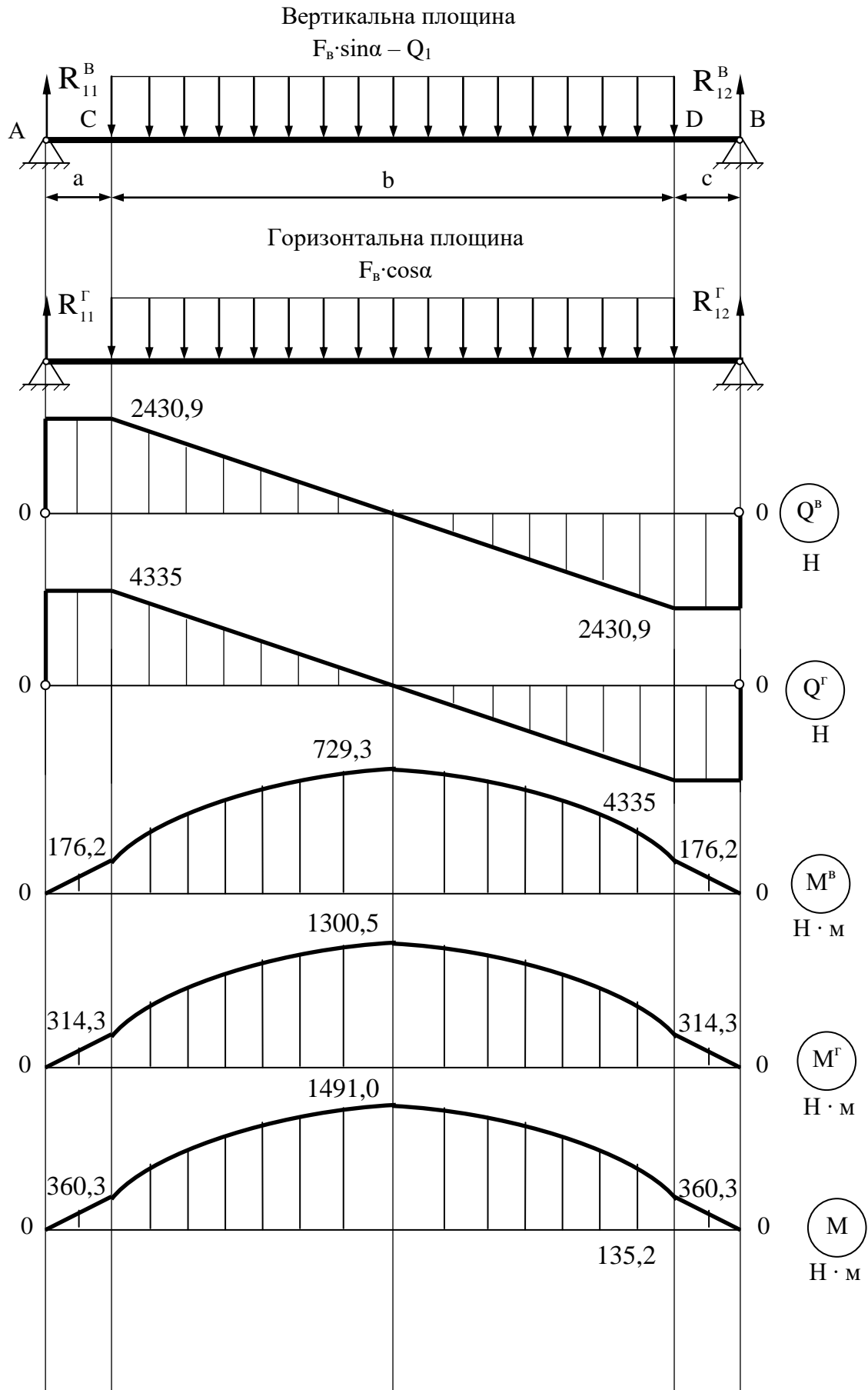


Рисунок 3.8 – Розрахункова схема веденого вала

Для побудови епюр згинальних моментів:

$$M_A^B = M_B^B = 0;$$

$$M_C^B = M_D^B = R_{21}^B \cdot a = 2430,9 \cdot 0,0725 = 176,2 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_E^B = R_{21}^B \cdot (a + 0,5 \cdot b) = 2430,9 \cdot (0,0725 + 0,5 \cdot 0,445) = 729,3 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_A^\Gamma = M_B^\Gamma = 0;$$

