

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

## **П о я с н ю в а л ь н а   з а п и с к а**

до дипломної роботи

освітнього ступеня "Магістр" на тему:

### **Обґрунтування параметрів та дослідження сепараційного пристрою малогабаритного картоплезбирального комбайна**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МгМз-1-20  
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

\_\_\_\_\_ Ломага Віталій Юрійович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Кобець Олександр Миколайович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

Дніпро 2022

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. завідувача кафедри

ТСГМ

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

**З А В Д А Н Н Я  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Ломагі Віталію Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи:** Обґрунтування параметрів та дослідження сепараційного пристрою малогабаритного картоплезбирального комбайна

керівник роботи Кобець Олександр Миколайович, к.т.н., доцент.

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«24» січня 2022 року № 120

2. **Строк подання студентом роботи** 04.02.2022 р.

3. **Вихідні дані до роботи** Огляд стану питання в галузі машинобудування та існуючих машин. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Сучасний стан та тенденції вдосконалення картоплезбиральних машин. 2. Теоретичні дослідження взаємодії картопляного вороху з робочими органами комбайна. 3. Експериментальні дослідження режимів роботи малогабаритного картоплезбирального комбайна. 4. Охорона праці та захист в надзвичайних ситуаціях. 5. Техніко-економічна ефективність впровадження результатів досліджень. Висновки. Список використаних джерел.

## 5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. 2. Аналіз літературних і патентних джерел. 3. Теоретичні дослідження. 4. Програма і методика досліджень 5. Результати досліджень. 6. Економічні показники. 7. Висновки

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Кобець О.М., доцент		
2	Кобець О.М., доцент		
3	Кобець О.М., доцент		
4	Кравець В.В., доцент		
5	Вінніченко І.І., професор		
нормоконтроль	Теслюк Г.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 28.09.2020 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 28.05.2021 р.	Виконав
2	Теоретичний	до 24.09.2021 р.	Виконав
3	Експериментальний	до 06.12.2021 р.	Виконав
4	Охорона праці	до 24.01.2022 р.	Виконав
5	Економічний	до 04.02.2022 р.	Виконав
6	Демонстраційна частина	до 11.02.2022 р.	Виконав

**Студент**

\_\_\_\_\_ .  
( підпис )

\_\_\_\_\_ .  
(прізвище та ініціали)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ .  
( підпис )

\_\_\_\_\_ .  
(прізвище та ініціали)

Фрм	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка	
A4		1	52.ДР.015.000000.ПЗ	Пояснювальна записка			
				Графічні матеріали			
		2	52.ДР.015.000002	Мета і задачі досліджень			
		3	52.ДР.015.000003	Аналіз існуючих конструкцій			
		4	52.ДР.015.000004	Теоретичні дослідження			
		5	52.ДР.015.000005	Програма досліджень			
		6	52.ДР.015.000006	Результати досліджень			
		7	52.ДР.015.000007	Економічні показники			
		8	52.ДР.015.000008	Висновки			
				<i>52.ДР.015.000000.ПЗ</i>			
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дат</b>			
Розроб.	Ломага В.Ю.				<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	
Перевір.	Кобець О.М.					<i>Аркушів</i>	
Реценз.						3	
Н. Контр.	Теслюк Г.В.				ДДАЕУ		
Затверд.	Теслюк Г.В.						
				<b>Відомість дипломної роботи</b>			

## РЕФЕРАТ

Ломага В.Ю. Обґрунтування параметрів та дослідження сепараційного пристрою малогабаритного картоплезбирального комбайна / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» - ДДАЕУ, Дніпро, 2022.

**У першому розділі** представлено сучасний стан та тенденції вдосконалення картоплезбиральних машин.

**У другому розділі** проведено теоретичні дослідження взаємодії картопляного вороху з робочими органами комбайна.

**У третьому розділі** представлено експериментальні дослідження режимів роботи малогабаритного картоплезбирального комбайна.

**У четвертому розділі** приведено аналіз стану охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

**У п'ятому розділі** приведено оцінку економічної ефективності від впровадження

**Ключові слова:** картопля, комбайн, сепарація, пласт ґрунту, бадилля, прутковий транспортер, режими роботи.

Ломага В.Ю. Основні тенденції удосконалення комбінованих агрегатів для основного обробітку ґрунту / В.Ю. Ломага // Матеріали за XVII міжнародна научна практична конференція, Achievement of high school – 2021, 17-25 November, 2021: Софія. «Бял ГРАД-БГ» - С. 48-51.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ ВДОСКОНАЛЕННЯ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН .....	10
1.1 Агротехнічні вимоги процесу механізованого збирання картоплі.....	10
1.2 Аналіз конструктивних особливостей однорядних картоплезбиральних комбайнів представлених на вітчизняному ринку.....	11
1.3 Огляд останніх досліджень з модернізації сепараційних робочих органів.....	15
1.4 Огляд останніх інноваційних розробок та технічних рішень механізованого збирання картоплі.....	19
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ КАРТОПЛЯНОГО ВОРОХУ З РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ КОМБАЙНА .....	33
2.1 Розробка конструктивної схеми сепараційного пристрою.....	33
2.2 Дослідження процесу відділення бульб у висхідному потоківі.....	36
2.3 Обґрунтування кута нахилу підйомного елеватора.....	42
2.4 Обґрунтування довжини ділянки вільного скочування бульб.....	43
2.5 Опір руху леміша картоплезбирального комбайна.....	46
2.6 Опір руху складових сепараційного пристрою.....	49

РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ МАЛОГАБАРИТНОГО КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА.....	52
3.1 Лабораторне обладнання та приладдя.....	52
3.2. Проектування і створення дослідного зразка малогабаритного картоплезбирального комбайна.....	54
3.3 Лабораторні дослідження конструктивно-технологічних параметрів малогабаритного картоплезбирального комбайна	56
3.4 Оптимізація параметрів малогабаритного картоплезбирального комбайна.....	61
3.5 Польові випробування малогабаритного картоплезбирального комбайна.....	64
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	66
4.1 Організаційно-правові заходи охорони праці в господарстві....	66
4.2 Вимоги до створення сільськогосподарської техніки.....	66
4.3 Рекомендації з техніки безпеки при роботі на машині.....	68
4.4 Технологія розробки карти контролю по показниках безпеки...	69
РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	71
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	76
ДОДАТКИ.....	84

## ВСТУП

**Актуальність теми.** У технології виробництва картоплі збирання вважається однією з найбільш енергоємних операцій, при цьому основне значення має відділення картопляної купи, тобто відділення бульб від ґрунту та домішок.

Найпоширенішим розділовим органом понад 100 років є стрижневий конвеєр. Широке поширення набули підйомники завдяки простоті їх конструкції і можливості піднімати вагу під кутом більше 20 градусів. Багато спроб створити альтернативи сепарації закінчуються невдачею, оскільки більшість пристроїв засновані на відділенні ґрунтової маси від бульб на елеваторах. Зазвичай використовується один принцип, тобто чим довший шлях поділу, чим більше відмінностей і додаткових пристроїв (підсилювачів), тим краще проходить процес. Водночас таке покращення якісних показників призводить до збільшення габаритів, маси та вартості збиральної машини.

Таким чином, проблема зменшення сепараційного шляху в частині зменшення розмірів картоплезбирального комбайна, а отже, і їх вартості потребує подальшого вирішення, що визначає адекватність дослідження за темою дипломного проекту.

Метою роботи є підвищення ефективності технологічного процесу малого картоплезбирального комбайна шляхом обґрунтування параметрів сепараційного пристрою.

Для досягнення цієї мети були вирішені наступні завдання:

- розробити схему сепараційного пристрою наростаючого режиму для малого картоплезбирального комбайна;
- теоретично дослідити процес взаємодії спроектованого комбайнового пристрою з купою картоплі та обґрунтувати його параметри;
- на основі експериментальних досліджень визначити оптимальні параметри та режими роботи сепаруючого пристрою картоплезбирального комбайна;



- визначити залежність показників якості процесу від параметрів сепараційного пристрою в польових умовах;

- оцінити техніко-економічну ефективність роботи малого картоплезбирального комбайна з модернізованим пристроєм сепарації.

**Об'єкт досліджень** – сепараційний пристрій картоплезбирального комбайна.

**Предмет досліджень** – технологічний процес і параметри сепараційного пристрою картоплезбирального комбайна.

**Наукову новизну представляють** аналітичні залежності для визначення основних параметрів та режимів роботи модернізованого сепараційного пристрою.

**Теоретична та практична цінність роботи.** Обґрунтовано та встановлено оптимальні параметри та режим роботи модернізованого сепараційного пристрою; розроблено оригінальну конструктивно-технологічну схему сепараційного пристрою малого картоплезбирального комбайна.

# РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ ВДОСКОНАЛЕННЯ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН

## 1.1 Агротехнічні вимоги процесу механізованого збирання картоплі

Для успішного використання необхідне обладнання для збирання картоплі та створення відповідних умов [19, 22]:

- використання якісного садивного матеріалу;
- проведення відповідного обробітку ґрунту в певному порядку з урахуванням типів ґрунту;
- своєчасна посадка, на певну глибину з мінімальним відхиленням від прямолінійності ходу;
- забезпечення тонкої структури ґрунту в гряді;
- до кінця вегетації бульби повинні перебувати на добре сформованому рівні на однаковій глибині;
- якісне видалення рослинних залишків;
- дотримання терміну збирання.

Картоплезбиральні комбайни та картоплекопачі повинні відповідати таким основним агротехнічним вимогам [20]:

- викопувальні робочі органи повинні бути добре пристосовані до мікрорельєфу поля та забезпечувати рівномірну глибину переміщення на різних заглибленнях;
- допускається відхилення глибини ходу сошників від заданого значення не більше  $\pm 2$  см;
- забезпечити викопування бульб на глибину до 22 см при ширині бульбових гнізд 40 см;
- викопати до поверхні поля не менше 95% врожаю бульб;
- втрати всіх видів не повинні перевищувати 3%;
- чистота картоплі в тарі повинна бути не менше 80%;
- допускається пошкодження не більше 3% від маси бульб;

- комбайн повинен зібрати в бункер не менше 97% врожаю картоплі;
- при роботі комбайна на легких, середніх і кам'яних ґрунтах пошкодження бульб не повинно перевищувати 10%, а на вологих – до 5%.

Картоплезбиральні комбайни повинні мати високу довговічність і надійність [21]:

- коефіцієнт технічного використання 0,90;
- коефіцієнт використання часу роботи 0,60.
- коефіцієнт готовності 0,95;
- коефіцієнт надійності технологічного процесу 0,97;

Картоплезбиральні та однорядні комбайни необхідно комбінувати з тракторами класу 0,9-1,4 кН, а дворядні - з тракторами класу 1,4 і 2,0 кН. Однорядний комбайн не може обслуговувати більше чотирьох осіб, а дворядний - не більше шести. Продуктивність дворядних картоплезбиральних комбайнів не менше 0,4 га/год змінного часу, а картоплезбиральних - не менше 0,15 га/год на ряд.

## **1.2 Аналіз конструктивних особливостей однорядних картоплезбиральних комбайнів представлених на вітчизняному ринку**

Сучасну високопотужну картоплезбиральну техніку в основному купують на ринку великі господарства з понад 100 га картопляних плантацій. Цей сегмент ринку міцно займають європейські компанії – лідери світового ринку картоплезбирального обладнання: Grimme, AVR, Dewulf, Unia [49, 51, 52, 53].

За даними митної служби, у 2017 році частка імпорту комбайнів становила менше 6% в обсязі, решта – на екскаватори та іншу техніку. Однак у вартісному вираженні частка високоефективних комбінацій досягає 50% [53].

Середні та малі фермерські господарства збирають до 80% площ картоплі за допомогою старих машин (копачів, комбайнів), які ще радянські або вживані імпортні. Основна проблема цього обладнання – відсутність

оригінальних запчастин та якісного сервісу.

У господарствах з площею картоплі менше 50 га в основному використовують копачі. Витрати на оплату праці на виробництво картоплі сягають 40 чол.-га на 1 га замість стандартних 6 чол.-га, витрати праці на 100 кг врожаю сягають 6,5 чол.-га замість можливих 0,6 [22]. При цьому втрати врожаю залежно від ґрунту та клімату становлять 8...26% [58].

Використання нових малих картоплезбиральних комбайнів дозволяє практично повністю виключити втрати врожаю, збираючи бульби в бункер, контейнери, мішки, таким чином збираючи картоплю за найменшими витратами, а отже і собівартістю [21, 22].

Останніми роками на вітчизняному ринку малих картоплезбиральних комбайнів домінують однорядні комбайни іноземних компаній [49 50, 51, 52, 53].

Таблиця 1.1 – Характеристики однорядних картоплезбиральних комбайнів

Найменування показників	Картоплезбиральні комбайни				
	ККУ-1	«Лидчанин-1»	Grimme SE 75 (20,30,55)	UNIA BOLKO	AVR Spirit (4100,6100)
Країна-виробник	Білорусь	Білорусь	Німеччина	Польща	Бельгія
Число рядків	1	1	1	1	1
Продуктивність, га/год	0,25 - 0,35	0,22	0,35-0,6	0,15	0,35 - 0,6
Робоча швидкість км/год	до 5	1,5-5	5-8	1,5-5	5-8
Сепаруюча система	Елеватор	Елеватор	Елеватор	Елеватор	Елеватор
Кількість персоналу: Тракторист, робочі	1, 4	1, 4	1, 4	1, 3-4	1, 4
Бункер, т	1,5	2,0	2-55	1,25	4,0
Маса, т	3,1	3,8	4,5	2,1	5,75
Габарити: Д*Ш*В	7150	7150	8920	5950	8400
	2400	2400	3000	2420	3000
	2900	2900	3500	2690	3330
Трактор кл. т. с.	1,4	1,4	1,4-2,0	1,4	1,4-2,0
Орієнтовна вартість, тис. грн	600	1050	Від 600 до 3000	800	Від 750 до 5000

Усі комбайни, представлені в таблиці, працюють за однією технологічною схемою (рисунок 1.1) і мають приблизно однакову конструкцію [21, 22, 54].

Технологічна процедура полягає в наступному: сошник 3 підриває шар ґрунту, в якому виростає бульба, надходить на перший підйомник 4, де просіюється більша частина ґрунту і розбиваються великі грудки, потім вся маса надходить на другий підйомник 5 для подальшого розділення. Великі рослинні домішки відокремлюються стрижневим сепаратором 6, потім сировина проходить через три сепараторні пристрої 7, 9, 10 і надходить на сортувальний стіл 11 і завантажується в бункер 13.

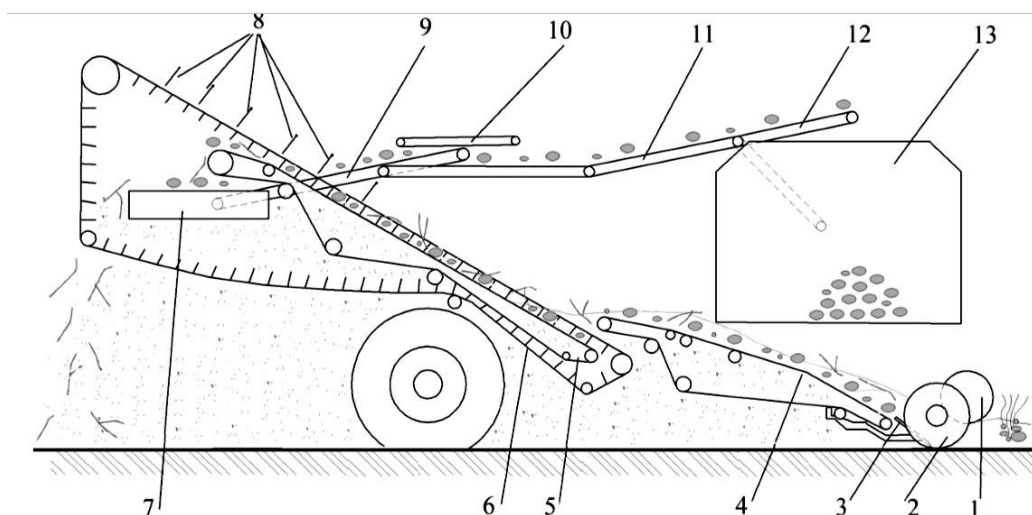


Рисунок 1.1 – Технологічна схема однорядних картоплезнавних машин: 1 – каток; 2 – підрізні диски; 3 – леміш; 4 – перший елеватор; 5 – другий елеватор; 6 – прутковий роздільник бадилля; 7, 9, 10 – пристрої сепарації; 11 – на стіл для сортування; 12 – транспортер; 13 – бункер.

На рис. 1.2 і 1.3 представлені однорядні картоплезнавні комбайни, що працюють за цією схемою з підйомним сепаруючим пристроєм.

Перевірка картоплезнавного комбайна показує, що всі машини відповідають агротехнічним і надійним показникам.



Рисунок 1.2 – Однорядний картоплезбиральний комбайн ККУ-1



Рисунок 1.3 – Однорядний картоплезбиральний комбайн Grimme SE 75

Однак є суттєві недоліки [58]:

- високий вміст металу, що автоматично робить машину дорожчою та складною в обслуговуванні;
- ущільнення ґрунту у зв'язку з повторними переходами;
- підвищене пошкодження картоплі при переміщенні на багатометрових каскадних конвеєрах з додатковими пристроями для очищення бульб від рослинних домішок;
- відсутність якісних послуг;
- високий рівень цінкових показників на оригінальні запчастини;
- ослаблення вітчизняних виробників.
- часта непридатність до кліматичних умов;

### 1.3 Огляд останніх досліджень з модернізації сепараційних робочих органів

Для відділення бульб картоплі від ґрунту та рослинних решток випробувано десятки типів сепаруючих робочих органів, заснованих на різних принципах дії [58].

Розділення ґрунту проводять на робочих органах, що поділяють складові за розмірами: стрижневих підйомниках, ситових грохотах, барабанних, комбінованих (рисунок 1.4).

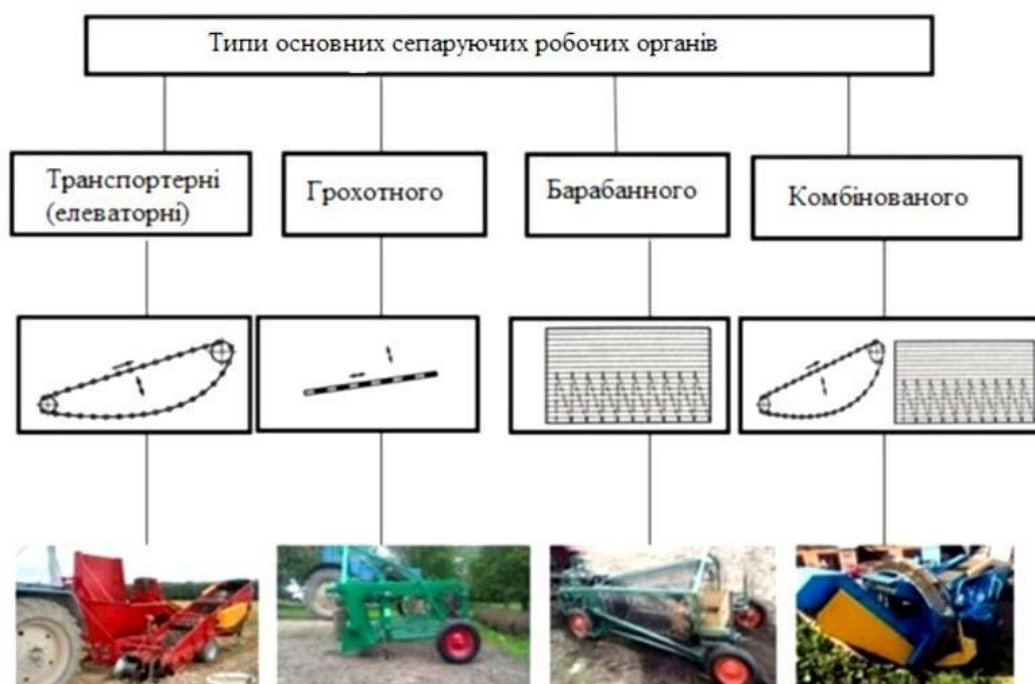


Рисунок 1.4 – Типи сепараційних робочих органів

Штатні елеватори часто використовуються в картоплезбиральних комбайнах через простоту конструкції та можливість підйому та транспортування пласта [20, 22].

Щоб виключити переміщення викопаного пласта, швидкість підйому повинна бути в 1,3 - 1,6 рази більше швидкості машини. Для інтенсифікації процесу поділу сировини під верхню гілку першого прутка підйому встановлюють різні типи вібраторів. Сили інерції, що утворюються під час роботи вібратора, певною мірою активізують процес поділу. У той же час сили інерції збільшують динамічне навантаження рухомих елементів і

прискорюють процес їх зношування.

Багато вітчизняних та зарубіжних вчених досліджували процес відокремлення ґрунту з бульбами та домішками на мобільному елеваторі в різний час [1, 2, 3, 25, 26, 37].