$$M_C^\Gamma = M_D^\Gamma = R_{21}^\Gamma \cdot a = 4335 \cdot 0,0725 = 314,3 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_E^\Gamma = R_{21}^\Gamma \cdot (a + 0,5 \cdot b) = 4335 \cdot (0,0725 + 0,5 \cdot 0,445) = 1300,5 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Величина сумарного згинального моменту:

$$M_{AC}^B = M_{BC}^B = 0;$$

$$M_C^C = M_D^C = \sqrt{(M_C^B)^2 + (M_C^\Gamma)^2} = \sqrt{176,2^2 + 314,3^2} = 360,3 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_E^C = \sqrt{(M_E^B)^2 + (M_E^\Gamma)^2} = \sqrt{729,3^2 + 1300,5^2} = 1491,0 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Максимальне значення згиного моменту є в точці Е, де  $M_p = 1491 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

Величина необхідного діаметру вала в небезпечному перерізі буде складати:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_p}{\pi \cdot [\sigma]}}; \quad (3.30)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 1491}{3,14 \cdot 260 \cdot 10^6}} = 0,038 \text{ м}.$$

Прийmemo діаметр вала для небезпечного перерізу 40 мм.

Діаметр вала під підшипники 35 мм.

## **4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ**

Основою для організації охорони праці в господарстві слугують «Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві», затверджені наказом Міністерства соціальної політики України 29 серпня 2018 року № 1240 (Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 21 вересня 2018 р. за № 1090/32542) [17].

### **4.1 Заходи безпеки при збиранні картоплі удосконаленим копачем**

Представлені нижче заходи безпеки можуть бути використані при проведенні інструктажу на робочому місці для всіх робітників, які приймають участь у збиранні картоплі. Основні заходи полягають в наступному:

- до управління збиральним агрегатом допускаються тільки механізатори, які пройшли спеціальну підготовку і мають документ на право управління машиною. Підсобними працівниками можуть працювати особи не молодші 18 років;

- перед початком збирання картоплі механізатори і робітники, задіяні в процесі збирання, проходять інструктаж з безпечних методів роботи, розписуються в журналі реєстрації інструктажів і отримують на руки пам'ятки з техніки безпеки;

- всім учасникам збиральних робіт необхідно виконувати тільки ту роботу, яка доручена адміністрацією.

- одяг у механізаторів і обслуговуючого персоналу не повинна мати довгих частин і кінців, які звисають. Дозволяється працювати тільки в застібнутій і ретельно заправленому одязі і головному уборі. Працювати в фартухах забороняється;

- до роботи на збиральному агрегаті можна приступати тільки при його повній справності і відповідності вимогам експлуатації машинно-тракторного парку і «Правил техніки безпеки»;

- категорично забороняється працювати в стані навіть легкого алкогольного чи іншого сп'яніння;

- забороняється розташовуватись на відпочинок, в тому числі і короткочасний, на ділянках, де працюють агрегати, а також біля них під час їх зупинки. Відпочивати треба на спеціально відведеному місці;

- при підготовці агрегату до роботи слід перевіряти наявність і справність запобіжних кожухів і огорожень карданної і ланцюгової передач. При відсутності або несправності їх робота не дозволяється;

- карданний вал повинен бути міцно з'єднаним з валом відбору потужності трактора і закритий захисним кожухом. Огородження не повинно обертатися разом з валом, а має бути зафіксованим з нерухомими частинами машини;

- перед початком роботи необхідно перевіряти наявність справного інструменту і аптечки;

- трактор повинен мати дзеркало заднього виду, справне рульове керування, добре відрегульовані гальма, муфту зчеплення, коробку передач. Бак і паливопроводи не повинні мати течії палива;

- слід постійно слідкувати за станом гнучких шлангів гідросистеми, щільністю затягування з'єднувальних штуцерів маслопроводів. При несправності гідросистеми працювати на агрегаті не дозволяється;

- механізм регулювання глибини підкопування бульб повинен вільно переміщатися і надійно фіксуватися в установленому положенні;

- під час обслуговування і регулювань слід користуватися тільки справним інструментом і пристроями;

- забороняється очищати руками підкопуючі лемеші, роторні сепаратори, елеватори, транспортери і інші робочі органи. Очистку проводити тільки за допомогою призначених для цього крючків і чистиків, які додаються до машини. Очистку і всі роботи по проведенні технічного обслуговування слід проводити тільки при виключеному валу відбору потужності і заглушеному двигуну трактора;

- під час роботи під картоплекопачем, у випадку необхідності його підняття домкратом, слід користуватися підставками, які забезпечують стійке і безпечне положення. Забороняється для підставок використовувати ящики, каміння, цеглу, деталі машин;

- при роботі лежачи під машиною на землю слід покласти дошки, листи фанери, мати або користуватися дерев'яними лежаками з підголовником;

- під час приєднання картоплекопача до трактора забороняється робочим знаходитися між трактором і машиною і в безпосередній близькості від них.

- під'їжджати до копача слід обережно (без ривків), при малих обертах двигуна. Тракторист повинен дивитися в напрямку руху і слідкувати за процесом, ногу при цьому тримати на педалі муфти зчеплення;

- перед виїздом в поле необхідно випробувати роботу картоплекопача на холостому ході;

- перед початком руху агрегату механізатор повинен впевнитися в відсутності людей в безпосередній близькості від агрегату і дати сигнал про початок руху;

- під час роботи забороняється знаходження в кабіні сторонніх людей;

- забороняється під час руху агрегату перевіряти і регулювати робочі органи і механізми, надівати і натягувати ланцюги, усувати несправності, змащувати вузли, очищати підкопуючі лемеші, транспортери, сепаратори і інші робочі органи;

- в кінці гону тракторист повертає агрегат тільки тоді, коли робочі органи повністю вийшли з ґрунту;

- перед початком повороту на поворотній смузі і при короткочасній зупинці вал відбору потужності треба відключати;

- в місцях повороту агрегату не повинні знаходитися люди і різні транспортні засоби;

- після виконання яких-небудь ремонтних робіт в польових умовах не можна залишати на транспортерах копача інструмент і інші сторонні предмети;

- під час грози робота на агрегаті зупиняється, а люди віддаляються від машин на відстань 30-50 м;

- після дощу переїжджати через канави, рухатися вздовж схилів, на поворотах і т. ін. слід тільки на першій передачі;

- на межі полів, які прилягають до ярів або круч, поворотні смуги слід позначити контрольною борозною;

- забороняється стоянка і короткочасна зупинка поблизу крутих схилів і ярів. В випадку вимушеної зупинки слід заглушити двигун трактора і загальмувати його. Під колеса слід покласти упори;

- по закінченні роботи поставити агрегат на місце стоянки, оглянути, очистити від пилу і бруду, привести в порядок робоче місце. Зняти і привести в порядок спецодяг, помитися;

- перед транспортним переїздом шосейних доріг необхідно зупинитися і впевнитися в тому, що шлях безпечний і немає транспорту, який наближається;

- під час руху по шосе в нічний час картоплекопач повинен бути означений (габаритні розміри) світловими знаками або лампочками;

- при зустрічному роз'їзді слід триматися правого боку на відстані не менше 2 м від зустрічного транспорту;

- на спуску з гори і підйманні на гору трактор повинен рухатися повільно (на першій передачі і на малих обертах двигуна), а тракторист повинен бути готовим користуватися гальмами. Максимально допустимий схил не повинен перевищувати 12°;

- забороняється перевозити людей і вантажі на картоплекопачеві.

- при зупинці агрегату ставити його тільки на узбіччі дороги і при умові достатньої ширини дороги для проїзду, а в нічний час обладнати світловими знаками;

- під час руху заднім ходом, а також при розворотах і поворотах слід подавати сигнали і впевнитися в відсутності людей на шляху руху. Рухатися необхідно на малому газі, не знімаючи ноги з муфти зчеплення;

- під час переїзду через мости слід керуватися встановленими знаками вантажопідйомності і ширини між перилами;
- в тумані і під час дощу, коли видимість недостатня (менше 20 м), слід включати світло і періодично подавати звуковий сигнал;
- під час руху по слизькій дорозі слід дотримуватись особливої уваги. Не можна різко гальмувати і змінювати напрямок руху;
- при переїзді через залізницю слід керуватися попереджувальними знаками, показаннями світлофорів, звуковими сигналами, положенням шлагбаума. Переїжджати через переїзд слід зі швидкістю 3-4 км/год, при цьому перемикати передачу не дозволяється. Особливо треба бути уважним при переїздах в нічний час.