Однак рівняння не повністю враховує фактичний процес відокремлення ґрунтів різних видів. Крім того, на процес сепарації впливає неоднорідне навантаження на сито сепараційних робочих органів, розташованих на початку і в середині технологічного процесу комбайна.

Розрізняють два основних види навантаження: повне, характерне для основного (першого) відокремлюючого робочого органу, і неповне - для наступних відокремлюючих робочих органів.

Поверхня сепараційних поверхонь залежить від їх конструктивних характеристик, на поверхні сепарації пропускаються великі включення ґрунту з бульбами та домішками, так що частина її поверхні залишається вільною для проходження частинок ґрунту. Цю частину можна назвати активною площею розділової поверхні  $S_a$ . Великі частинки ґрунту, бульби, які надходять на поверхню сепарації, через деякий час  $t$  покривають частину поверхні сепарації і переводять її в пасивний стан  $S_p$  відповідно до процесу сепарації. Таким чином,  $S_p$  є функцією від  $t$ .

При обґрунтуванні активної сепаруючої поверхні необхідно враховувати живий переріз сита і зчеплення отворів полотна при роботі на вологому ґрунті. Для кращого видалення ґрунту сировину потрібно перенести на більший технологічний шлях. На сучасних комбайнах, таких як DR-1500 Grimme, цей шлях досягає 16 м. В результаті на відомих комбайнах органи сепарації розміщені за двоступінчастою схемою. Основним недоліком барабанних підйомників є низька питома вантажопідйомність.

Барабанні робочі органи використовуються в картоплезбиральних комбайнах як сепараторно-підйомно-транспортні пристрої. Як правило, вони працюють у низькошвидкісному режимі, що робить їх сепараційні властивості нижчими, ніж у стрижневих підйомників.



Також варто відзначити переваги барабанних сепараторів:

- простота пристроїв;
- продуктивність конструкції;
- можливість регулювання кінематичного режиму в широкому діапазоні.

Наявні в літературі дані [26] свідчать про досить високу розділову здатність поверхні швидкого барабана, а інтенсивність поділу зростає із збільшенням відцентрового прискорення. Але практичного застосування цей прилад поки не знайшов. Це пов'язано з тим, що при високих швидкостях обертання барабана матеріал, що знаходиться в ньому, притискається відцентровою силою на внутрішню поверхню і подальший рух в осьовому напрямку припиняється.

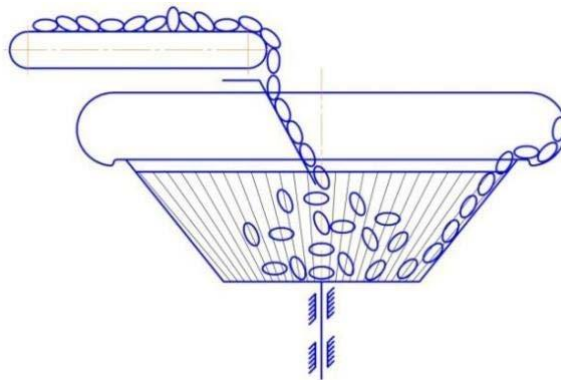


Рисунок 1.5 – Відцентровий конічний барабанний сепаратор з вертикальною віссю обертання

Переміщення матеріалу в осьовому напрямку можна забезпечити різними способами, головним чином зміною форми розділюючої поверхні. З цієї точки зору цікавою є конструкція швидкісних конічних барабанних сепараторів з вертикальною та горизонтальною віссю обертання.

У роботі [25] використано метод поділу ґрунту за допомогою відцентрових сил інерції на конічних барабанах з вертикальною віссю обертання. У такому барабані (рисунок 1.5) матеріал рухається вздовж стінки під дією відцентрової сили.

Використання конічних відцентрових барабанів в картоплезбиральних комбайнах ускладнюється тим, що розвантаження бульб у них відбувається

по колу, що ускладнює їх захоплення. Крім того, поверхня чаші схильна до засмічення рослинними залишками.

Більш вдалим технічним рішенням, запропонованим у [22], є відцентровий сепаратор, що являє собою конічне сито, що обертається навколо горизонтальної осі (рис. 1.6).

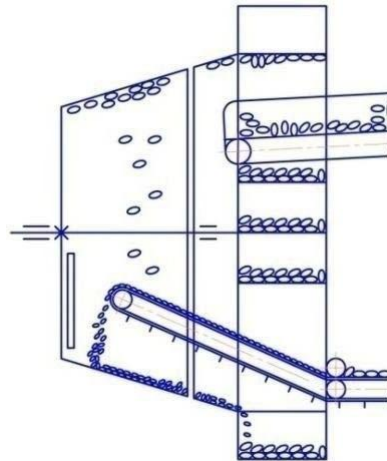


Рисунок 1.6 – Конічний барабанний сепаратор з горизонтальною віссю обертання.

Сепаратор має довжину 600 мм, діаметр 1232 - 1650 мм. робочу поверхню складають розташовані під кутом  $30^\circ$  до осі прутки, що утворюють конусну форму, зазор між якими 28 мм.

Принципова схема барабанно-шнекового сепаратора [25] наведена на (рис. 1.7).

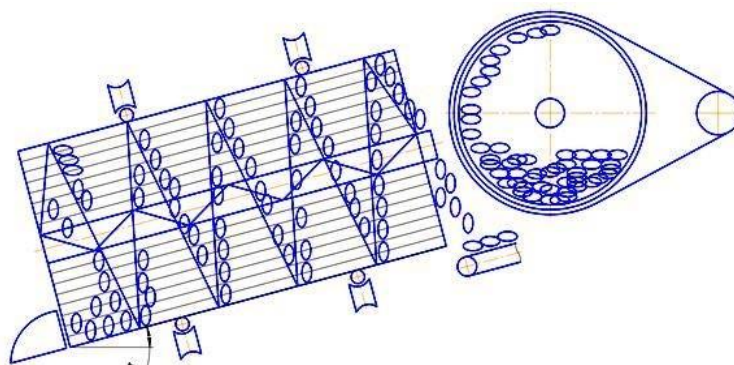


Рисунок 1.7 – Барабанно-шнековий сепаратор.

У комбінованому вибірковому дослідженні [26] на важких ґрунтах він підвищився, у швидкому режимі сепаратор відокремлює в середньому 93,5%

грунту від бульб, а чистота бульб у бункері досягає 74%. Однак ця конструкція сепаратора також не знайшла практичного застосування через значні недоліки. Пристрій складається з леміша, барабана з перфорованою поверхнею і шнека. Шнековий транспортер транспортує сировину і очищає прутки від нависаючих верхівок. Такий робочий орган ефективно відокремлює не тільки сухий, а й вологий ґрунт. Основний недолік - сильне травмування картоплі.

#### 1.4 Огляд останніх інноваційних розробок та технічних рішень механізованого збирання картоплі

Роторно-гвинтовий сепаратор (рисунок 1.8) являє собою барабан з двох з'єднаних чотирма гладкими тягами 7 ланцюгових коліс 8, до яких прикріплені штирі з напрямними гвинтовими роликами 2 із шестернею 6 на кінці. Зірочка 6 вмонтована в дворядне колесо 8. Основним несучим елементом такого сепаратора є закритий трос з поліетиленовим кожухом.

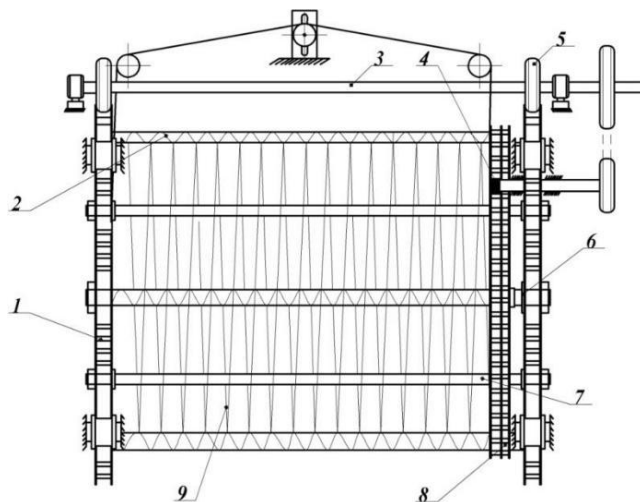


Рисунок 1.8 – Схема роторно-гвинтового сепараційного органу:

- 1 – ланцюгові колеса; 2 – напрямні гвинтові валики; 3 – приводний вал;  
 4, 5, 6 – зірочки; 7 – гладкі прутки; 8 – дворядне ланцюгове колесо;  
 9 – канат.

При обертанні приводного валу 3 починають обертатися зірочки 1 і подвійна зірочка 8. Оскільки швидкості зірочок 4 і 5 не однакові, зірочка 1 знаходиться перед подвійною зірочкою 8. Під час одного оберту барабана, кожен напрямний гвинт 2 обертається повністю. При такому злагодженому

русі барабана і гвинтових роликів гілка гнучкого троса, що спускається з кінця барабана, подається до його початку і знову рівномірно закріплюється на гвинтах. Це створює еластичну, гнучку сітчасту поверхню, яка постійно рухається вздовж.

У роторно-шнековому сепараторі переміщення матеріалу вздовж осі обертання не залежить від величини відцентрового прискорення і забезпечується практично в будь-якому кінематичному режимі, що дозволяє регулювати силове поле на поверхні розділення в широкому діапазоні діаметр. Якщо барабан обертається рівномірно з частотою  $\omega$ , яка значно перевищує критичну, то матеріал, що подається на розділову поверхню, фіксує рух по гвинтовій лінії.

У цьому режимі барабанний сепаратор може працювати при високій вологості. У всіх інших випадках це відносний рух. Значення абсолютної швидкості частки вздовж осі обертання барабана в залежності від кута його повороту при зміні кута тертя від  $16^\circ$  до  $30^\circ$  збільшує його осьову швидкість. При малих кутах тертя частка здійснює коливальні рухи не тільки в площині, перпендикулярній осі обертання барабана, а й осі Z.

Таким чином, на відміну від існуючих циліндричних сепараторів, у роторно-гвинтовому сепараторі забезпечується осьове переміщення матеріалу незалежно від відцентрового прискорення.

Продуктивність роторно-шнекового сепаратора при масі 38 ... 52 кг / с змінюється до 21,6 ... 35 кг м<sup>2</sup> / с.

За результатами експериментальних досліджень діаметр барабана 550 мм, нахил шнеків 20 мм, швидкість 45 ... 60 хв<sup>-1</sup>.

На базі роторно-шнекового сепаратора розроблено конструкцію дворядного картоплезбирального комбайна (рисунок 1.10) [21].

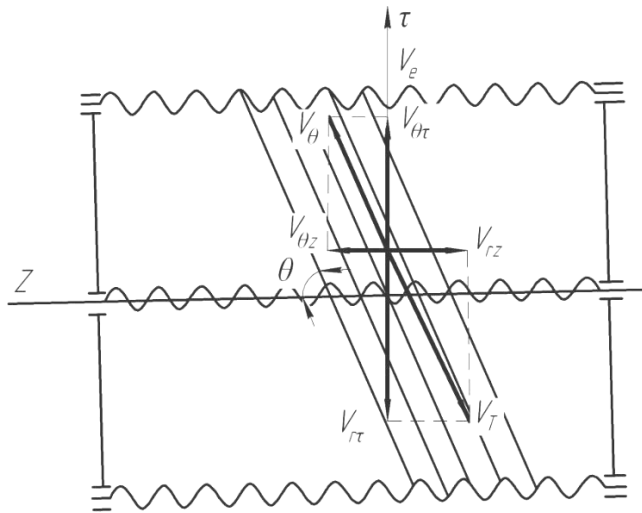


Рисунок 1.9 – Схема до визначення швидкості руху частинки в роторно-гвинтовий сепараторі

Однак неодноразові спроби використати швидкообертаючі барабани як розділювальний корпус не увінчалися успіхом.

Іншим завданням інтенсифікації процесу поділу сировини є створення робочого органу, в якому підвищення ефективності процесу було б тимчасовим за рахунок дії 3-х сил: відцентрової сили, сили тяжіння, та статичного тиску.

Для вирішення цієї задачі створено робочу модель барабанного сепаратора, що забезпечує переміщення матеріалу в осьовому напрямку незалежно від швидкості обертання барабана [23]. Під час досліджень у виробничих умовах були виявлені основні недоліки такої конструкції, а саме: важкий пристрій планетарного механізму; розсувний закритий кабель.

У процесі подальших досліджень виникла ідея поєднання барабана зі штоковим елеватором. У цьому випадку відпаде необхідність звужувати протікання пласта. Підйомник обертається навколо гнучкого барабана ззаду.

Потік сировини затискається між елементами елеватора і гнучкою поверхнею барабана. Таким чином, запропоновано конструкцію відцентрово-затискного сепаруючого пристрою [49, 50].

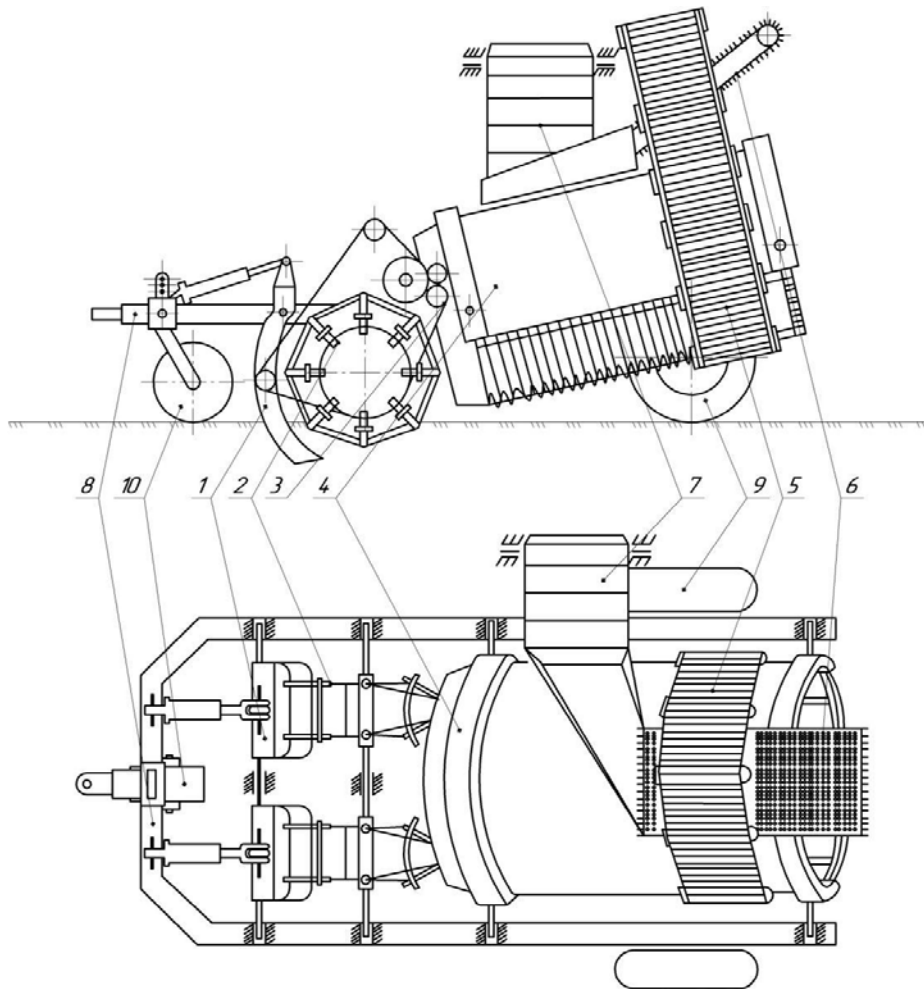


Рисунок 1.10 – Картоплезбиральний комбайн: 1 – підкопувальна скоба; 2 – роторно-пальцевий копач; 3 – розділювач бадилля; 4 – роторно-гвинтовий сепаратор; 5 – приймальний транспортер; 6 – розділювальна гірка; 7 – транспортер для вивантаження; 8 – рама; 9 – колеса; 10 – опорне колесо.

### *Відцентрово-затискний сепаратор*

На рис. 1.11 наведена принципова схема відцентрового сепаратора з затискачами. Показано сили, що діють на потік сировини в процесі його руху по зовнішній поверхні барабана [51]. Крім складової сили тяжіння і відцентрової сили, в пневматичній камері існує також сила тиску повітря. В одному пристрої було поєднання трьох робочих органів: сепаратора, дробарки грудок і елеватора.

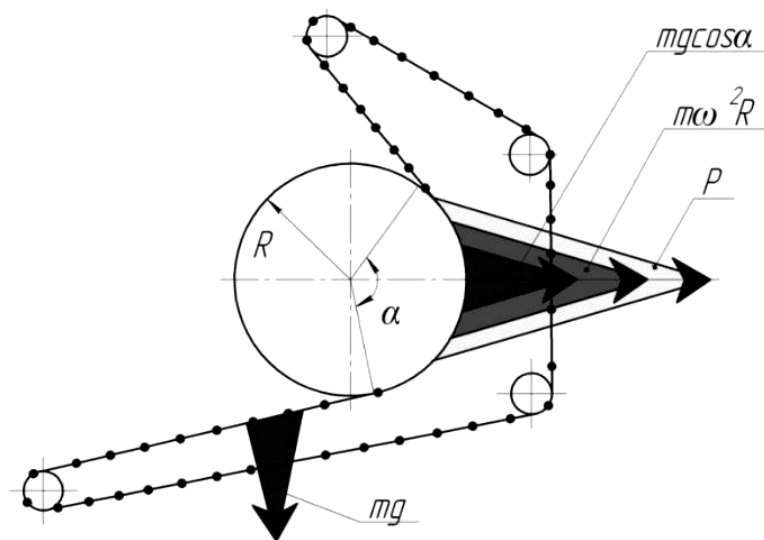


Рисунок 1.11 – Принципова схема відцентрово-затискного сепаратора

У конструкціях відомих картоплезбиральних комбайнів кожен такий пристрій виготовляється окремо і має механізм автономного приводу.

Крім того, ці робочі органи послідовно встановлені на рамі комбайна і займають багато місця.

У пристрої підйом тяг і барабана приводиться в рух одним приводним валом. Але цей роздільник виявив деякі недоліки в процесі польових досліджень. Частина ґрунту і бульб, не відходячи від поверхні пружного барабана, знову надходила в канал подачі. В результаті не всі бульби потрапили на поперечний вивантажувальний конвеєр. Крім того, зробити пневматичний барабан великого діаметру було непросто. Були спроби використовувати для цього автомобільні колеса. Під час тривалих пошуків і досліджень з конструктивної схеми відцентрово-затискного сепаратора міг бути виключений пневматичний барабан [54].

На відомих комбайнах і копачах підйомники монтуються на раму поступово і в ряд. На таких пристроях ґрунт відокремлюється від бульб самопливом. А тим часом, по-різному розміщуючи одні й ті ж елеватори в просторі, можна отримати різні, принципово нові пристрої розділення.

Схема сепаратора, що складається з двох пруткових підйомників, показана на рис. 1.12. Основа сепаратора складається з двох дисків 3, встановлених на головному валу. Диск 3 має обід по колу концентричного краю з внутрішньої сторони дисків розміщені пальці 5. Основний підйомник,

який піднімає сировину, оточує диски 3 ззаду, а підйомник, приймальна сировина 1 накладається на палець 5 і направляє вал 2.

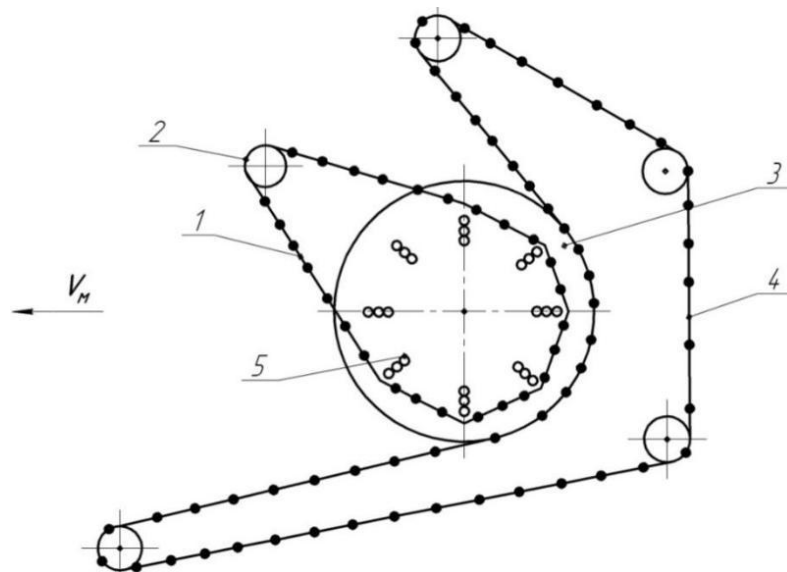


Рисунок 1.12 – Відцентрово-затискний сепаратор, що складається з двох пруткових елеваторів: 1 – приймаючий елеватор; 2 – направляючий вал; 3 – диск; 4 – елеватор-підйомник; 5 – пальці.

При такому розташуванні підйомників між їх робочими гілками утворюється регульований за розміром канал. У цьому каналі, крім сили тяжіння, на сировину діють відцентрова сила і реактивні сили.