#### **4.2 Заходи пожежної безпеки при збиранні врожаю картоплі**

При підготовці до збирання врожаю картоплі слід звертати особливу увагу на забезпечення засобів пожежної безпеки [11]. З цією метою необхідно перевіряти наявність та справність вогнегасника, наявність лопати та інших засобів. Постійно слідкувати за технічним станом трактора та картоплекопача. Не допускається підтікання палива з системи живлення двигуна та мастила з гідросистеми, попадання мастила на збиральні одиниці та деталі збирального агрегату, перегрів підшипників/

Щоденно перед початком роботи необхідно продивитися двигун та вузли машинно-тракторного агрегату та при необхідності очистити їх від рослинних решток.

В суху вітряну погоду, коли на радіатор двигуна попадають пересохлі рослинні рештки, необхідно проводити додаткову перевірку дизеля в середині робочої зміни.

Категорично заборонено працювати без акумуляторної батареї, так як

коротке замикання приєднувальних проводів може бути причиною пожежі.

При запуску дизеля користуватися тільки замком – вмикачем. Забороняється проводити пуск двигуна перемиканням клем стартера.

Не допускати в процесі роботи скупчення листостеблової маси між кабіною трактора та двигуном на майданчику обслуговування силової установки.

Не допускати намотування бур'янів та листя на деталі збирального агрегату котрі обертаються, так як від тертя може відбутися самозаймання.

Очистку засмічених паливопроводів проводять тільки при холодному двигуні та після перекриття подачі палива.

Заправку паливних баків проводять тільки на дорозі чи зовні поля при непрацюючому двигуні за допомогою заправочного агрегату.

У випадку займання двигуна його необхідно заглушити рукояткою керування паливного насосу. Вимкнути електричний ланцюг, перекривши подачу палива.

Для усунення займання слід скористатися вогнегасником та засипати вогонь піском. Категорично заборонено заливати пожежу чи полум'я нафтопродуктів водою.

Слід пам'ятати, що при роботі картоплезбирального агрегату в зоні високовольтних ліній електропередач заборонено виконувати заправку паливом. Необхідно від'їхати від лінії електропередач та перед заправкою перевірити надійність кріплення заземлюючого ланцюга, який повинен постійно доторкуватися до землі.

Слід тимчасово призупинити роботу збирального агрегату при сильному вітрі, коли виникає небезпека розповсюдження пожежі на все поле.



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Для збільшення ефективності збору картоплі, скорочення трудових витрат і зниження рівня пошкодженості бульб, ми запропонували конструкцію однорядної картоплезбиральної машини з активним сепаруючим елеватором.

У роботі були розглянуті особливості умов вирощування картоплі та технології її збирання; проведено аналіз існуючої картоплезбиральної техніки і конструкцій сепаруючих пристроїв.

На основі даних про технології та умови використання картоплекопача була розроблена операційно-технологічна карта для викопування бульб картоплі, а також здійснено розрахунки тягових властивостей енергозасобу і загальної продуктивності машинно-тракторного агрегату.

Також була розроблена технологічна схема однорядного картоплекопача з активним пристроєм для сепарації, проведено технологічні та міцнісні розрахунки для робочих органів і елементів сепарувального елеватора.

В роботі враховані заходи безпеки при зборі картоплі за допомогою удосконаленого копача і розроблені заходи пожежної безпеки.