Сировинна маса характеризується неоднорідністю за компонентами: ґрунт, бульби, бадилля, залишки бур'янів. Основними домішками, які потребують відокремлення, є ґрунт (97-98%).

На рис. 1.13 зображено схему ущільнення сипучого шару (сировини), що йде від викорюючого пристрою до основного підйому 2.



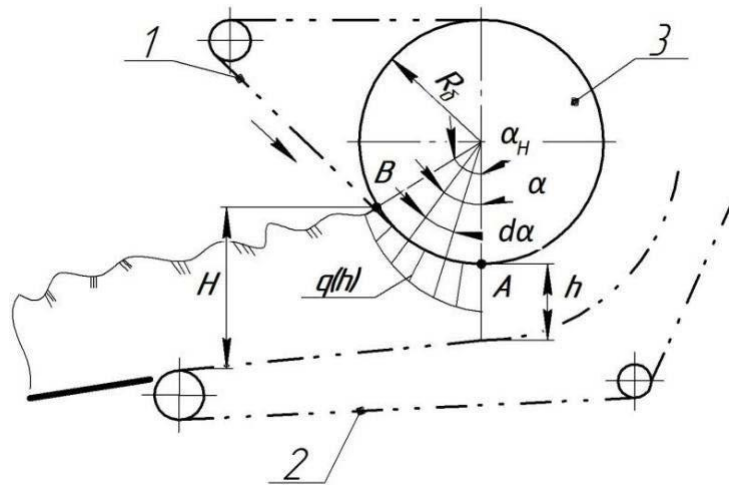


Рисунок 1.13 – Схема ущільнення пласту: 1 – приймаючий елеватор; 2 – основний елеватор; 3 – барабан.

Деформація шару складається з двох фаз. На першому етапі м'які шари ґрунту ущільнюються (подрібнюють). Коли дотичні напруження зсуву та загальні розтягуючі напруження досягають межі, пласт руйнується. З цього моменту починається друга фаза – опір ґрунту різко падає від максимального значення до певного мінімуму. Послідовне подрібнення (ущільнення) ґрунту припиняється при вирівнюванні міцності на стиск і прикладеного навантаження [25]:

За дослідженнями, середня міцність бульб різного розміру перевищує середню міцність легких глиняних грудок. Допустиме навантаження на стиск бульби може приймати значення 200 ... 250 Н. Якщо міцність грудок не перевищує 200 Н, вони можуть бути зруйновані стисненням [2, 26].

На відміну від відомої пневматичної циліндричної дробарки грудок, де грудки руйнуються невеликим круговим сектором, компресійний сепаратор створює напругу в усіх точках утворення під час підйому. Важливо, щоб підняттям сировини бульби підняли на необхідну висоту.

#### *Пасовий розділювач бадилля*

Відцентровий сепаратор оснащений істотно новим пристроєм для відділення бадилля від бульб картоплі (рисунок 1.14). Замкнуті в коло ремені круглого перерізу 6 охоплюють приймальний підйомник 1. За допомогою натяжного направляючого ролика 9 задня гілка ременів притискається до провідного валу підйомника, до якого надходить сировина 4.

Поруч із стрічками розташований шток 7. Розташований в зоні обмотки стрічки 6 приводного валу елеватора, що приймає сировину. Стержень 7 прикріплений до кінців важелів 8 за допомогою пружини 10, притиснутий до ременів 6.

Бульби відокремлюються в процесі сходження вгору утворюють «живильний канал» у щілині між гілками підйомників 1 і 4. На кінці цього каналу гілки підйомників 1 і 4 розходяться, залишаючи вільні бульби на верхній гілці підйомника, що приймає сировину.

Більшість бадилля і бульб, затиснутих між поверхнею підйомника 4 і смугами, що розділяють вершини 6, рухаються вгору.

У зоні виходу купи з «живильного каналу» окремі бульби, які застрягли в щілинах між брусками підйомника 4, змінюють напрямок руху і відриваються від верхівок. Під час просування вгору стрижні проштовхують бульби в щілину між смугами 6. Бульби рухаються відносно один одного в різних напрямках.

Однак більшість бульб, відшаровуються в процесі вільного польоту під дією відцентрової сили та гравітаційної складової. Бульби, що застрягли між стеблами і листям бадилля, відриваються подільником 7.

Важливою умовою відділення бульб від бадилля є перевищення сил опору відриву (рисунки 1.15) [53].

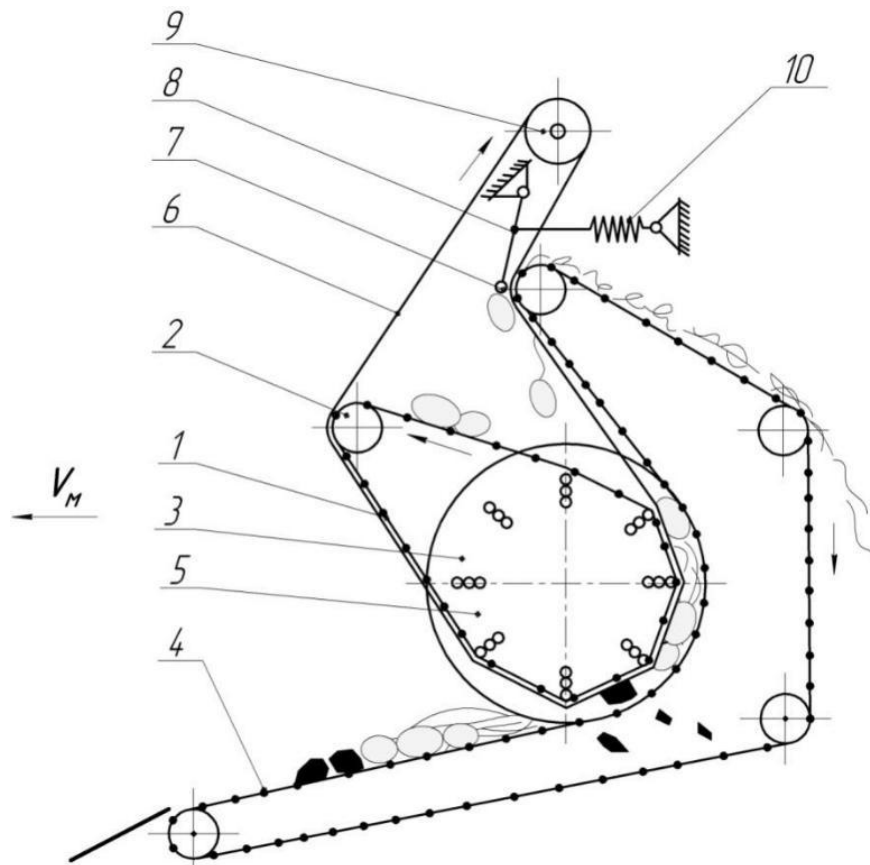


Рисунок 1.14 – Схема пасового розділювача бадилля: 1 – приймальний елеватор; 2 – направляючий валець; 3 – барабан; 4 – піднімальний елеватор для бадилля; 5 – пальці; 6 – паси; 7 – пружок-роздільник; 8 – важіль; 9 – натяжний валець пасів; 10 – пружина.

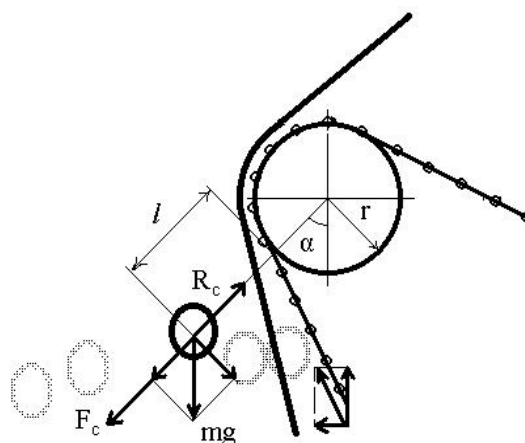


Рисунок 1.15 – Сили, що відривають бульбу від бадилля

За даними джерела [35], зусилля, необхідне на відрив бульби від стебла коливається в межах 2 ... 12 Н. Отже, без наявності додаткового пристрою

повне відділення бульб від бадилля є неможливим. Таким додатковим пристроєм є пруток-роздільник.

На рис. 1.16 представлена схема взаємодії ведучого валу елеватора, що приймає сировину, прутка-роздільника та бульби.

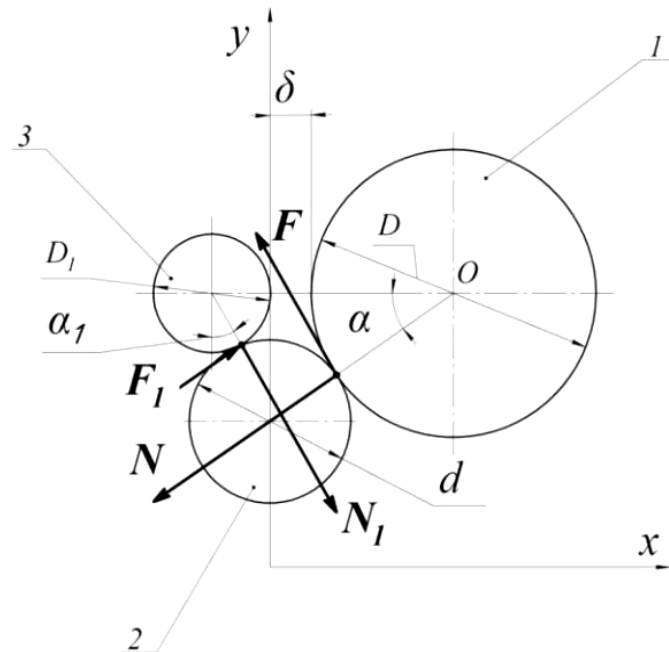


Рисунок 1.16 – Схема взаємодії ведучого валу елеватора, що приймає сировину, прутка-роздільника та бульби: 1 – вал елеватора, що приймає сировину; 2 – бульба; 3 – пруток-роздільник.

На базі відцентрово-затискного сепаратора та стрічкового подільника створено однорядний копач з подільником [26].

На цих пальцях і направляючому ролику 7 закріплено полотно зменшеної ширини, яке приймає сировину 4. Друге полотно, що піднімає сировину 3, оточує диски 5 за дугою 180°. На цій кривій між гілками підйомників 3 і 4 утворений кільцевий канал з регульованою радіальною щілиною (перестановка пальців на диску) [26].

Над верхньою гілкою похилого донизу підйомника, що приймає сировину 4 під кутом, меншим за кут тертя компонентів сировини, встановлений відбивач 8. Закриті смуги круглого перерізу вершин бадилля 9 обертаються навколо лопаті підйомника, що приймає сировину 4, а вільні верхні гілки видаляються за допомогою направляючого ролика 10 зі шківками по відношенню до верхнього приводний валу 11 підйомника 3 до зіткнення

задніх гілок ременів з тягами підйомника 3. На кінці підйомної лінії 12 знаходиться циліндр 10.

### *Картоплекопач-валкоутворювач*

Картоплезбиральний комбайн (рисунок 1.17) складається з наступних монтажних вузлів [2]: пасивного підкопуючого пристрою, відцентрового притискного сепаруючого корпусу, роздільника наконечника стрічки, механізму приводу робочого органу, опорних коліс і рами. Сошник 1 з'єднаний з поперечиною 2. Основою сепаруючого корпусу є два диски 5, встановлені на головному валу з прорізом, що відповідає ширині підйомної лопаті. Диски 5 оснащені кільцем. По колу концентричного краю з внутрішньої сторони дисків розміщено 5 пальців 6 з можливістю їх перерозподілу за радіусом

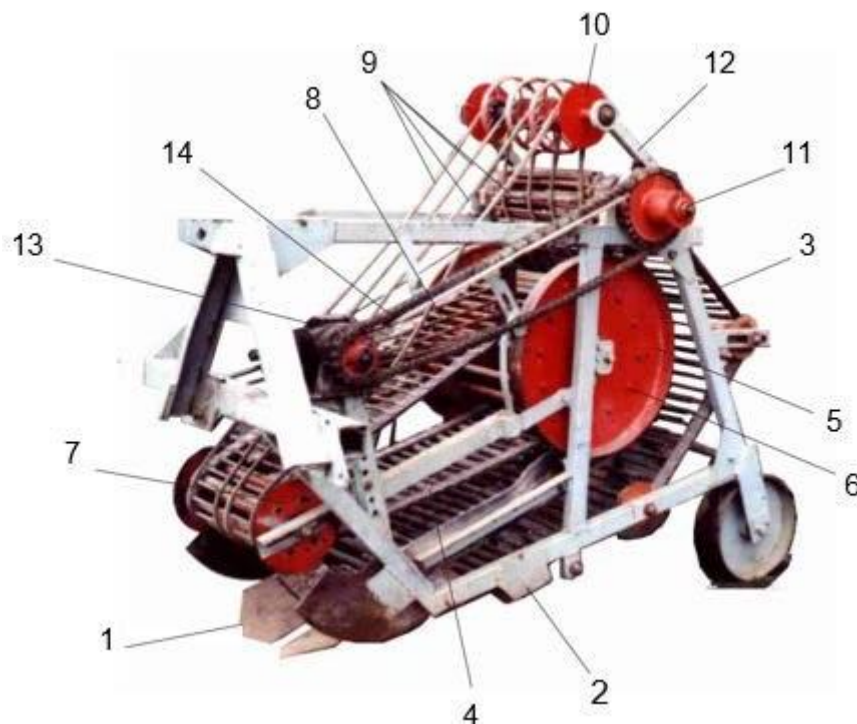


Рисунок 1.17 – Картоплекопач-валкоутворювач: 1 – леміш; 2 – поперечна балка; 3 – полотно, що піднімає сировину; 4 – полотно, що приймає сировину; 5 – диски; 6 – пальці; 7 – направляючий валик; 8 – відбивач; 9 –розділювач бадилля; 10 – направляючий валик; 11 – провідний вал; 12 – стійка; 13 – редуктор; 14 – привідний ланцюг.

Картоплезбиральний комбайн працює наступним чином. Під час поступального руху агрегату підкопуючий робочий орган 1 відокремлює шар основної маси ґрунту, частково руйнує та деформує його.

З органу 1 шар ґрунту надходить у верхню гілку підйомника 3.

При цьому напірний шар притискається брусками нижньої гілки підйомника 4. Штанги активізують процес проходження дрібних частинок ґрунту через щілини між брусками основного підйомника. Інтервал між гілками сепараторів на криволінійній ділянці змінний по висоті, більший знизу, менший у верхній частині [25].

Гілки сепараторів утворюють вигнутий канал подачі, який звужується. У цьому каналі, крім сили тяжіння, на компоненти діють відцентрова сила і сила стиснення підйомних тяг. Внаслідок цього відбувається інтенсивне руйнування щільних грудок землі, ґрунт просівається через отвори між брусками елеваторів 3 і 4, бульби частково відокремлюються від бадилля.

У верхній зоні розходяться гілки елеваторів 3 і 4. Бульби, відокремлені від бадилля, залишаються на верхній гілці підйомника 4, а бадилля піднімається до верхнього циліндра підйомника 3 за допомогою невідокремлених бульб, затиснутих між штангами основного підйомника 3 і смугами підйомника 3. При різкій зміні напрямку руху тяг підйому і переходах верхньої перегородки виникають сили інерції, що забезпечують надійне відділення бульб від верхівки.

Бульби, відокремлені від верхівок, виходять на поверхню верхньої гілки підйомника 4, нахилоною донизу. Бульби закручуються вздовж похилої поверхні елеватора і зупиняються щитком 8, встановленим під кутом до лінії руху. Рухаючись уздовж щита, поступово скочуючись з поверхні ліфта і падаючи вниз по лотку.

Картоплезбиральний комбайн не має пристрою для подачі чистих бульб картоплі на накопичення. Цей недолік було враховано при розробці міні-картоплезбирального комбайна.

#### *Міні-картоплезбиральний комбайн*

Міні-картоплезбиральний комбайн (рис. 1.18) [50] оснащений поперечним транспортером для подачі бульб в тару невеликого об'єму або у

візок, з низькою посадкою, що рухається поруч.

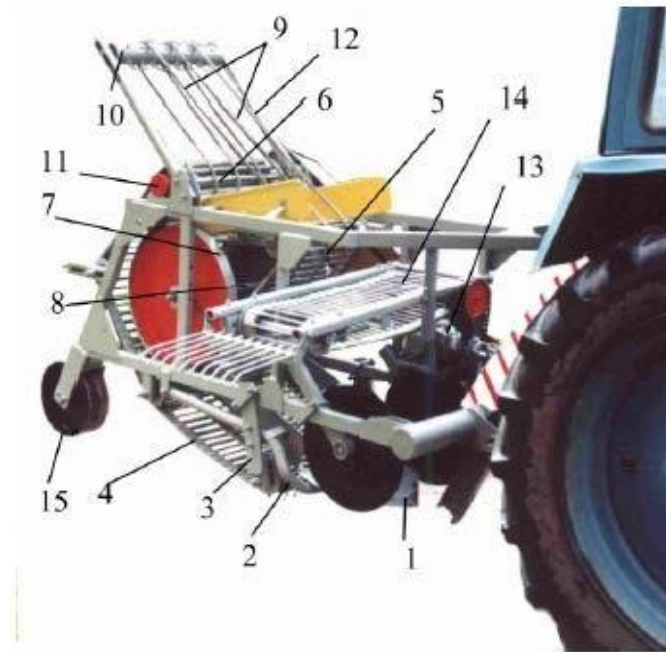


Рис. 1.18 – Міні-картоплезбиральний комбайн: 1 – леміш; 2 – рама; 3 – стійка; 4 – елеваторне полотно; 5 – прийомне елеваторне полотно; 6 – вал; 7 – диски; 8 – пальці; 9 –паси; 10 – направляючий валик, 11 – провідний вал елеватора, 12 – стійка, 13 – редуктор, 14 – транспортер вивантажувач, 15 – ходові колеса.

Міні-збиральний комбайн працює на рівних ділянках з міжряддям 60-70 см і може використовуватися для збирання моркви, цибулі, столового буряку. Машина складається із змінних копачів у вигляді сошників або копачів, відцентрово-напірних сепараторів, стрічкових сепараторів бульб картоплі, розвантажувального конвеєра.

Сошник встановлений на рамі 2, яка з'єднана з основною рамою шарнірного відцентрово-напірного розділювача, що складається з основної лопаті підйомника 4 і лопаті підйомника 5. На відміну від попередньої машини, верхня гілка підйомника не нахилена вниз, а нижня гілка, навпаки, розміщена під кутом підйому. В результаті бульби піднімаються на необхідну висоту в процесі сепарації [54].

У такому положенні зручно встановлювати поперечний розвантажувальний транспортер на раму комбайна. Тому бульби не падають на землю, а за допомогою конвеєра подають у невеликі ємності, які можна

замінювати в дорозі або в контейнер, що рухається поруч із комбайном.

Технологічний процес подібний до процесу відділення бульб від землі та бадилля в картоплезбиральних комбайнах. У польових випробуваннях виявлено один незначний недолік. Фракція ґрунту, просіяна на елеваторі, безперервно потрапляє на приймальну частину головного елеватора і накопичується на поверхні, що надходить до елеватора.



## **РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ КАРТОПЛЯНОГО ВОРОХУ З РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ КОМБАЙНА**

### **2.1 Розробка конструктивної схеми сепараційного пристрою**

В процесі пошуку раціональної конструкції сепараційного пристрою картоплезбирального комбайна спочатку зупинили вибір на сепараторі відцентрово-натискного типу. У цьому пристрої процес сепарації, крім сили тяжіння, активізується за рахунок дії відцентрової сили і сили обтискування вороху в кільцевому каналі.

Комбайни, побудовані на основі відцентрово-натискного сепаратора, за всіма показниками роботи перевершують відомі комбайни, побудовані за традиційною схемою. При цьому в декілька разів зменшуються габаритні розміри комбайна і, відповідно, маса.

Однак інтенсифікація процесу сепарації сировини за рахунок дії відцентрових сил, як правило, призводить до ушкодження бульб. Крім того, просіяна на прийомному елеваторі 3 (рис. 2.1 а) фракція ґрунту безперервно потрапляє на поверхню приймальної частини основного елеватора 2 і збільшує величину сировини що надходить [61]. Це відбувається через те, що верхня вітка елеватора, що піднімає ворох 2, огинаючи валець 7, нависає над прийомним елеватором 3.

В результаті аналізу особливостей існуючих конструкцій було запропоновано конструктивне рішення, що базується на іншому принципі сепарації, що нівелює вказаний недолік (рис. 2.1 б) [2, 25, 26].

Спрямувавши ворохо-піднімальний 2 і клубне-приймальний 3 елеватори проти напрямку руху агрегату, ми отримали принципово новий сепараційний пристрій, що відділяє бульби і бадилля від ґрунтової маси у висхідному потоці. У новому пристрої не ґрунт відділяється від бульб, а навпаки, бульби відсікаються від потоку ґрунтової маси, що рухається. Зникає необхідність просіювання всієї ґрунтової маси через решета. Це дозволяє скоротити технологічний шлях руху бульб і бадилля в процесі сепарації [2].