Запропонований варіант конструкції пристрою для сепарації забезпечує якісне виконання технологічного процесу збору картоплі за мінімальних пошкоджень бульб.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Березівський П.С., Більський Б.В., Дудаш Я.Я., Андрушко М.І. Організація і планування виробництва в аграрних формуваннях Львівщини. Львів: Укр. технології, 2000. 218 с.
2. Бондаренко М.Г., Демещук В.А. Комплектування машинно-тракторного парку в рослинництві. К.: Вища школа, 1995. 237 с.
3. Водяник І.І. Експлуатаційні властивості тракторів і автомобілів. К.: Урожай, 1994. 224 с.
4. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: Навчальний посібник / За ред. Д.Г. Войтюк, С.С. Яцун, Довжик М.Я. Суми: Університетська книга, 2008. 450 с.
5. Гречкосій В.Д. Довідник сільського інженера. Київ, «Урожай», 1988. 354 с.
6. Довбуш Т.А. Методи проектування сільськогосподарських машин: навчально-методичний посібник до курсового проектування /Т.А. Довбуш, Н.І. Хомик, А.Д. Довбуш. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2019. 72 с.
7. Довідник ланкового по вирощуванню картоплі /В.Д.Волков, В.С.Куценко, В.І.Дзюба та ін.; За ред. В.Д.Волкова. К. : Урожай, 1987. 248 с.
8. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві / В.Ю.Ільченко, П.І.Карасьов, А.С.Лімонт та ін.; За ред. В.Ю.Ільченка. К. : Урожай, 1993. 288 с.
9. Енергетичні засоби сільськогосподарського виробництва. Методичні вказівки до виконання розрахункових робіт для студентів денної та заочної форм здобуття освіти за освітньо-професійною програмою 208 «Агроінженерія» / Олексюк В.П., Сташків М.Я. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2023. 31 с.
- 10.Інтенсивна технологія вирощування картоплі / В.Д.Волков, Г.М.Колонтай, М.П.Мукосій, П.К.Сердюк. К. : Урожай, 1989. 40 с.

- 11.Лехман С.В. Довідник з охорони праці в сільському господарстві, К.: Техніка, 1990.
- 12.Машиновикористання в землеробстві / В.Ю.Ільченко, Ю.П.Нагірний, П.А.Джолос та ін.; За ред. В.Ю.Ільченка. К.: Урожай, 1996. 384 с.
- 13.Настенко П.М., Романченко М.А. Індустріальна технологія виробництва картоплі.- 3-є вид., доп і перероб. К.: Урожай, 1986. -144 с.
- 14.Олексюк В.П. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія» / Олексюк В.П., Сташків М.Я. Тернопіль: ТНТУ ім. І Пулюя, 2022. 47 с.
- 15.Операційна технологія виробництва картоплі / В.І.Дзюба, В.Г.Батюта, В.С.Куценко та ін.; За ред. В.І.Дзюби, В.Г.Батюти.: К.: Урожай, 1987. 200 с.
- 16.Осуховський В.М. Результати польових випробувань картоплекопача тракторного КТ-0,6 // Збірник наукових праць Національного аграрного університету “Механізація сільськогосподарського виробництва”. Том VI. “Теорія і розрахунок сільськогосподарських машин”. К.: НАУ, 1999. С. 162 – 166.
- 17.Охорона праці в сільському господарстві [Електронний ресурс]: Режим доступу вільний: [http://ipal.at.ua/publ/okhorona\\_praci/mozhlivi](http://ipal.at.ua/publ/okhorona_praci/mozhlivi)
- 18.Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. /В.Т. Павлище. К.: Вища школа, 1993. 556 с.
- 19.Хайліс Г.А. Основи теорії і розрахунку сільськогосподарських машин: Навч. Посібник. Київ: вид-во УСГА, 1992. 240 с.
- 20.Хомик Н.І. Основи агрономії: навчальний посібник (курс лекцій) / Н. І. Хомик, Г. Б. Цьонь, Т. А. Довбуш, В. П. Олексюк. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. 232 с.
- 21.Nevko R., Stashkiv M., Lyashuk O., Vovk Y., Oleksyuk V., Tson O., Bortnyk I. Investigation of internal efforts in the components of the crop sprayer boom

section. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. Volume 105, Issue 1 (2021), 33 – 41.

22. Roman Hevko; Yurii Nykerui; Taras Dovbush; Vasyl Oleksyuk. Substantiation of constructive parameters of a frame structure elements of the rope mechanism transport system for storing piece loadings into small warehouses. Scientific Journal of TNTU. Tern.: TNTU, 2020. Vol 100. No 4. P. 62–74.

## **ДОДАТКИ**