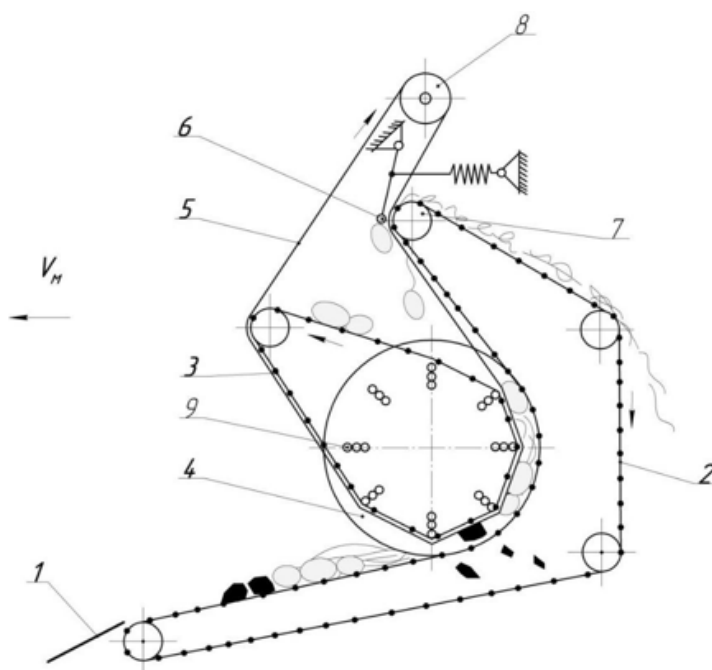
Як видно на рис. 2.1, сепараційні робочі органи складаються з одних і тих же конструктивних елементів. Змінено їх розміщення у просторі, форми і розміри сепараційних елеваторів. У запропонованій конструкції ворохо-піднімальний елеватор 2 (рис. 2.1 б) огинає елементи конструкції, як в попередньому варіанті (рис. 2.1 а), а розташований під кутом до горизонту. Леміш 1 (рис. 2.1, б) розміщений між двома дисками 4, які одночасно є і підрізаними робочими органами. Диски з'єднані між собою штифтами 9. Елеваторне полотно 3, що є клубне-приймним, огинає дані стрижні і проходить через провідний 10 і направляючий вал 11.

Паси розділювача бадилля 5 в районі дисків 4 огинають ту ж зону, що й клубне-піднімальне полотно 3, а у верхній зоні, в секторі ведучого валу 7 ворохо-піднімального елеватора, відтягнуті назад. Для цього використаний направляючий валець 8. Це дозволяє нижнім гілкам роздільника дотикатися з штифтами ворохо-піднімального елеватора.

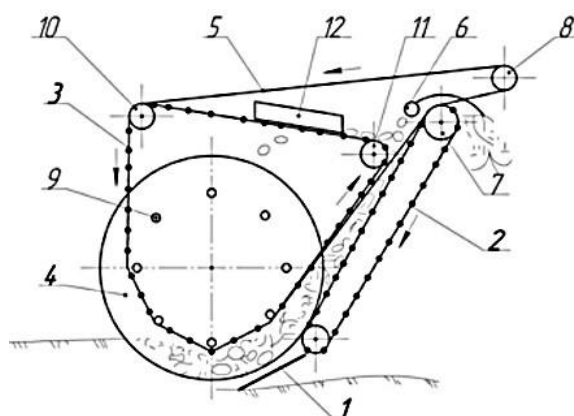
Леміш 1 підкопує несучий пласт і відокремлює його від основної маси ґрунту. Обертові диски 4 підрізають коріння, залишки бур'янів рослинності і сприяють переміщенню пласта на ворохо-піднімальний елеватор 2 без розвалювання.

За ворохо-піднімальним елеватором 2 пласт з бульбами піднімається вгору, утримується пасами роздільника 5 і прутками клубне-приймного елеватора 3. Відстань між елеваторами 2 і 3 у міру підйому зменшується, утворюючи підйомно-опускаючу активну зону сепарації. При цьому пласт руйнується, бульби відриваються від бадилля. Основна частина грудок ґрунту при проході між прутами елеваторів 2 і 3 в зоні їх найбільшого зближення руйнується [20].

Далі, на верхній вільній похилій ділянці бульби, звільнившись від передньої опорної поверхні (прутків елеватора 3), відокремлюються від маси сировини, притиснутою пасами розділювача 5, скочуються вниз і підхоплюються верхньою горизонтальною гілкою клубне-приймного елеватора 3.



а



б

Рисунок 2.1 – Схеми досліджуваних сепараторів: а – відцентрово-вичавної дії; б – підіймно-опускаючої дії: 1 – леміш; 2 – ворохо-підіймний елеватор; 3 – клубне-приймний елеватор; 4 – диск; 5 – паси розділювача; 6 – бадиле-відбійний пруток; 7 – привідний вал ворохо-підіймний елеватор; 8 – направляючий валець; 9 – стрижень; 10 – привідний вал; 11 – направляючий вал; 12 – відбивач.

Чисті бульби картоплі, переміщаючись по ній, зупиняються об відбивач 12, змінюють напрямок руху на  $90^\circ$  і скочуються на похилий лоток, по якому поступають в тару [2, 26].

Частина ґрунту, що залишилася, бадилля і рослинні залишки, притиснуті роздільними пасами 5 до прутків елеватора 2, піднімаються до верхньої точки і перекидаються назад по ходу агрегату. Весь технологічний процес відділення бульб від ґрунту відбувається на відстані приблизно 1 метр.

## 2.2 Дослідження процесу відділення бульб у висхідному потокові

При підйомі (сходженні) клубне-несучої купи сировини, укладеного між гілками ворохо-підйомного і клубне-приймного елеваторів, які поступово сходяться, спостерігається безперервний процес відриву бульб від бадилля. Пояснити це явище можна тим, що на бульби безперервно діють сили тяжіння, як самих бульб, так і сировини падаючої вниз.

Крім того, можна виокремити чотири характерні зони технології процесу (рис. 2.2): I – зона переходу клубне-несучого пласта ґрунту з леміша на ворохо-підйомний елеватор; II – зона підйому і проходження купи в місці максимального зближення гілок ворохо-підйомного і клубне-приймного елеваторів; III – зона сходження ременів бадилевідділювача з поверхнею ворохо-підйомного елеватора; IV – зона зустрічі бульб з клубне-відбійним прутком.

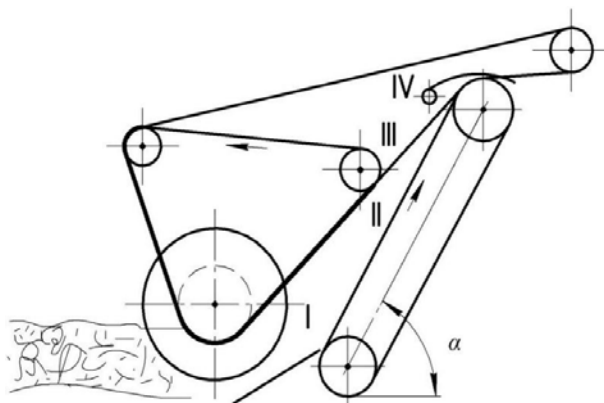


Рисунок 2.2 – Зони технологічного процесу

В зоні I (рис. 2.3) переходу клубне-несучого пласта ґрунту з леміша на ворохо-підйомний елеватор швидкість компонентів купи змінюється різко від нуля до величини швидкості руху елеватора. Причому бадилля набуває такої швидкості, раніше бульб. Виникаючі при цьому інерційні сили мають різну величину, що призводить до розриву пагонів.

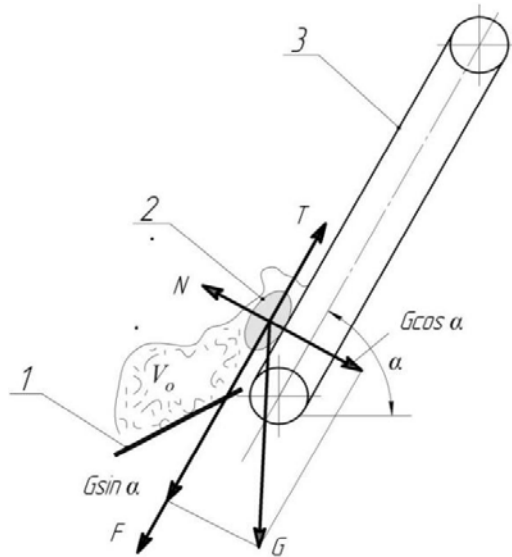


Рисунок 2.3 – Сили, що діють на бульбу в зоні I: 1 – леміш; 2 – бульба; 3 – елеватор

Для визначення величини розривної сили  $T$  скористаємося теоремою, яка стверджує, що зміна кінематичної енергії матеріальної точки за певний проміжок часу дорівнює сумі робіт доданих до неї сил на відповідному переміщенні [78].

Прийmemo бульбу за матеріальну точку, до неї прикладена активна сила  $G$ . Відкинемо в'язь – похилу поверхню елеватора, замінивши її нормальною реакцією  $N$  і силою тертя  $F_{тр}$ , спрямованою в даному випадку проти руху бульби.

Складемо рівняння зміни кінетичної енергії бульби для шляху переходу з леміша на елеватор  $S$ . Тиск, який чиниться на бульбу [14, 61]:

$$\frac{mV_e^2}{2} - \frac{mV_0^2}{2} = (T - F_{mp} - G \sin \alpha) \cdot S \quad (2.1)$$

(2.2)

$$F_{mp} = fG \cos \alpha$$

(2.3)

$$T = G \left( \frac{v_e^2 - v_0^2}{2g} + f \cos \alpha + \sin \alpha \right)$$

Для визначення величини розриву з'єднань сила  $T$  використовували такі дані:  $G = mg = 0,15 \cdot 9,8 = 1,47$  Н;  $v_e = 1,7$  м / с;  $v_0 = 0$ ;  $S = 0,1$  м;  $f = 0,74$ ;  $\alpha = 450$  [26]. Отримали  $T = 33,1$  Н.

У II зоні (рис. 2.4) під час підйому за рахунок зближення двох елеваторів, матеріал ущільнюється та зменшується його товщина. Компоненти купи: грудки, ґрунт, бадилля, рослинні домішки – деформуються і постійно знаходяться в «пульсуючому» потоці (втрачають свою швидкість і прагнуть скотитися вниз, але зустрівшись з висхідним потоком, піднімаються вище). Таке явище супроводжувалося розривом зв'язку з бульбою. Величини діючих сил впливають на ступінь деформації бадилля.

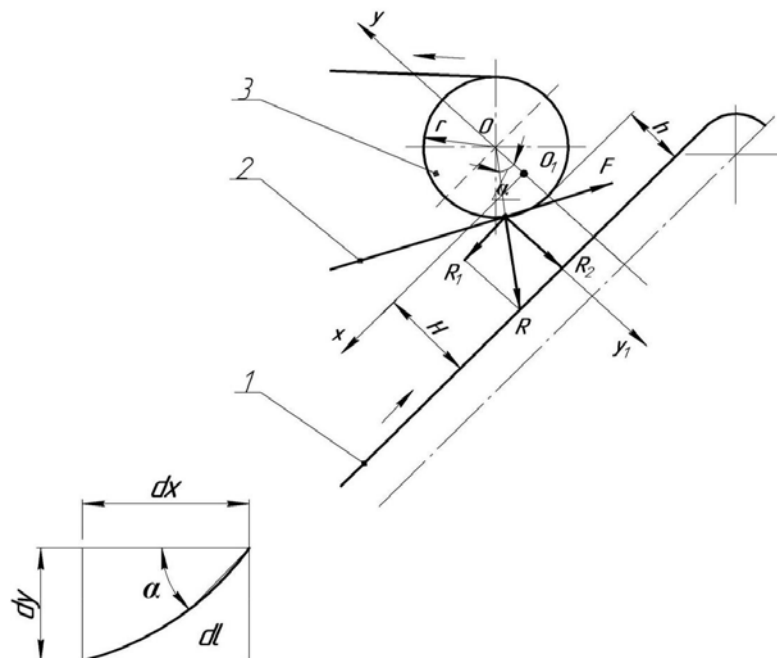


Рисунок 2.4 – Сили, що діють на бульбу в зоні II: 1 – ворохо-підйомний елеватор; 2 - ремінь клубне-прийомного елеватора; 3 - вал.

Товщина клубневої купи  $H$  в процесі підйому звужується до величини  $h$  (величина максимального розміру бульби). Вибравши початок координат  $O_1$  в точці перетину діаметра, перпендикулярного до площини руху купи виділимо на дузі кола прийомного елеватора елементарний відрізок.

На поверхні елеватора шириною  $b$  виділимо елементарну поверхню  $ds = bdl$ , яку можна вважати прямокутником. Тоді елементарна сила реакції на цю поверхню дорівнює [2]:

$$dR = qb \cdot dl \quad (2.4)$$

де  $q$  - коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту, Н / м<sup>3</sup>.

При зменшенні товщини ворохової купи в межах пропорціональності, коли питомий опір зростає, визначимо величину деформації:

$$G = q \cdot dy, \quad (2.5)$$

де  $dy$  – лінійна деформація ґрунту.

Частина сегмента з елементарними сторонами  $dl, dy, dx$  можна прийняти за трикутник, у якого кут між сторонами  $dl, dx$  дорівнює центральному куту  $\alpha$  (як кут між взаємно перпендикулярними сторонами), тоді:

$$dl = dy \cdot \sin\alpha, \quad (2.6)$$

Підставивши вираз для елементарної сили значення  $q$  і  $dl$ , отримаємо:

$$dR = b \cdot q \cdot y \cdot \frac{dy}{\sin\alpha}, \quad (2.7)$$

В результаті інтегрування отримаємо:

$$R = \frac{b \cdot q (H-h)^2}{2 \sin\alpha}, \quad (2.8)$$

де  $b$  – ширина елеватора, м;  $y$  - деформація по осі  $OO_y$ ;  $H$  - товщина ворохової купи, м;  $h$  - відстань найбільшого зближення елеваторів, м.

За умови рівноваги, сила опору затягування ворохової купи в зону максимального звуження елеваторів  $h$ :

$$R_1 = R \sin\alpha = \frac{bq(H-h)^2}{2} \quad (2.9)$$

Сила опору  $R_2$ , спрямована перпендикулярно площині руху ворохової купи, дорівнює [60]:

$$R_2 = R \cos \alpha = bq(H - h)^2 \cdot ctq\alpha, \quad (2.10)$$

Питомий тиск на купу можна отримати поділом сили  $R_2$  на площу прямокутної форми, довгою стороною якого є ширина ворохової купи, короткою – проекція дуги контакту вітки приймального елеватора з ворохової купи на площину підйомного елеватора:

$$p = R_2 \div \frac{H-h}{tg\alpha}, \quad (2.11)$$

$$p = \frac{b \cdot q(H-h)^2 ctq\alpha}{2} \div \frac{(H-h) \cdot b}{tg\alpha}, \quad (2.12)$$

$$p = \frac{q(H-h)}{2}, \text{ Н/см}^2 \quad (2.13)$$

Знаючи величину питомого тиску, що виникає в масі ворохової купи, неважко визначити зусилля, що діє на бульбу [22]:

$$P_{\text{кл}} = p \cdot F, \quad (2.14)$$

де  $F$  – перетин бульби, (м<sup>2</sup>); значення якого можна прийняти мінімальними:

$$F = \pi r^2, \quad (2.15)$$

де  $r$  - радіус поперечного перерізу круглої бульби, м.

$$P_{\text{кл}} = \frac{\pi r^2 q(H-h)}{2}, \text{ Н} \quad (2.16)$$

Під дією сили  $P_{\text{кл}}$  бульба зміщується всередині рухомої ворохового потоку в поперечному напрямку. При значному зміщенні бульба відривається від бадилля.

Однак масовий відрив бульб відбувається під дією протидії сили  $R_1$ . Бадилля стискається і легко проходить через вузьку щілину, а бульби чинять опір як в поздовжньому, так і поперечному напрямку. Важливо, щоб цей опір не був причиною пошкодження бульб.

Внаслідок цього для зменшення складових сили опору  $R_1$  і  $R_2$  необхідно передбачити пристрій для регулювання величини мінімального проміжку між вітками підйомного і приймального елеваторів.



Приклад розрахунку зусилля, що діють на бульбу. При:  $m = 0,15$  кг;  $r = 0,05$  м;  $q = 0,3 \cdot 10^6$  Н / м<sup>3</sup>;  $H = 0,25$  м;  $h = 0,125$  м [25], отримали  $P_{кл} = 1,47$  Н. Максимально допустимий тиск  $P_{max} = 700$  Н [58].

В III зоні (рис. 2.2) корінці перерізаються і бульби відсікаються пасами круглого перерізу при їх сходженні з поверхнею пруткового елеватора. Сила, що діє на корінці, залежить від натягу пасів. Відокремлені бульби витискаються на поверхню рухомого вгору потоку ворохової купи і, скочуючись вниз, надходять на поверхню клубне-приймного елеватора. За допомогою пасів потік купи разом з притиснутим бадиллям зверху по ходу машини.

Отже, ремені, розміщені з інтервалом 10 ... 12 см, виконують три функції: відсікають бульби від бадилля; вичавлюють бульби на поверхню потоку купи; утримують потік ґрунту з бадиллям при сходженні його з кінця ворохо-підйомного елеватора.

В IV зоні на верхньому кінці піднімального елеватора розміщений відбійний пруток. Пруток відокремлює в основному дрібні частинки та ті, що не відірвалися від коріння бульби. Крім того, пруток запобігає викиданню вільних бульб разом з бадиллям і ґрунтом з кінця піднімального транспортера, що забезпечується щитком.

Розглянемо, випадок, коли бульба масою  $m$ , вдаряється об нерухомий стрижень. Діюча на бульбу ударна сила буде при цьому рівною реакція стрижня (прутка). Імпульс цієї сили за час удару назовемо  $J$ .

Якщо нормаль до поверхні бульби в точці його дотику зі стрижнем проходить через центр мас, то удар буде прямим. В цьому випадку [63]:

$$J = m(1 + k)V, \quad (2.17)$$

де  $k$  – коефіцієнт відновлення;  $V$  – швидкість удару, м / с.

Так при розрахунках  $m = 0,08 \dots 0,1$  кг;  $V = 1,5 \dots 3,0$  м / с;  $k = 0,6 \dots 0,76$  [26] маємо  $J = 0,192 \dots 0,528$  Н · с.

## 2.3 Обґрунтування кута нахилу підйомного елеватора

Пристрій для відділення бульб від бадилля, рослинних домішок, ґрунту в процесі руху ворохової купи по похилій поверхні складається з двох ділянок

На нижній ділянці рух віток елеватора направлено в одну сторону, а інтервал між цими гілками в міру підйому зменшується. На висоті розміщення направляючого валика ворохової купи елеватора вітки розходяться, внаслідок чого напрямки швидкостей змінюються. Що приводить до розшарування ворохової купи.

Вивільнені на нижній ділянці від бадилля бульби частково підхоплюються на горизонтальній вітці прийомного елеватора. Однак більша частина бульб по інерції захоплюються вгору по похилій вільній поверхні потоку ворохової купи що рухається, а потім скочуються вниз. Кут кочення бульб залежить від кута нахилу поверхні елеватора. При певному куті нахилу елеватора, разом з бульбами будуть скочуватися і компоненти ґрунту, перш за все грудки, і потрапляти на клубне-приймний елеватор.

Необхідно визначити кут нахилу підйомного елеватора, при якому не буде відбуватися скочування грудок вниз.

Розглянемо рівновагу бульби при наступних припущеннях: бульба має кулясту форму, а площина кочення нерухома (рис. 2.5).

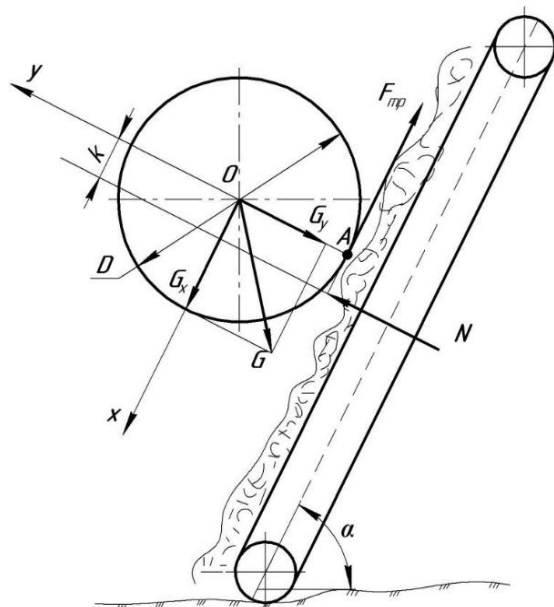


Рисунок 2.5 – Схема діючих на бульбу сил з урахуванням опору коченню

До бульби прикладена активна сила  $G$ . Відкинемо в'язі з площиною, замінивши її реакціями  $N$  і  $F_{\text{тр}}$  [66]. Розклавши  $G$  на дві складові по осях координат  $G_x = G \sin \alpha$ ,  $G_y = G \cos \alpha$ , отримаємо, що  $G_x$  прагне повернути бульбу,  $G_y$  разом зі зміщеною нормальною реакцією  $N$  перешкоджає цьому.

Складемо рівняння рівноваги проєкцій на осі  $Y$  і моментів відносно точки  $A$  для випадку граничної рівноваги [66]:

$$\left. \begin{array}{l} \sum Y = 0 \\ \sum M_A = 0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} -G \cos \alpha + N = 0 \\ G \frac{D}{2} \sin \alpha - Nk = 0 \end{array}$$

З першого рівняння слід  $N = G \cos \alpha$ , тоді:

$$G \frac{D}{2} \sin \alpha - Nk \cos \alpha = 0$$

$$\text{tg} \alpha = \frac{2k}{D} \text{ або } k = \frac{\text{tg} \alpha \cdot D}{2},$$

(2.18)

де  $D$  – діаметр бульби, м;  $k$  - коефіцієнт тертя кочення.

Величина кута нахилу підйомного елеватора залежить від розмірів бульб і значень коефіцієнта тертя кочення.

Значення кута нахилу, коефіцієнтів тертя кочення бульб і грудок ґрунту, що скочуються по підйомному елеватору, необхідно визнати експериментальним шляхом.

## 2.4 Обґрунтування довжини ділянки вільного скочування бульб

При збиранні картоплі, що сходить з леміша 1 (рис. 2.1, б) пласт ґрунту, захоплюється рухомими вітками елеваторів: ворохо-підйомного 2 і бульбо-прийомного 3 [21].

В процесі підйому по похилій поверхні під дією сили тяжіння, інерційних і реактивних сил бульби відриваються від бадилля, пласт (порох) ущільнюється, внаслідок чого руйнується частина ґрунтових грудок.

Все це відбувається на нижній ділянці, де швидкості руху гілок елеваторів спрямовані в одну сторону, а інтервал між елеваторами в міру підйому зменшується. На висоті розміщення направляючого валика 4 (рис. 2.6)

гілки елеваторів 1 і 3 розходяться, внаслідок чого напрямки швидкостей змінюються.

Вивільнені від бадилля бульби частково підхоплюються верхньою горизонтальною віткою елеватора 3. Основна частина бульб по інерції захоплюється вгору по похилій вільній поверхні рухомого потоку і потім котиться вниз [25].

В початку підйому, швидкості потоку і бульб однакові, а в міру збільшення швидкості бульб рівно-прискорено знижується. Після закінчення якогось часу швидкість бульби стає рівною нулю (тобто він на мить зупиняється), після чого бульба починає спускатися, набираючи швидкість. У верхній точці швидкості будуть дорівнювати нулю і у тих бульб, які відриваються від бадилля за допомогою клубне-відбійного штифта.

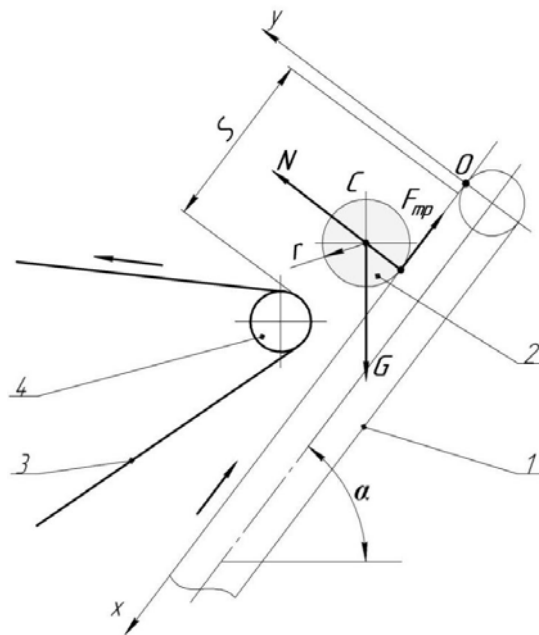


Рисунок 2.6 – До обґрунтування довжини ділянки вільного скочування бульб: 1 – ворохо-підйомний елеватор; 2 – бульба; 3 – бульбо-прийомний елеватор; 4 - направляючий вал.

При сповільненому поступальному русі пройдений шлях  $S$  (рис. 2.6) визначиться за формулою:

$$S = \frac{0.5(v_k^2 - v_0^2)}{a_c},$$

(2.19)

де  $V_k$  і  $V_0$  – кінцева і початкова швидкість бульби, м / с;  $a_c$  – лінійне прискорення, м / с<sup>2</sup>.

Лінійне прискорення  $a_c$  може бути знайдено, як без урахування опору коченню, так і з його урахуванням. При цьому зробимо допущення, що продовгуваті бульби мають форму циліндра. На (рис. 2.6) зображені діючі на бульбу сили:  $G = mg$  – сила тяжіння;  $F$  – найменша сила тертя, при якій можливо кочення без ковзання;  $N$  – реакція поверхні, прикладена в точці дотику. Ось  $Ox$  спрямована вздовж похилої площини, а вісь  $Oy$  перпендикулярно їй. Так як уздовж осі  $Oy$  центр бульби не переміщається, то  $a_c = 0$ , отже:

$$N = G \cos \alpha, \quad (2.20)$$

І вважаючи момент додатним, коли він направлений в сторону обертання бульби, отримаємо:

$$\begin{aligned} mg_c &= G \cos \alpha - F, \\ I_c \varepsilon &= Fr, \end{aligned} \quad (2.21)$$

де  $I_c$  – момент інерції бульби, кг · м<sup>2</sup>;  $\varepsilon$  – кутове прискорення, с<sup>-2</sup>(рад / м<sup>2</sup>);  $r$  – радіус бульби, м.

Прискорення містить три невідомих:  $a_z$ ,  $\varepsilon$  і  $F$ .

З огляду на те, що при чистому коченні  $V_c = \omega r$  та для суцільного тіла циліндричної форми  $I_c = 0,5mr^2$ , отримаємо вираз для розрахунку сили тертя, під дією якої бульба буде котитися без ковзання [14]:

$$F = \left(\frac{mg}{3}\right) \sin \alpha$$

$$f \geq (tg \alpha) / 3$$

З урахуванням опору кочення. У цьому випадку реакція  $N$  буде зміщена в сторону руху на величину  $k$  і її момент відносно центру  $C$  дорівнюватиме  $kN$ , отже:

$$F = \left(\frac{mg}{3}\right) \sin \alpha + \left(\frac{2k}{r}\right) \cos \alpha, \quad (2.22)$$

$$f \geq \left[ \frac{(\operatorname{tg} \alpha)}{3} + \frac{2k}{3r} \right], \quad (2.23)$$

Звідки шлях  $S$  (довжина ділянки) вільного скочування бульб визначиться за формулою:

$$S = \frac{4(v_k^2 - v_0^2)}{[3g((\sin \alpha - k)/(r \cdot \cos \alpha))]}, \quad (2.24)$$

$k = 0,06$  м;  $r = 0,03$  м [14] довжина ділянки вільного підйому і скочування бульб складе  $S = 0,47$  м.

## 2.5 Опір руху леміша картоплезбирального комбайна

При визначенні опору руху леміша будемо дотримуватися припущення: леміш має прямолінійну робочу поверхню, лезо – абсолютно гостре. Відрізаний пласт має перетин прямокутної форми [35].

При підрізанні лемішем клубне-несучого пласта ґрунту, на грань АВ (рис. 2.7)

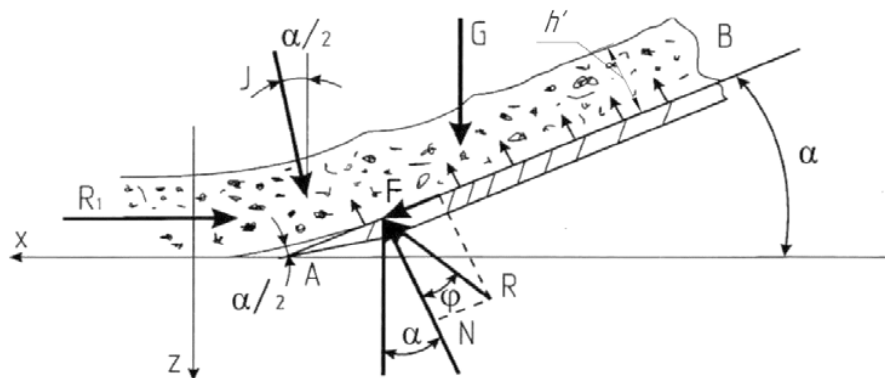


Рисунок 2.7 – Схема сил на підрізання пласта

Діють сили:  $R_1$  – реакція недеформованою ґрунту, що знаходиться попереду клина,  $J$  – динамічний тиск, залежний від величини сили інерції пласта ґрунту,  $G$  – сила тяжіння пласта,  $R$  – результуюча елементарних нормальних сил  $N$  і сил тертя  $F$  на робочій поверхні леміша.

$$\left. \begin{aligned} \sum X &= -R_1 - J \sin \frac{\alpha}{2} + R \sin(\alpha + \varphi) = 0 \\ \sum Z &= J \cos \frac{\alpha}{2} + G - R \cos(\alpha + \varphi) = 0 \end{aligned} \right\}$$

Вирішуючи друге рівняння щодо R, отримаємо:

$$R = \frac{G}{\cos(\alpha + \varphi)} + \frac{J \cos \frac{\alpha}{2}}{\cos(\alpha + \varphi)},$$

Підставляючи значення R в перше рівняння і, вирішуючи його відносно R<sub>1</sub>, Маємо:

$$R_1 = G \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + J \left[ \cos \frac{\alpha}{2} \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) - \sin \frac{\alpha}{2} \right], \quad (2.25)$$

проекціями сили R на осі x і z будуть:

$$R_x = G \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + J \cos \frac{\alpha}{2} \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi),$$

$$R_z = G + J \cos \frac{\alpha}{2},$$

$$G = mg = h' b L p g.$$

де h' - товщина клубне-несучого пласта, м; b – ширина пласта, м; L – довжина робочої поверхні леміша, м; P – щільність ґрунту, кг / м<sup>3</sup>.

Динамічний тиск пласта обумовлено швидкістю руху агрегату і силою інерції [66]:

$$J = \bar{a} \cdot m,$$

де a – середнє прискорення, що повідомляється лемішем пласта, м / с<sup>2</sup>.

$$\bar{a} = \frac{V_\alpha - V_o}{t_2 - t_1} = \frac{V_o}{t_2 - t_1},$$

де t<sub>2</sub>, t<sub>1</sub> – час проходження частинки ґрунту шляху L по леміш, с; V<sub>o</sub> і V<sub>α</sub> - початкова і кінцева швидкості, м / с.

$$\bar{a} = 2bh'pV^2 \sin \frac{\alpha}{2},$$

$$J = 2bh'pV^2 \sin \frac{\alpha}{2}.$$

Підставляючи значення сил G і J в формулу, визначальну значення R<sub>x</sub>,

отримаємо [2]:

$$R_x = bh' L p g \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + bh' p V^2 \sin \alpha \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \quad (2.26)$$

Таким чином, загальний опір руху леміша рівне:

$$R_{\text{л}} = R_1 + R_{xx}$$

Або

$$R_{\text{л}} = bh' L p q \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + 2bh' p V^2 \sin \frac{\alpha}{2} \left[ \cos \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) - \sin \frac{\alpha}{2} \right] + bh' L p q \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + bh' p V^2 \sin \alpha \operatorname{tg}(\alpha + \varphi). \quad (2.27)$$

Приклад розрахунку з наступними даними:  $b = 0,5$  м;  $h' = 0,15$  м;  $L = 0,5$  м;  $p = 1500$  кг / м<sup>3</sup>;  $\alpha = 240$ ;  $\varphi = 28^\circ$ ;  $V = 0,88$  м / с отримаємо  $R_{\text{л}} = 1,41$  кН.

Розрахункове значення опору руху леміша в залежності від товщини бульбо-несучого пласта наведені в таблиці 2.1 і на ( рис. 2.8).

Таблиця 2.1 – Значення опору руху леміша в залежності від товщини клубне-несучого пласта

Товщина клубне-несучого пласта, $h'$ , м	Опір руху леміша, $R_{\text{л}}$ , кН
0,15	1,41
0,18	1,70
0,21	1,97
0,24	2,26

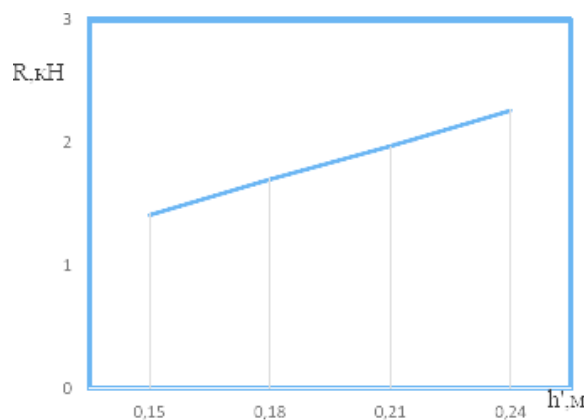


Рисунок 2.8 – Зміна опору руху леміша в залежності від товщини несучого пласта



## 2.6 Опір руху складових сепараційного пристрою

Сепараційний пристрій складається з двох основних частин: ворохо-підйомного елеватора 1 (рис. 2.9) і бульбо-приймального елеваторного полотна 2. В перехідній зоні від лемішів до ворохо-підйомного елеватору 1 руху клубне-несучого пласта сприяють диски 3. Диски частково входять в міжрядну смугу, прутки нижньої гілки клубне-приймального елеватора перекочуються по поверхні гребня, частково руйнуючи його.

Опір руху елеваторного полотна і дисків в процесі роботи складається з наступних складових [2, 22, 58]:

- сили тяжіння  $qt$  погонного метра рухомих частин елеваторного полотна, Н;
- подачі  $qt$  клубненої маси, кг / с;
- опору руху на прямолінійних ділянках елеватора, Н;
- опору руху полотна по опорах  $W$ , що складається з опору тертя в підшипниках і перекочування полотна по роликів, Н;
- сили тертя об бічні поверхні дисків, Н.

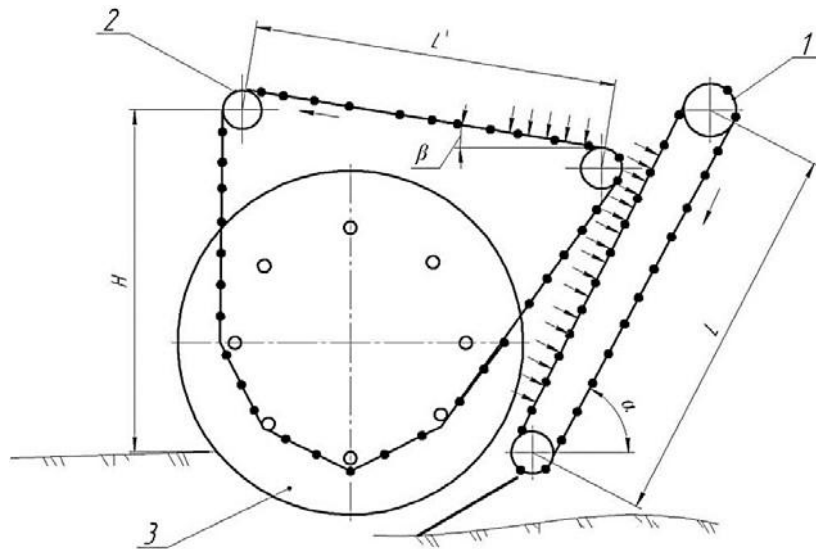


Рисунок 2.9 – Схема до визначення опору руху елеваторного полотна: 1 – ворохо-підйомний елеватор; 2 – клубне-приймальний елеватор; 3 – диск.

Погонний вага рухомих частин пруткового полотна без урахування ваги несущих ременів дорівнює [21]:

$$q_n = q_{np} \cdot z \cdot g, \quad (2.28)$$

де  $q_{np}$  – маса одного прутка, кг;

$z$  – число прутків на 1 м;

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

Подача  $q_m$  бульбо-несучої маси може бути виражена формулою:

$$q_m = \rho_{сл} \cdot BB \cdot h_{сл} \cdot V, \quad (2.29)$$

де  $\rho_{сл}$  – щільність розпушеної маси бульбо-несучого шару, кг / м<sup>3</sup>;

$B$  – ширина пласта, що надходить в машину, м;

$h_{сл}$  – товщина шару, подана на сепаратор, м;

$V$  – швидкість машини, м / с.

Опір руху на прямолінійній ділянці ворохо-підйомного елеваторного полотна діє уздовж ділянки по всій довжині  $L$ . Крім того, опори виникають на поворотних пунктах, на приводному верхньому валу і нижніх направляючих роликах.

Для визначення опору на прямолінійній ділянці (навантаженої вітки) скористаємося формулою [21]:

$$W_{zp} = (q_n + q_z)L_p \sin \alpha + (q_n + q_z + q_k)L_p f \cos \alpha. \quad (2.30)$$

Для зворотної ділянки елеватора:

$$W_{обп} = q_n L_x (\sin \alpha + f \cos \alpha), \quad (2.31)$$

де  $LL_p$ ,  $LL_x$  – довжини розглянутих робочого і холостого прямолінійних віток елеватора, м;  $\alpha$  – кут нахилу гілки до горизонту, град;  $q_n$  – маса погонного метра прутків, кг;  $q_b$  – маса погонного метра вантажу, кг;  $q_б$  – маса бульб, кг;  $f$  – коефіцієнт опору.

Опір на роликах, зірочках складається в основному з опору тертю в підшипниках вала і опір жорсткості (опору вигину) тягового елемента.

Опір в підшипниках вала визначається виразом [65]:

$$W_B = (S_{нб} + S_{сб} + G_z) \frac{d\mu}{D}, \quad (2.32)$$

де  $S_{нб}$ ,  $S_{сб}$  – площа натягу тягового елемента в точках набігання і збігання, Н;

$G_z$  – вага роликів або зірочок, Н;

$d$  – діаметр вала, цапфи, м;

$D$  – діаметр ролика, зірочки, м;

$\mu$  – коефіцієнт тертя в підшипниках;

Наближено, нехтуючи вагою  $G_3$  і вважаючи, що  $S_{нб} = S_{сб}$ , маємо:

$$W_B = 2 \cdot S_{нб} \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{d\mu}{D}, \quad (2.33)$$

Загальний опір ворохо-підйомного елеватора:

$$W_{ов} = (S_{нб} \approx S_{сб}) + W_B + W_p$$

Загальний опір руху клубне-прийомного елеватора 2 ( $WW_{ок}$ ) складається з таких складових:

- розподілений опір бульб картоплі приблизно на половині верхньої гілки елеватора;
- зосереджений опір на трьох поворотних пунктах: на ведучому валу, що направляє вал і підшипники валу підйомно-викопуючих дисків.

Розраховується цей опір за формулами (2.28, 2.30-2.33). сумарний опір ворохо-підйомного і клубне-прийомного елеваторів:

$$W_{сум} = W_{ов} + W_{ок}, \quad (2.34)$$

Потужність, споживана елеваторами:

$$N = \frac{W_{сум} \cdot V}{9560} \quad (2.35)$$

де  $V$  – окружна швидкість елеваторів, м / с.

Результати розрахунків опорів елеваторів представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати розрахунків опорів елеваторів

№ п /п	Найменування параметрів	Одиниця виміру	значення параметрів
1.	Опір на ворохо-підйомному елеваторі	кН	1,028
2.	Опір на бульбо-прийомному елеваторі	кН	0,44
3.	Загальний опір елеваторів	кН	1,468

## **РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ МАЛОГАБАРИТНОГО КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА**

### **3.1 Лабораторне обладнання та приладдя**

Об'єктами дослідження виступили:

- на першому етапі, експериментальна установка для визначення кута нахилу, довжини і швидкості руху ворохо-підйомного елеватора;
- на другому етапі, дослідний зразок малогабаритного картоплезбирального комбайна з сепараційним пристроєм.

Експериментальна установка (рис. 3.1) складається з рами 2, опорних коліс 1, дисків 3, двигуна 8, рамки 12, ворохо-підйомного елеватора 13.

Ворохо-підйомний елеватор являє собою пруткове полотно, виконане з пружинної сталі. Воно закріплено на рамці 12 і звільнено від жорсткого зв'язку з основною рамою 2. Цей зв'язок замінений 2-х шарнірною підвіскою 6 у вигляді плоских пластин. Завдяки наявності прорізу в пластинах можна регулювати кут нахилу елеватора відносно горизонтальної площини.

Привід на вал ворохо-підйомного елеватора 13 здійснюється від двигуна постійного струму 8 через ланцюгову передачу 10 і зірочку 11. Наявність випрямляча, забезпеченого реостатом, дозволяє змінювати безступінчасту швидкість руху пруткового полотна в широкому діапазоні. Для визначення кута початку скочування бульб, грудок ґрунту призначений транспортер 4. Також до рамки 12 прикріплена лінійка 9 для визначення відстані підйому бульб і ґрунту від початку руху до початку скочування при певному куті нахилу.

Експериментальні дослідження проводились на основі відомих методик [27, 58].

При проведенні експериментальних досліджень застосовувалися наступні прилади та обладнання: твердомір Ревякіна  $\pm 0,5\%$  (ТУ 431133-019-00860599-2002); автоматичний ґрунтовий пробовідбірник «HYDRO 20»

(Німеччина); вимірювальний комплект К-505; двигун постійного струму 11394, № 152183; випрямляч ВСА-111К, № 121347; технічні лабораторні ваги ЕТ-П-М,  $\pm 0,01$  мм (ГОСТ 24104-2001); динамометр ДПУ-2; рулетка Р-10 УЗК; лінійка металева 0 ... 1000 мм; штангенциркуль 0 ... 160 мм; секундомір (годинник); ваги; котушка з стрічкою (10 × 0,7 м); змінні зірочки (Z = 15, 22, 25, 27); відеокамера.

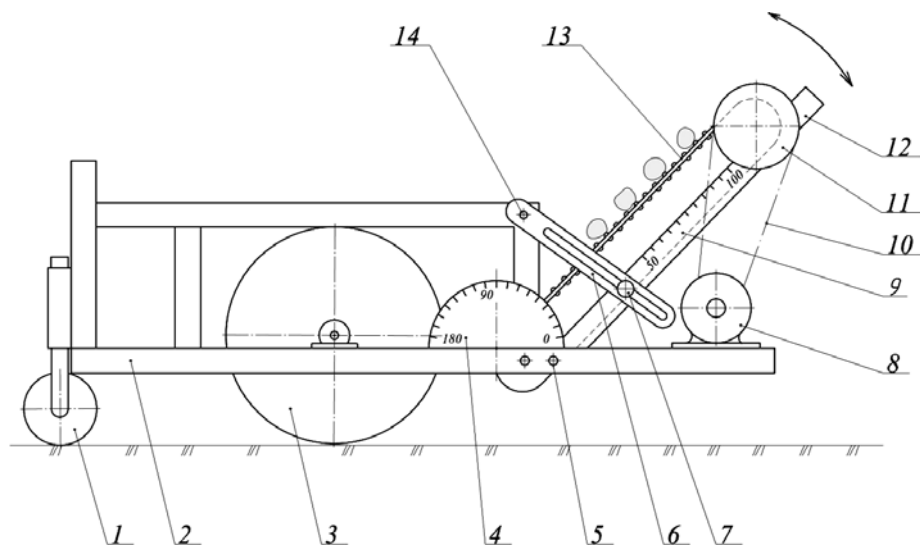


Рисунок 3.1 – Схема експериментальної установки: 1 – опорне колесо; 2 – рама; 3 – диск; 4 – транспортер; 5, 14 – вісь; 6 – підвіс; 7 – палець; 8 – двигун; 9 – лінійка; 10 – ланцюгова передача; 11 – зірочка; 12 – рамка; 13 – ворохопідіймний елеватор.

Лабораторні дослідження проводилися з картопляним ворохом, у якому помістились наступні фракції картоплі:

- дрібні круглі (діаметром 45 ... 50 мм) - 20 шт;
- дрібні довгасті (~ 39 × 52 × 32 мм) - 20 шт;
- середні круглі (діаметром 55 ... 60 мм) - 20 шт;
- середні довгасті (~ 52 × 71 × 41 мм) - 20 шт .;
- великі круглі (діаметром 75 ... 80 мм) - 20 шт .;
- великі довгасті (~ 70 × 141 × 59 мм) - 20 шт;

грудки ґрунту:

- округлі дрібні (~ 1 кг);
- округлі великі (~ 2 кг);

- безформені дрібні (~ 1 кг);
- безформені великі. (~ 2 кг);

### 3.2. Проектування і створення дослідного зразка малогабаритного картоплезбирального комбайна

Наступним етапом досліджень стало проектування 3D-моделі в ліцензованій програмі «Компас» (рис. 3.2). Це полегшило завдання в виготовленні і доопрацюванні дослідного зразка малогабаритного комбайна [27].

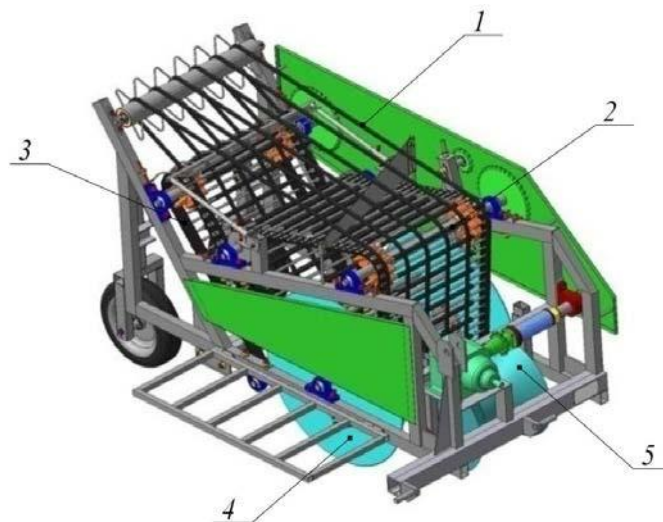


Рисунок 3.2 – 3-D модель малогабаритного картоплезбирального комбайна:

- 1 – бадилевидаляючі паси; 2 – бульбо-приймний елеватор; 3 – ворохо-підйомний елеватор; 4 – диск; 5 – каток.

До конструктивно-технологічної схеми комбайна входять два диска 8 діаметром 800 мм. Відстань між дисками рівна ширині елеваторного полотна. Між дисками розміщений леміш 15. Ворохо-підйомний елеватор 1, що складається з верхнього ведучого валу 3 і нижніх напрямних роликів 4, розташований під кутом  $55^\circ$  до горизонту. Бульбо-приймальний елеватор 2 розташовується на кільцевих доріжках між дисками 8, огинає провідний вал 5 і спрямовує вал 6. Прутки елеватора, пробігаючи по кільцевим доріжках, стосуються вершин гребнів, сприяючи часткового руйнування грудок ґрунту.

Направляючий вал 6, забезпечений ребордами.

Був виготовлений дослідний зразок комбайна з сепарація йним уючим пристроєм підйомно-східної дії (рис. 3.3).

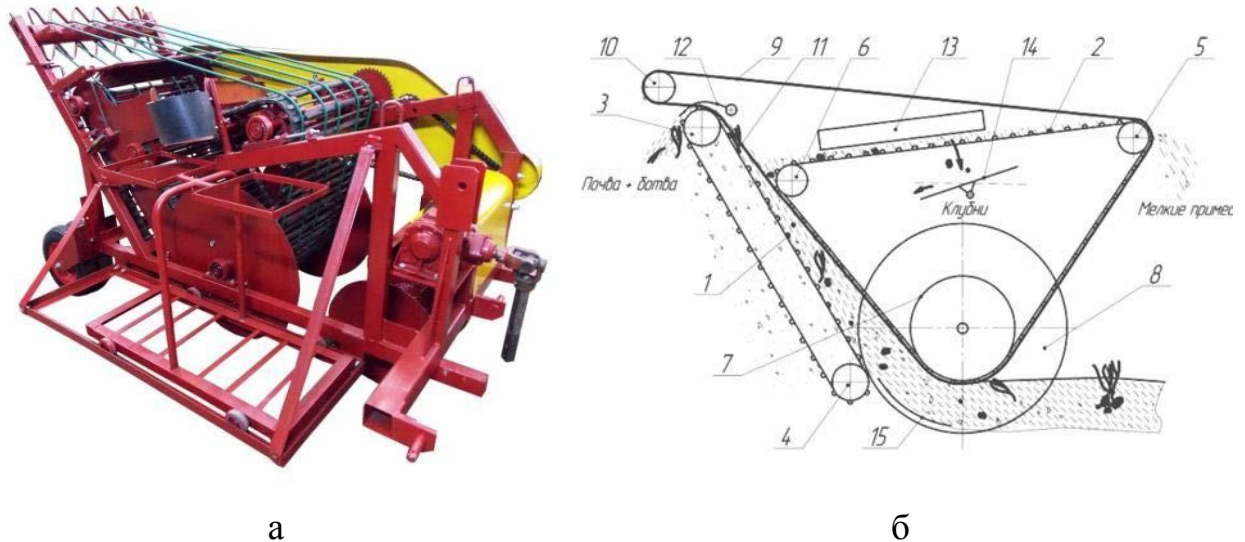


Рисунок 3.3 – Дослідний зразок (а) і конструктивно-технологічна схема (б) малогабаритного картоплезбирального комбайна з сепараційним пристроєм східної та західної дії: 1 – ворохо-підйомний елеватор; 2 – бульбо-прийомний елеватор; 3 – провідний вал; 4 – направляючі ролики; 5 – другий провідний вал; 6 – направляючий валець; 7 – кільцеві доріжки; 8 – диски; 9 – бадилевидальючі паси; 10 – направляючий валець; 11 – відсікач; 12 – гребінка; 13 – відбивач; 14 – лоток; 15 – леміш.

Паси 9 в районі дисків 8 огинають ту ж зону, що й бульбо-приймне полотно 2, а у верхній зоні, в секторі ведучого валу 3 ворохо-підйомного елеватора, відтягнуті назад. Для цього використаний направляючий валець 10. Це дозволяє нижнім віткам роздільником стикатися з прутками ворохо-підйомного елеватора. Паси мають круглий переріз і розміщені з кроком 12-15 см.

Бульбо-відбійний відсікач 11 прикріплений до несучої трубки гребінки 12. Гребінка 12 захищає валець 10 від намотування на нього бадилля і рослинних включень. Над горизонтальною віткою бульбо-приймного полотна 2, під кутом до лінії руху бульб розміщений відбивач 13. Лоток 14

напрямяє бульби в накопичувач (ящик, мішок, кошик і т. д.).

Робочий процес картоплезбирального міні-комбайна відбувається наступним чином. Леміш 15 підкопує бульбо-несучий пласт і відокремлює його від основної маси ґрунту. При цьому обертові диски 8 підрізають коріння, залишки рослинності, і сприяють переміщенню пласта на ворохо-підйомний елеватор без розвалювання.

За ворохо-підйомним елеватором 1 пласт з бульбами піднімається вгору, утримуваний пасами 9 та прутками бульбо-прийомного елеватора 2. Відстань між елеваторами 1 і 2 в міру підйому зменшується, що призводить до тиску на пласт і бадилля. Пласт руйнується, бульби втрачають в'язі з бадиллям. Велика частина грудок ґрунту при проході між прутами елеватора 1 і 2 в зоні їх найбільшого зближення руйнуються. Далі, на верхній вільній похилій ділянці, бульби, звільнившись від передньої опорної поверхні (пругків елеватора 2) відокремлюються від маси, притиснутою пасами, скочуються вниз, і підхоплюються верхньою горизонтальною віткою бульбо-прийомного елеватора 2. Чисті бульби картоплі при зустрічі з відбивачем 13, змінюють напрямок руху на  $90^\circ$  і сходять на похилій лоток 14, за яким надходять в тару. Частина ґрунту, що залишилася, бадилля і рослинні залишки, притиснуті бадиле-відділяючими пасами 9 до пругків елеватора 1, піднімаються до верхньої точки і перекидаються назад по ходу агрегату. З наведеної схеми видно, що велика частина потоку ґрунту викидається назад разом з бадиллям. Причому, чим вологіше ґрунт, тим вона краще змішується з бадиллям і рослинними залишками і в такому стані видаляється з комбайна. Отже, можлива робота сепаратора на глинистих ґрунтах підвищеної вологості.

### **3.3 Лабораторні дослідження конструктивно-технологічних параметрів малогабаритного картоплезбирального комбайна**

#### *Визначення кута нахилу ворохо-підйомного елеватора*

Даний кут залежить від форми, розміру бульб та грудок ґрунту. В таблиці 3.1 наведені значення кута початку скочування і коефіцієнта тертя



кочення бульб і грудок ґрунту.

Таблиця 3.1 – Значення кута початку скочування і коефіцієнта тертя кочення бульб і грудок ґрунту

Дослідний матеріал	Кут початку кочення, $\alpha^\circ$	Коеф. тертя кочення, $k_m$
Бульби картоплі		
Круглі дрібні $\varnothing$ 48мм	68	0,0059
Круглі середні $\varnothing$ 57мм	52	0,0037
Круглі великі $\varnothing$ 78мм	40	0,0032
Дрібні продовговаті $a \cdot b \cdot c = 39 \times 52 \times 32$	75	0,0068
Середні продовговаті $52 \times 71 \times 41$	60	0,0045
Великі продовговаті $70 \times 141 \times 59$	38	0,0025
Середнє значення для бульб	55	0,0044
Ґрунт (грудки)		
Круглі дрібні (35-50 мм)	77	0,0086
Круглі крупні (50-100 мм)	44	0,0034
Неправильної форми дрібні	68	0,0064
Неправильної форми крупні	44	0,0067
Середнє значення	56	0,0063

#### *Визначення робочої швидкості ворохо-підйомного елеватора*

При зміні швидкості руху робочої гілки ворохо-підйомного елеватора в діапазоні  $V = 1,5 \dots 2$  м / с значення кутів  $\alpha$  початку ковзання бульб змінюється в межах  $36,00 \dots 37,50$ . Отже, при формуванні кута нахилу робочої гілки ворохо-підйомного елеватора до горизонту можна не враховувати даний швидкісний режим.

При зміні швидкості руху пруткового полотна  $V = 2 \dots 3$  м / с значення  $\alpha$  кутів початку скочування бульб і грудок ґрунту склали: для бульб -  $55^\circ$ , для грудок ґрунту –  $56^\circ$ .

Оскільки для роботи сепараційного пристрою важлива нерозривність бульбо-несучого пласта по всій довжині ворохо-підйомного елеватора

вибираємо кут 55 град., швидкість 2,5 м / с.

Швидкість руху робочої поверхні ворохо-підйомного елеватора повинна значно перевищувати швидкість поступального руху агрегату.

На рухомому полотні елеватора кут кочення бульб і грудок ґрунту, незважаючи на їх розміри, форми, вологість, властивостей поверхні в значній мірі залежить від величини швидкості руху полотна.

#### *Визначення робочої довжини ворохо-підйомного елеватора*

Згідно з методикою описаною в пункті 3.2.4 були проведені досліді по визначенню робочої довжини ворохо-підйомного елеватора. на лабораторній установці міняли швидкість пруткового полотна (2,0 м / с, 2,5 м / с, 3,0 м / с) і кут нахилу 45, 55 і 65 град. Бульби картоплі, грудки ґрунту, поміщені на рухоме пруткове полотно, піднімалися вгору. Момент відриву і початку скочування вниз фіксували і визначали довжину пройденого шляху. В результаті багаторазових дослідів були отримані наступні значення.

Показники досліді вказують на те, що бульби і грудки ґрунту при куті нахилу робочої поверхні елеватора  $\alpha = 55^\circ$  і швидкості його руху  $V = 2,5$  м / с піднімаються на висоту понад 1000 мм. Отже, щоб уникнути втрат бульб картоплі довжина робочої поверхні елеватора повинна бути не менше 1200 мм. Теоретично розрахована довжина ділянки вільного скочування бульб.

З урахуванням знайденого значення коефіцієнта тертя кочення бульб  $k = 0,0044$  м, швидкості елеваторного полотна  $V_k = 2,5$  м / с, радіусу бульб  $r = 0,03$  м, згідно формули (2.24) довжина ділянки вільного скочування бульб склала  $S = 0,47$  м. Дане значення було прийнято при проектуванні і виготовленні дослідного зразка малогабаритного комбайна.

#### *Оцінка кінематичних параметрів картоплезбирального комбайна*

Для ефективної роботи сепараційного пристрою необхідно, щоб швидкість ворохо-підйомного елеватора була більша поступальної швидкості агрегату. Кінематичний режим підбирали на дослідному зразку картоплезбиральної машини.

У приводі ворохо-підйомного елеватора на провідний вал встановлювали зірочки  $Z = 15, 22, 25, 27$ . Робочу швидкість агрегату

підтримували  $V_p = 2,5$  км / год (0,69 м / с). При різних кінематичних режимах ( $\lambda = 3,0; 3,5; 4,0, 4,5$ ) виробляли викопування картоплі на ділянці довжиною 30 м. Причому дану ділянку ділили ще на три ділянки по 10 м і на кожному відрізку визначали повноту викопування картоплі і втрати.

Найбільш ефективне відділення бульб картоплі (98,6%) відбувається при кінематичному режимі  $\lambda = 3,5$  (рис. 3.4).

Таблиця 3.2 – Залежність повноти викопування бульб картоплі від кінематичного режиму.

Показник	Кінематичний режим			
	$\lambda = 3,0$	$\lambda = 3,5$	$\lambda = 4,0$	$\lambda = 4,5$
Повнота відділення бульб (вийнято бульб в тару),%	92,6	98,6	95,1	94,4
Залишено на поверхні%	1.2	1.5	4.2	4.8
Залишено в ґрунті %	0	0	0	0

У приводі ведучого валу ворохо-підйомного елеватора встановлена зірочка  $Z = 22$ .

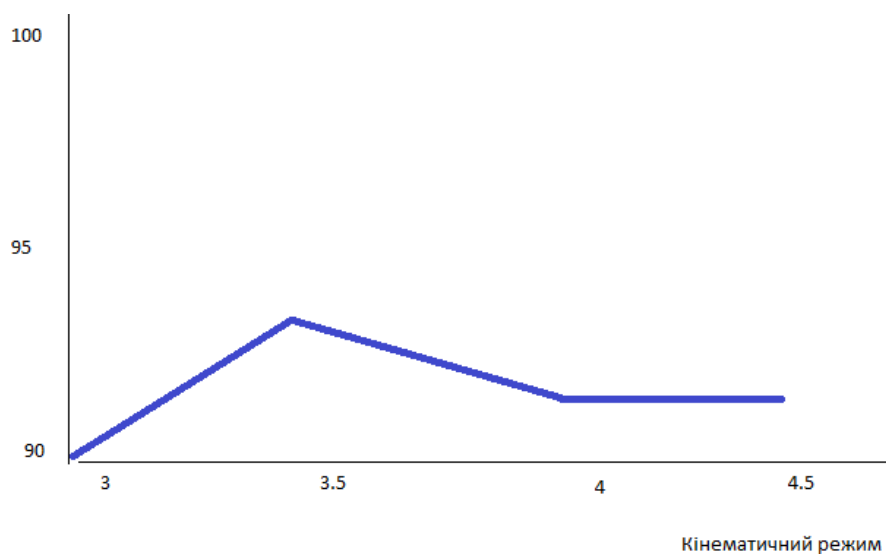


Рисунок 3.4 – Залежність повноти викопування бульб картоплі від кінематичного режиму

Одно факторні експерименти дозволили отримати необхідну інформацію для встановлення рівнів зміни досліджуваних факторів і меж варіювання.

*Оцінка енергетичних характеристик привода робочих органів*

Потужність, споживана робочими органами (елеватори і дискам) визначена згідно методики 3.3.3 (рис. 3.5)

Використовуючи формулу (2.37) провели розрахунки енергетичних показників (Таблиця 3.3).



Рисунок 3.5 – Визначення потужності на привід робочих органів

Таблиця 3.3 – Енергетичні показники сепараційного пристрою

Глибина копання, м	Швидкість руху агрегату, м/с.	Швидкість руху елеваторів, м/с.	Споживаюча потужність, кВт
0,2	0,83	2,5	3,36
0,2	0,97	2,5	3,53
0,2	1,11	2,5	3,82

При підвищенні поступальної швидкості комбайна потрібна потужність на привід робочих органів зростає незначно. отримані розрахункові дані вказують на можливість агрегування комбайна тракторами малій потужності (міні-тракторів).

### 3.4 Оптимізація параметрів малогабаритного картоплезбирального комбайна

Для отримання математичної моделі процесу сепарування пласту картоплезбиральною машиною, яка враховує вплив факторів на ефективну роботу сепараційного пристрою і визначення оптимального комбінування, було використано методику планування багатофакторного експерименту [42]. Параметром оптимізації прийнята повнота відділення бульб картоплі. В процесі реалізації матриці планування швидкість руху комбайна встановлювалася постійної,  $V_p = 2,5$  км / год.

Після обробки результатів одно-факторних експериментів і визначення не лінійності моделі факторів використаний повно факторний експеримент.

Розрахунок коефіцієнтів моделі регресії здійснювався за допомогою програми «STATGRACHIS Plus». В результаті розрахунку коефіцієнтів була отримана регресійна модель процесу відділення бульб картоплі в сепарується пристрої східно-західної дії:

$$Y = 95,9333 - 8,775 X_1 + 3,325 X_2 - 0,675 X_3 - 6,32917 X_1^2 - 0,375 X_1 X_2 + 0,675 X_1 X_3 - 6,62917 X_2^2 - 0,175 X_2 X_3 - 7,02917 X_3^2, \quad (3.1)$$

Значимість коефіцієнтів перевірялася за критерієм Стьюдента коефіцієнт моделі регресії вважаються значущими, якщо розрахункові  $t_p$  більше  $t_r$  критерію табличного, рівного 2,06 для рівня значущості  $p = 0,05$  [42]. Після відсіву незначущих коефіцієнтів, для яких  $t_p$  менше 2,06, регресійна модель процесу має вигляд:

$$Y = 95,9333 - 8,775 X_1 + 3,325 X_2 - 6,32917 X_1^2 - 6,62917 X_2^2 - 7,02917 X_3^2, \quad (3.2)$$

Для визначення значень факторів, що забезпечують найбільш високу ефективність відділення бульб в сепараційному пристрої, скористалися даними Optimum «STATGRACHIS Plus»:  $X_1 = - 0,55$ ;  $X_2 = 0,32$ ;  $X_3 = - 0,23$ . Найбільшу ефективність відділення бульб в сепараційному пристрої малогабаритного картоплезбирального комбайна мають значення:  $\alpha = 50$  град.,  $\lambda = 3,5$ ,  $h = 120$  мм.

Аналіз моделі показує, що найбільш сильний вплив на параметр оптимізації в заданому інтервалі надають кут нахилу ворохо-підйомного елеватора і кінематичний режим роботи комбайна. Найменше значення – відстань між ворохо-підйомним і бульбо-прийомним елеваторами в зоні їх максимального зближення.

Були отримані поверхні відгуку і двовимірні перерізи у вигляді ізоліній (рис. 3.6 – 3.8), графічно зображують залежність між критеріями повноти відділення і двома незалежними змінними  $Y = f(\alpha, \lambda)$ ,  $Y = f(\alpha, h)$ ,  $Y = f(\lambda, h)$ .

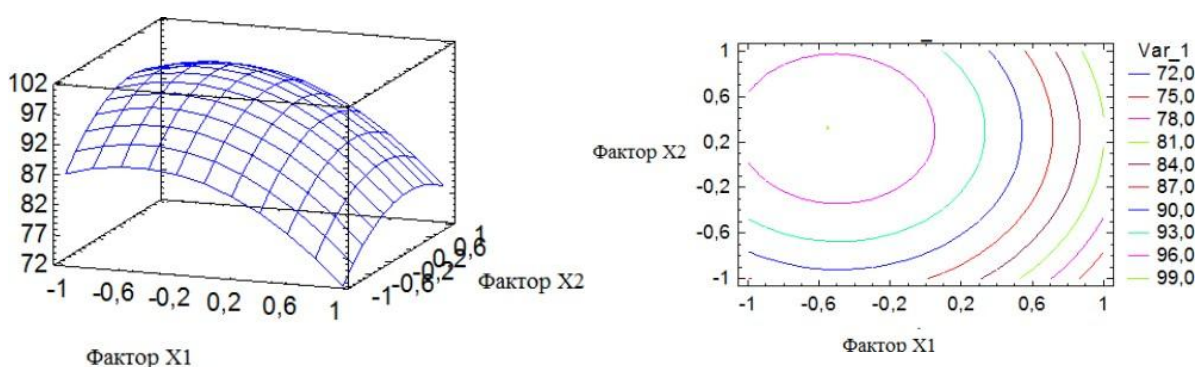


Рисунок 3.6 – Поверхня відгуку і її двовимірні перерізи, що характеризують повноту відділення бульб залежно від кута нахилу елеватора ( $X_1$ ) і його кінематичного режиму ( $X_2$ ).

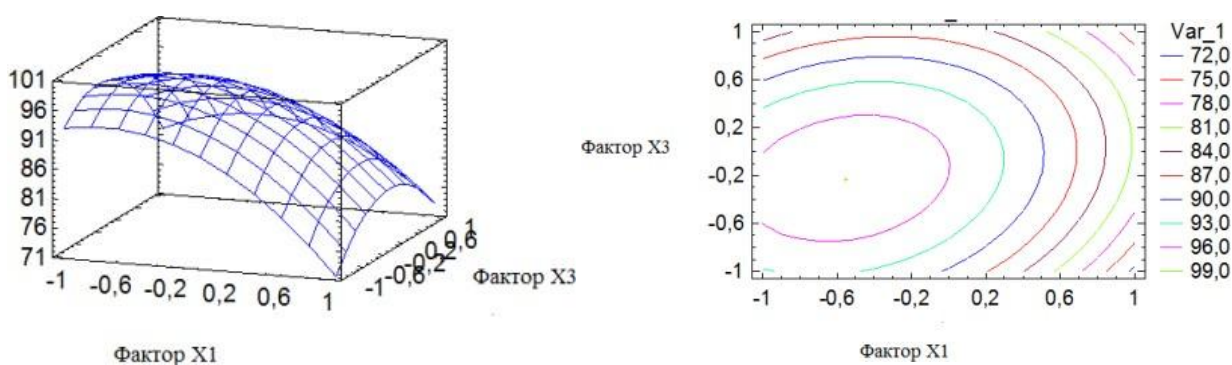


Рисунок 3.7 – Поверхня відгуку і її двовимірні перерізи, що характеризують повноту відділення бульб залежно від кута нахилу елеватора ( $X_1$ ) і відстані між гілками ворохо-підйомного і бульбо-прийомного елеваторами в точці їх максимального зближення ( $X_3$ ).

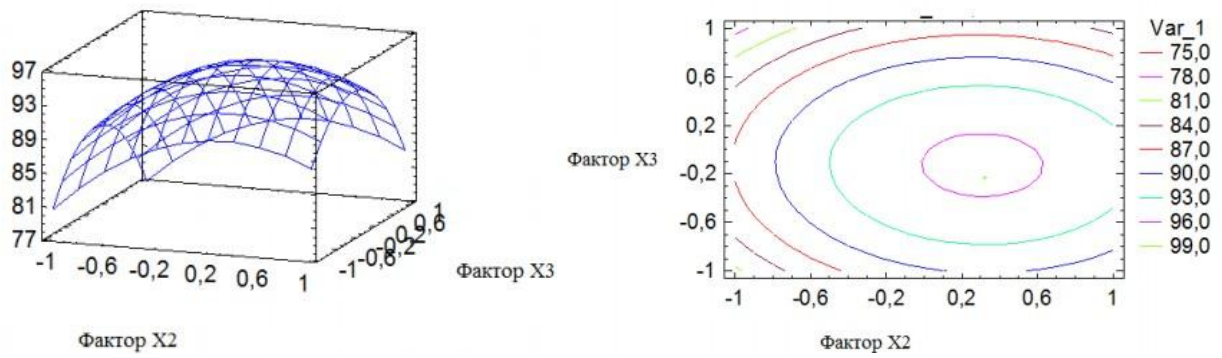


Рисунок 3.8 – Поверхня відгуку і її двовимірні перерізи, що характеризують ефективність відділення бульб залежно від кінематичного режиму (X2) і відстані між гілками ворохо-підйомного і бульбо-приймного елеваторами в точці їх максимального зближення (X3).

З графіків видно, що кут нахилу елеватора можна збільшити до 55 град., ефективність відділення при цьому підвищиться до 98%. Значення фактора  $h$  – відстань між гілками ворохо-підйомного і бульбо-приймного елеваторами в зоні їх максимального сходження знаходиться в оптимальній області, але при взаємодії з кінематичним режимом можна збільшити до 125 мм.

Таким чином, багатофакторний експеримент дозволив отримати математичну модель процесу відділення картоплі з бульбоносного пласта і встановити конструктивно - технологічні параметри сепаруючого пристрою картоплезбирального комбайна: кут нахилу елеватора  $\alpha = 50 \dots 55$  град., кінематичний режим  $\lambda = 3,5$ , відстань між гілками ворохо-підйомного і бульбо-приймного елеваторами в точці їх максимального зближення  $h = 120 - 125$  мм.

### 3.5 Польові випробування малогабаритного картоплезбирального комбайна

Умови випробувань і значення наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Умови випробування комбайна і значення

№ п/п	Показник	Значення
1	склад агрегату	МТЗ 83+комбайн 2,5-4,3
2	Культура, сорт, врожайність	Картопля, сорт «Лілея», 15 т/га
3	Характеристики поля: -тип ґрунту; -механічний склад; -рельєф; поперечний укіс; поздовжній укіс.	Дерново-підзолистий Супіщаний ; 0° ; 3°
4	Вологість ґрунту,%	21
5	Твердість ґрунту в шарах, МПа 5-10 см 10-15 см 20 см	1,20 1,38 1,81
6	Висота гребеня, см	18-21



Рисунок 3.9 – Виробничі випробування

В результаті проведення польових випробувань виявлено стійке виконання технологічного процесу всіма його робочими органами, відповідність якісних показників роботи агротехнічним вимогам і встановлено такі агротехнічні показники (таблиця 3.5).



Таблиця 3.5 – Агротехнічні показники при польових випробуваннях комбайна на полях навчального господарства

Показник	Значення показників
Повнота викопування бульб:	
Витягнуто на поверхню	100
В т.ч. не відірвано від бадилля	0
Залишено у ґрунті	0
Залишено на поверхні	1,9
Склад вороха у тарі:%	
-бульба	97,1
-ґрунт дрібний	2,9
Ґрунтові грудки	0
Рослинні рештки	0
Інші домішки	0
Число пошкоджень на 100 шт .:	
- здерта шкірка з поверхні бульби	4
- вирив м'якоті глибиною більше 5 мм	0
- тріщини довжиною більше 20 мм	0
- різані бульби	0
- роздавлені бульби	1

Малогабаритний картоплезбиральний комбайн проходив виробничі випробування в період з 6 по 16 вересня 2021 Комбайн агрегувався з трактором МТЗ-82, прибрана площа склала 2,2 га. Робоча швидкість агрегату не перевищувала 3 км / год, глибина ходу леміша – 18 - 20 см, продуктивність склала 0,22 га / год.

В результаті виробничих випробувань були отримані наступні агротехнічні та експлуатаційно-технологічні показники: повнота викопування бульб на поверхню – 100%, повнота відділення бульб від домішок – 97,5%, пошкодження бульб – 3,0%. Число пошкоджень на 100 бульб склало: здерта шкірка від  $\frac{1}{4}$  до  $\frac{1}{2}$  поверхні – 4 шт.; здерта шкірка від  $\frac{1}{2}$  і більше поверхні – 0 шт.; пошкодження м'якоті більше 5 мм – 2 шт.; різаних і розчавлених бульб немає. Господарство спеціалізується на виробництві насінневої картоплі. В ході лабораторно-виробничих випробувань комбайна виявлені наступні експлуатаційно-технологічні показники: повнота викопування бульб на поверхню, -100%; повнота відділення бульб від домішок - 98,0%; пошкодження бульб, всього по масі - 2,5%; робоча швидкість - 2-3 км / год; кількість збираних рядків -1; вид одержуваної продукції – насінневий.

## **РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.1 Організаційно-правові заходи охорони праці в господарстві**

Відповідно до чинного законодавства забезпечення здорових і безпечних умов праці покладається на керівництво підприємств, установ, організацій, відповідальних за дотримання законодавства про працю, забезпечує впровадження сучасних заходів безпеки для запобігання травматизму на виробництві, створення санітарно-гігієнічних умов праці, що запобігають професійним захворюванням. Організацією охорони праці в господарствах відповідно до типового статуту займаються члени ради директорів, заступники і спеціалісти. Відповідальність за стан охорони праці покладається насамперед на керівника підприємства.

Працівник повинен добре знати вимоги інструкції. Тільки при високій трудовій і виробничій дисципліні, суворому дотриманні вимог інструкції можна забезпечити безпеку робітників і зберігання машин і обладнання. Особи, які порушили вимоги інструкції, притягуються до відповідальності згідно з правилами внутрішнього розпорядку господарства, крім випадків, коли порушення вимог тягне за собою кримінальну відповідальність.

Зокрема, організація охорони праці покладається на головного інженера. У бригаді та інших підрозділах середньої ланки питання охорони праці належать до компетенції бригадирів та керівників інших підрозділів. На кожному підприємстві залежно від чисельності працівників та з урахуванням специфіки сільськогосподарського виробництва серед експертів призначаються інженери з охорони праці, інженери з навчання та виробничого навчання.

### **4.2 Вимоги до створення сільськогосподарської техніки**

Конструкція та розташування вузлів, механізмів і систем сільськогосподарської мобільної техніки повинні забезпечувати безпеку та комфорт під час технічного обслуговування. Їх робота не повинна

супроводжуватися наявністю небезпечних і шкідливих факторів. Машини не повинні забруднювати навколишнє середовище викидами під час роботи.

Наявність та функціонування робочого та стоянкового гальм має бути визначено в технічних умовах та відповідати вимогам: гальмівний шлях має бути

$$S < 0,1 \cdot V + V/90 \quad (4.1.)$$

де  $V$  – швидкість агрегату на момент гальмування, км/год.

Машини, що працюють з соломою, повинні бути обладнані пристроєм для кріплення серійних первинних вогнегасників. Розташування та конструкція кріплення цих пристроїв повинні забезпечувати вільний доступ до них та їх зняття протягом 8 секунд.

Техніка повинна бути оснащена набором інструментів для обслуговування та ремонту зі спеціальним ящиком або сумкою для зберігання.

Компоненти машини, вихід з ладу яких може призвести до аварії, повинні мати підвищену потужність і надійність.

Робочі органи, які під час роботи можуть забиватися технологічними матеріалами, повинні бути обладнані пристроями, що знижують ймовірність цього.

Конструкція огорож має відповідати функціональному призначенню. Її конструкція і кріплення повинні виключати можливість випадкового контакту з працівником. Міцність огорожі повинна підлаштовуватися під навантаження. Огорожі, які необхідно відкривати вручну, необхідно відкривати без використання інструментів.

Трактори та самохідні машини повинні бути обладнані звуковою та візуальною сигналізацією.

На машинах і агрегатах, які обслуговуються кількома операторами, сигналізація повинна бути двосторонньою.

Колір одиниць повинен контрастувати з фоновим середовищем. Знаки (символи) безпеки за ГОСТ 12.4.026 повинні розміщуватися на видних місцях елементів конструкції машини.

Окремі агрегати вагою понад 20 кг та механізми в цілому повинні мати

пристрої для монтажу петлі та місця встановлення ліфта. Петлі повинні бути позначені символом «ланцюг», а розетки — символом «DC».

Тягові, навісні, напівнавісні машини, а також ті, що встановлюються на автотранспорт, при відключенні повинні підтримувати рівновагу 200 Н. Машину необхідно перевести на транспортно-робочі умови з робочого місця механізатора. Конструкція підйому інструменту повинна передбачати його механічне кріплення та утримання в транспортному положенні.

### **4.3 Рекомендації з техніки безпеки при роботі на машині**

Під час роботи необхідно дотримуватися основних правил безпеки.

Дозволяйте пристрій лише особам, які отримали необхідні знання та навички для експлуатації, налаштування та обслуговування машини. Люди повинні бути навчені щодо безпеки. Забороняється знаходитись поблизу агрегату особам, які не мають безпосереднього відношення до роботи.

Забороняється працювати у вільному одязі.

Перед початком роботи необхідно перевірити придатність агрегату, перевірити надійність кріплення всіх робочих органів до рами.

Для початку необхідно подати звуковий сигнал.

Забороняється перебувати перед агрегатом у момент початку руху останнього.

Налаштуйте та обслуговуйте машину при вимкненому двигуні трактора.

В експлуатації машина повинна відповідати вимогам ГОСТ 12.2.111-85 ССБТ «Техніка сільськогосподарська. Загальні технічні вимоги.» Постійне виконання вимог цього стандарту та вимог інструкції виробника дозволить безпечно працювати на машині.

До роботи на агрегаті допускаються механіки віком не менше 17 років, які пройшли навчання та ознайомлені з будовою машини та особливостями розробленої конструкції, нормативними документами, правилами догляду та техніки безпеки.

Відповідальна особа повинна мати водійські права. Дозволяється робота

на технічно придатних і повністю обладнаних машинах. Перед тим як покинути поле, щоразу перевіряйте досконалість. Поля, призначені для обробки, необхідно заздалегідь підготувати: розділити на блоки, відобразити поворотні доріжки. Також видаляйте предмети з поля, заповнюйте великі ями, позначайте інші перешкоди попереджувальними знаками. Роботи та переміщення підрозділів повинні проводитися відповідно до плану робіт та затверджених маршрутів.

#### **4.4 Технологія розробки карти контролю по показниках безпеки**

Відповідно до вимог, техніка, що подається на огляд, повинна бути укомплектована, з'єднана в ґрунтообробний агрегатом та справна.

Робоче місце повинно бути обладнане відповідно до виявлених відхилень у показниках безпеки.

При складанні карти роботи умовно поділяють на вісім технічних систем: 1 - технологічна; 2 - механічні з'єднання; 3 - рушії; 4 - рульове колесо; 5 - гальмо; 6 – енергетична складова; 7 - освітлення; 8 - захист. Кожну з них можна розділити на підсистеми. На практиці при виконанні контролю елементи цих систем об'єднують своє локальне розташування в групи, що полегшує контроль і дає можливість швидшої реалізації. При цьому виділення 8 таких локалізованих груп достатньо для управління блоком за параметрами безпеки.

При перевірці обладнання за показниками безпеки перевіряють стан, монтаж, роботу та працездатність усіх технічних систем.

Інвентаризація машини – це перевірка повноти всіх систем відповідно до Карт або посібника користувача. Інвентаризація визначає правильне використання вузлів і деталей усіх технічних систем (особливо гальмівної системи та ходової частини), їх стан (відсутність тріщин, вигинів, вм'ятин, іржі тощо) та правильність монтажу. Фаза інвентаризації проводиться на першому контрольному положенні - на стоянці, в резерві, боксі, печері або шляхопроводі.

Небезпечні умови можуть зумовлювати недоліки в конструкції машин, технологічного обладнання та процесів, низький рівень організації виробництва

(неефективність або відсутність необхідного контролю, низький професійний рівень працівників, їх навичок безпеки), недостатню надійність виробничого обладнання. Вони відіграють першочергову роль у виникненні виробничих небезпек - специфічного стану, при якому існує реальний ризик нещасного випадку або травмування. Це пов'язано з тим, що навіть якщо на даному робочому місці існує кілька небезпечних факторів виробництва, але якщо жоден з них не має умов, за яких це може вплинути на людину, то реального ризику травматизму на цьому робочому місці немає. Інша справа, коли такі умови існують, але працівник про них не знає. Процес виявлення небезпечних умов у деяких випадках може бути досить складним, тому необхідні спеціальні дослідження.

## РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розрахунок показників економічної ефективності від впровадження в виробництво малогабаритного картоплезбирального комбайна проводимо по матеріалах, отриманим в результаті виробничих випробувань і на основі довідкових даних.

Створений новий комбайн порівнюємо з однорядним картоплезбиральним комбайном ККУ-1 виробництва Республіки Білорусь.

Використовуючи дані таблиць 5.1 і 5.2 виконаємо розрахунок експлуатаційних витрат, питомих капітальних вкладень, очікуваного річного економічного ефекту за відомими методиками [27, 43].

Таблиця 5.1 – Технічні показники для економічних розрахунків

Показник	Варіант	
	Базовий ККУ-1	Новий
Кількість обслуговуючого персоналу:		
-трактористів	1	1
-допоміжних робочих	4	4
Вага, кг	3100	4500
Продуктивність комбайна га/год	0,25	0,20
Річне завантаження, год		
- трактора МТЗ-82	1095	-
- трактора Т-30	-	565
Витрата палива, кг / год	12	7,5
Річне завантаження картоплезбирального комбайна, год	170	170
Балансова вартість:		
-трактора МТЗ-82;	1220	-
-трактора Т -30;	-	1095
-картоплезбирального комбайна.	1150	300

Обчислення складових експлуатаційних витрат і питомого капітального вкладення проводимо за наступною відомою методикою:

- витрати праці, чол., - год. / га,

$$Z_T = \frac{n_M}{W_{\text{ч}}} + \frac{n_P}{W_{\text{ч}}},$$

де  $n_M$ ,  $n_P$  – відповідно кількість механізаторів і обслуговуючого персоналу;  
 $W_{\text{ч}}$  – продуктивність збирального агрегату за 1 годину експлуатаційного часу,  
 га / год.

Таблиця 5.2 - Вихідні дані для розрахунків економічної ефективності

Найменування показників	Значення показника
Середня врожайність картоплі, т / га	180
Комплексна ціна 1т палива, грн.	25000
Годинна ставка, грн.	
- тракториста	43,8
- допоміжні робочого	31,3
Коефіцієнт, що враховує нарахування на заробітну плату	1,3
Норма відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування, %	
- трактор	9,9
- картоплезбиральний комбайн	9,0
Норма амортизаційних відрахувань, %	
- тракторів	9,1
- картоплезбиральних комбайнів	12,5
Нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень для інвестора	0,3



Витрати на заробітну плату з нарахуваннями, грн. / га,

$$C_3 = \frac{\delta_3 C_{\text{чм}}}{W_{\text{ч}}} n_M + \frac{\delta_3 C_{\text{чр}}}{W_{\text{ч}}} n_P,$$

де  $\delta_3$  – коефіцієнт, що враховує нарахування на заробітну плату; СЧМ, СЧП – відповідно годинна ставка механізатора і обслуговуючого робітника, грн. / год.

Витрати на паливно-мастильні матеріали, грн. / га:

$$C_2 = 10^{-3} \cdot \Pi_{\Gamma} q_{\Gamma},$$

де  $\Pi_{\Gamma}$  - комплексна ціна 1т палива, грн / т;  $q_{\Gamma}$  - питома витрата палива, кг / га.

Амортизаційні відрахування, грн / га:

$$A = \frac{B_{\text{к}} a_{\text{к}}}{T_{\text{к}} W_{\text{ч}} \cdot 100} + \frac{B_{\text{т}} a_{\text{т}}}{T_{\text{т}} W_{\text{ч}} \cdot 100},$$

де  $B_{\text{к}}$ ,  $B_{\text{т}}$  - відповідно балансова вартість комбайна і трактора, грн.;  $a_{\text{к}}$ ,  $a_{\text{т}}$  - відповідно норми амортизаційних відрахувань (%) по комбайну і трактору;  $T_{\text{к}}$ ,  $T_{\text{т}}$  - відповідно річне завантаження комбайна і агрегатується трактора, год.

Відрахування на поточний ремонт і технічне обслуговування, грн. / Га:

$$P = \frac{B_{\text{к}} r_{\text{к}}}{T_{\text{к}} W_{\text{ч}} \cdot 100} + \frac{B_{\text{т}} r_{\text{т}}}{T_{\text{т}} W_{\text{ч}} \cdot 100},$$

де  $r_{\text{к}}$ ,  $r_{\text{т}}$  – відповідно норми відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування (%) комбайна і трактора, що агрегатується.

Інші витрати, грн / га:

$$\Pi_p = 0,05(C_3 + C_2 + A + P).$$

Експлуатаційні витрати на 1га, грн. / га:

$$C = C_3 + C_2 + A + P + \Pi_p.$$

Питомі капітальні вкладення, грн. / га:

$$K = \frac{B_{\text{к}}}{T_{\text{к}} W_{\text{ч}}} + \frac{B_{\text{т}}}{T_{\text{т}} W_{\text{ч}}}.$$

Результати розрахунків експлуатаційних витрат і питомої капітального вкладення наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Експлуатаційні витрати і питомі капітальні вкладення

№ п/п	Позначення	Одиниця вимірюван ня	Варіан т	
			базовий	новий
1	ЗТ	люд.,-год/га	20	10
2	С <sub>з</sub>	грн./га	1757,1	971,7
3	С <sub>г</sub>	грн./га	2205	1687
4	А	грн./га	3790,8	1984,7
5	Р	грн./га	2876,2	1753,3
6	Пр	грн./га	473,2	288,7
7	С	грн./га	11160,5	6716,5
8	К	грн./га	31519	18514

Річний економічний ефект визначаємо за формулою:

$$\mathcal{E}_z = [(C_{\text{б}} + E_{\text{н}}K_{\text{б}}) - (C_{\text{н}} + E_{\text{н}}K_{\text{н}})]A_{\text{н}},$$

де  $C_{\text{б}}$ ,  $C_{\text{н}}$  – експлуатаційні витрати на 1 га зібраної площі, грн. / га;  $E_{\text{р}}$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;  $K_{\text{б}}$ ,  $K_{\text{н}}$  – питомі капітальні вкладення при базовому і новому варіантах, грн./ га;  $A_{\text{н}}$  – річне завантаження картоплезбиральної машини, га.

$$A_{\text{н}} = T_{\text{к}} \cdot W_{\text{ч}} = 170 \cdot 0,2 = 34 \text{ га.}$$

Після підстановки числових значень параметрів одержуємо:

$$\mathcal{E}_z = [(11160,48 + 0,3 \cdot 31519) - (6716,5 + 0,3 \cdot 18514)] \cdot 34 = 283747$$

Таким чином впровадження у виробництво комбайна, що відокремлює бульби від ґрунту і бадилля в висхідному потоці вороху дозволяє отримати річний економічний ефект на площі 34 га в розрахунку на один комбайн 283747 грн. Термін окупності становить: 1 рік.

## ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. На основі проведеного аналізу конструктивних особливостей картоплезбиральних машин розроблена схема сепараційного пристроїв, що може бути використана в структурі малогабаритного картоплезбирального комбайна.

2. Отримано аналітичні залежності взаємодії сепараційного пристрою висхідної дії з картопляним ворохом. Виділено чотири характерні зони технологічного процесу. У зоні переходу пласта ґрунту на полицю ворохопідйомного елеватора визначено зусилля на відрив бадилля від бульб. У зоні підйому і проходження вороху в місці максимального зближення віток елеваторів визначено зусилля, що здійснюється на бульбу. У зоні сходження пасів відділювачів бадилля з поверхнею ворохопідйомного елеватора відбувається витискування бульб на поверхню потоку. У четвертій зоні, зустрічі бульб з штифтом, визначена ударна реакція бульби об штифт-відбійник. Обґрунтовано параметри: кут нахилу ворохопідйомного елеватора, довжина ділянки вільного скочування бульб.

3. В результаті проведених експериментальних досліджень було встановлено оптимальні параметри і режим роботи сепараційного пристрою картоплезбирального комбайна: кут нахилу елеватора  $\alpha = 55$  град., довжина робочої поверхні елеватора  $L = 1200$  мм, відстань між вітками ворохопідйомного та бульбо-приймального елеватора в зоні їх максимального сходження  $h = 120-125$  мм, кінематичний режим  $\lambda = 3,5$ .

4. Сепараційний пристрій в процесі польових випробувань показав стійке виконання технологічного процесу та відповідність показників якості роботи агротехнічним вимогам: повнота відділення бульб від домішок – 96 ... 98%; пошкодження бульб – не більше 3%.

5. Економічна ефективність від впровадження у виробництво малогабаритного картоплезбирального комбайна, запропонованої конструкції дозволяє отримати річний економічний ефект в розрахунку на один комбайн 283747 грн. Термін окупності становить 1 рік.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Aliev E.B., Bandura V.M., Pryshliak V.M., Yaropud V. M., Trukhanska O.O.. Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural industry. INMATEH - Agricultural Engineering. 2018. Vol. 54, 1. P. 95–104.
2. Hrushetsky S.M., Yaropud, V.M., Duganets V.I., Pryshliak V.M., Kurylo V.L. Research of constructive and regulatory parameters of the assembly working parts for potato harvesting machines. INMATEH – Agricultural Engineering. 2019. №59. P. 101-110.
3. Kaletnik H., Adamchuk V., Bulgakov V., Kyurchev V., Nadykto V. Main problems in the field of agricultural mechanization in Ukraine. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2016. №3. С. 6-12.
4. Kaletnik H., Mazur V., Gunko I., Ryaboshapka V., Bulgakov V., Raide Veljo, Ilves Risto, Olt Jüri. Study on performance of compression engine operated by biodiesel fuel. Agronomy Research. 2020. Vol. 18, Special Issue 1. P. 862-887
5. Solona O.V., Kovbasa V.P., Kupchuk I.M. The contact interaction dynamics of the working tool of the mole plowshare with the soil during forming process a channel for an antifiltration screen. Вібрації в техніці та технологіях. 2020. №2. С. 81-89.
6. Solona, O., Derevenko, I., Kupchuk, I. Determination of plasticity for pre-deformed billet. Solid State Phenomena. 2019. Vol. 291. P. 110-120.
7. Spirin A., Polievoda Y., Tverdokhlib I. Increasing the reliability of agricultural machinery work. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. 2019. Випуск 198. 2019, С 86–90.
8. Spirin Anatoly, Borysiuk Dmytro, Truhanska Olena, Shvets Lydmyla, Zelinsky Vyacheslav Mathematical model of a wheeled tractor steering axle as an object of diagnostics. ТЕКА. Commission of motorization and energetics in agriculture. 2017. Vol. 17, № 1. P, 41-48.

9. Агросервис [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://www.agse.ru/catalog/zapchasti\\_dlya\\_selhoztexniki/razbrasyvateli\\_udobrenij/razbrasyvatel\\_orga\\_nicheskix\\_udobrenij\\_prt\\_7\\_prt\\_10](http://www.agse.ru/catalog/zapchasti_dlya_selhoztexniki/razbrasyvateli_udobrenij/razbrasyvatel_orga_nicheskix_udobrenij_prt_7_prt_10)

10. Анісімов В.Ф. Музичук В.І. Аналіз і вибір методів надійності автотракторних двигунів. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2019. № 3, 105. С. 43–51.

11. Будяк Р. В. Охоплююче протягування в технологіях виготовлення шестерень внутрішнього евольвентного зачеплення. Вібрації в техніці та технологіях. 2019. № 1, 92. С. 67–72.

12. Будяк Р. В. Прогресивні технології виготовлення шестерень внутрішнього евольвентного зачеплення Міжнародний журнал Наукові записки Академічного товариства Михайла Балудянського. 2019. № 7. С. 11–18

13. Будяк Р. В. Розвиток творчого потенціалу майбутнього фахівця як фактор формування успішної особистості. Збірник матеріалів Всеукраїнської конференції «Від науки до практики». 2019. С. 20–25.

14. Булгаков В.М. Теоретична механіка. Посібник для практичних занять. (Під редакцією проф. С.І.Кучеренка). / В.М. Булгаков, В.В. Бурлака, Г.М. Калетнік, І.Є. Кравченко, С.І. Кучеренко, Д.І. Мазоренко, Л.М. Тіщенко, М.Г. Березовий. Вінниця: Нова книга, 2010. 667 с.

15. Булгаков В.М., Адамчук В.В., Черниш О.М., Березовий М.Г., Калетнік Г.М., Яременко В.В.. Прикладна механіка: Навчальний посібник. Київ : Аграр. наука, 2016. 816 с.

16. Булгаков В.М., Пилипака С.Ф., Яропуд В.М., Захарова Т.Н, Калетнік Г.М. Плоскі вертикальні криві, що забезпечують постійні тиск і швидкість руху матеріальної точки. Вібрації в техніці та технологіях. 2014. Вип. 1 (73). С.100-120.

17. Веселовська Н.Р., Малаков О.І. Функціональне моделювання процесу технологічної підготовки виробництва для проектів створення нової техніки. Молода наука – роботизація і нано–технології сучасного

машинобудування: збірник наукових праць Міжнародної молодіжної науково–технічної конференції. Краматорськ, 2019. С. 134–137.

18. Видмиш А.А., Возняк О.М., Купчук І.М., Бойко Д.Л. Дослідження медіанної фільтрації одновимірних сигналів. Вібрації в техніці та технологіях. 2020. №1. С. 88-102.

19. Вознюк Л. Ф., Іщенко В. В., Михайлович Я. М. Технічне обслуговування і діагностування сільськогосподарських машин: навч. посіб. для мол. спец. Київ : Урожай, 1994. 216 с.

20. Войтюк Д. Г. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: навч. посіб. / Д. Г. Войтюк, С. С. Яцун, М. Я. Довжик; за ред. Д. Г. Войтюка. – Суми : Унів. кн., 2008. – 543 с.

21. Войтюк Д. Г., Булгаков В. М., Кропивко С. В., Онищенко В. Б. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: підруч. для студ. Вузів. Київ : Друк, 2005. 464 с.

22. Гевко Р. Б. Машини сільськогосподарського виробництва: навч. посіб. для студ. вузів / Р.Б. Гевко, І. Г. Ткаченко, І. І. Павх; М-во освіти і науки України, Терноп. акад. нар. госп-ва. – Тернопіль, 2002. – 251 с.

23. Гідравлічні приводи гичкозбиральних машин : Монографія / Гунько І.В., Шаргородський С.А., Гунько А.С., Подолянин І.М. Вінниця : Твори. 2020 – 179 с.

24. Горячкин В. П. Собрание сочинений в 3 т. Москва : Колос, 1965. 1 т. 720 с.

25. Грушецький С.М., Яропуд В.М. Моделювання процесів сепарації картопляного вороху в барабанному сепараторі. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2020. № 2, 109. С. 27-41.

26. Грушецький С.М., Яропуд В.М., Бабин І.А. Дослідження якості сепарації картопляного вороху підкопувальними робочими органами картоплезбиральної машини. Вібрації в техніці та технологіях. 2020. № 1, 96. С. 125-140.

27. ГСТУ 46.012-2000. Техніка сільськогосподарська. Методи економічної оцінки техніки. – [Чинний від 2001.02.01] – К. : Мінагрополітики України, 2000. – III, 18 с. – (Галузевий стандарт України).

28. Гунько І.В., Бурлака С.А. Математичне моделювання роботи системи живлення дизельного двигуна працюючого на біопаливі з дросельним регулювання складу паливної суміші. The scientific heritage. 2020. No 50. С. 34-38. (Index Copernicus, Чехія)

29. Гунько І.В., Музичук В.І., Служалюк М.В. Дослідження технічного сервісу машин в АПК. Техніка, енергетика та транспорт АПК. 2019. № 2, 105. С. 43–51.

30. Єдина система конструкторської документації. Експлуатаційні документи : ДСТУ ГОСТ 2.601:2006. – [Чинний від 2007-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 144 с. – (Національний стандарт України).

31. З'єднання в машинобудуванні: Навч. Посібник / В.С. Павленко, І.П. Паламарчук, О.В. Цуркан, Ю.А. Полевода / За 78 ед.. В.С. Павленка. – Вінниця: ПП «ТД Едельвейс і К», 2015. – 110 с.

32. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Т. 1. Ч. 1. Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. М-во освіти і науки України, М-во аграр. політики України, Харк. держ. техніч. ун-т с.-г. Х.: ОКО, 2001. 443 с.

33. Іскович-Лотоцький Р.Д., Зелінська О.В., Веселовська Н.Р., Веселовський Я.П. Оцінювання ефективності функціонування технологічного комплексу з використанням системного підходу. Техніка енергетика транспорт АПК. 2017. №2, 97. С. 109-114.

34. Калетнік Г.М., Адамчук В.В., Петриченко Є.А., Булгаков В.М., Кувачов В.П. Теорія плоскопаралельного руху удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2017. №2, 97. С.6-18.

35. Ковбаса В. П., Пришляк В.М., Ярошук Р. О. Визначення впливу сільськогосподарської техніки на ґрунт. Вібрації в техніці та технологіях. 2019. № 4, 95. С. 76–81.
36. Ковбаса В. П., Алі Ахмед Кадем, Калініченко Д. Ю. Визначення модуля пружності та коефіцієнта в'язкості ґрунту шляхом дослідження його коливань. Вібрації в техніці та технологіях. 2016. № 1. С. 36-41.
37. Ковбаса В. П., Швайко В. М., Гуцол О. П. Механіка сільськогосподарських матеріалів та середовищ: навч. посібник. Ніжин: Видавець ПП Лисенко М. М., 2015. 536 с.
38. Ковбаса В. П., Ярошенко В. В. Розподіл напружень у сипкому середовищі обмеженому стінками споруди силосного типу. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2010. Вип. 40, 1. С. 314-324.
39. Ковбаса В. П., Ярошенко В. В. Про критерій міцності та співвідношення між компонентами напружень сипкого середовища. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2010. Вип. 40(1). С. 35-39.
40. Ковбаса В.П., Броварець О.О. Технології підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності при проектуванні технологічних процесів. Математичні машини і системи. 2019. № 2. С. 63–70
41. Ковбаса В.П., Курка В.П., Алі Ахмед Кадем Про подолання труднощів при вирішенні контактних задач пружності. Сільськогосподарські машини. 2015. № 32. С.79-86.
42. Купчук І.М. Компромісна оптимізація режимних параметрів процесу подрібнення зернової сировини при виробництві етилового спирту. Вібрації в техніці та технологіях. 2017. №4. С. 91-100.
43. Купчук І.М., Вовк В.Ю., Дацюк Д.А. Оцінка економічної ефективності технічної модернізації підготовчого етапу технологічного процесу виробництва етанолу. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. 2020. Vol. 283, Is. 2. С. 36-47.



44. Мінфін – все про фінанси: новини, курси валют, банки. Оплата праці 2019 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://minfin.com.ua/ua/2017/12/21/31540238/> (дата звернення – 10.10.2019).

45. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП). Тарифи на електроенергію для не побутових споживачів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nerc.gov.ua/?id=15985> (дата звернення – 10.10.2019).

46. Омелянов О.М. Дослідження впливу технологічного завантаження на параметри руху вібраційного сепаратора. Вібрації в техніці та технологіях. 2019. № 4, 95. С. 89–94.

47. Омелянов О.М. Обґрунтування впливу механічних коливань на процеси обробки сипкої маси. Вібрації в техніці та технологіях. 2019. № 2, 93. С. 68–74.

48. Омелянов О.М. Перспективи реалізації процесів вібраційного розділення. Вібрації в техніці та технологіях. 2019. № 1, 92. С. 72–86.

49. Офіційний сайт виробника сільськогосподарської техніки Dewulf. [Електронний ресурс]. – Режим доступу.: <http://www.dewulfgroup.ru>

50. Офіційний сайт виробника сільськогосподарської техніки Grimme Landmaschinenfabrik GmbH&CO KG. [Електронний ресурс]. – Режим доступу.: <http://www.grimme.ru>

51. Офіційний сайт виробника сільськогосподарської техніки WM Kartoffeltechnik GmbH&Co KG. [Електронний ресурс]. – Режим доступу.: <http://www.Kartoffeltechnik.com>

52. Офіційний сайт виробника сільськогосподарської техніки ЗАО «Колнаг». [Електронний ресурс]. – Режим доступу.: <http://www.kolnaq.ru>

53. Офіційний сайт виробника сільськогосподарської техніки ПООО «Техмаш», Республіка Білорусь, м. Лида.. [Електронний ресурс]. – Режим доступу.: <http://www.tehmash.by>.

54. Офіційний сайт постачальника сільськогосподарської техніки «Агросистема» [Електронний ресурс]. – Режим доступу.: <http://www.agrosistema.ru>

55. Павленко В.С., Цуркан О.В., Кравченко І.Є. Підшипники кочення. Вибір за статичною та динамічною вантажопідйомністю, конструювання підшипникових вузлів: Навчальний посібник / За 81ед.. В.С. Павленка. – К.: «Хай-Тек Прес», 2012. – 128 с.

56. Павленко В.С., Цуркан О.В., Кравченко І.Є., Любін М.В. Пасові передачі. Теорія, розрахунки, конструювання: Навчальний посібник / За 81ед. В.С. Павленка. – К.: «Хай-Тек Прес», 2011. – 140 с.

57. Писаренко В. П., Берник П. С., Сивак Р. І. Технологічні методи підвищення надійності деталей машин: [монографія]. Вінниця: Едельвейс і К, 2008. 167 с.

58. Пришляк В. М., Ковальчук О. В. Сільськогосподарські машини: метод. вказівки для виконання лаб. робіт студ. фак. механізації с.-г. М-во аграр. політики України, Вінниця : ВДАУ. 2005. 44 с.

59. Сайт для бухгалтерів бюджетних установ. Норми тривалості робочого часу на 2019 рік [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://buhgalter.com.ua/dovidnik/normi-robochogo-chasu/normi-trivalosti-robochogo-chasu-na-2019-rik/> (дата звернення – 10.10.2019).

60. Сивак І.О., Деревенько І.А., Островський А.Й. Практикум з механіки матеріалів і конструкцій : навчальний посібник.. Вінниця : ВНАУ, 2011. 144 с.

61. Сивак Р.І., Деревенько І.А. Короткий курс теоретичної механіки. Вінниця: ТОВ Вінницька міська друкарня, 2016. 200 с.

62. Солона О. В., Купчук І.М. Прикладна механіка. Методичні рекомендації для виконання практичних робіт. Вінниця: ВНАУ, 2017. 116 с.

63. Солона О. В., Купчук І.М. Теорія механізмів і машин. Курсове проектування : Навчальний посібник. Вінниця : ВНАУ, 2019. 249 с.

64. Солона О. В., Купчук І.М. Технічна механіка. Методичні

рекомендації для виконання практичних робіт. Вінниця: ВНАУ, 2017. 84 с.

65. Солона О. В., Купчук І.М., Паламарчук В.І. Прикладна механіка. Методичні рекомендації для виконання курсового проекту. Вінниця: ВНАУ, 2017. 84 с.

66. Солона О.В., Купчук І.М. Практикум з Теорії механізмів і машин : навчальний посібник. Вінниця : Друк, 2020. 250 с.

67. Технічна механіка. Підручник. Калетнік Г.М., Булгаков В.М., Черниш О.М., Кравченко І.Є., Солона О.В., Цуркан О.В. Київ : «Хай-Тек-Прес», 2011. 340 с.

68. Цуркан О. В., Павленко В.С., Полевода Ю.А. Розрахунки передач привода: Методичні вказівки до виконання курсового проекту з навчальної дисципліни «Деталі машин». Вінниця: РВВ ВНАУ, 2011. 87 с.

69. Янович В.П., Купчук І.М., Полевода Ю.А., Михайловська М.А. Розробка фотоаналітичного методу експрес-оцінки вихідної однорідності сипких матеріалів. Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Технічні науки. 2014. №1, 84. С. 182-186.

70. Янович В.П., Купчук І.М., Полевода Ю.А., Розробка методики масштабного переходу "фізична модель-натуральний зразок" при проектуванні віброторної дробарки спиртової промисловості. Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Технічні науки. 2015. №1, 89, Т. 2. С. 164-167.

# ДОДАТКИ