

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

СВІТЛИЧНИЙ ОЛЕКСІЙ ЮРІЙОВИЧ

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ  
завідувач кафедри механізації  
сільського господарства  
канд. техн. наук, доцент  
\_\_\_\_\_ Анатолій ПОЛЯКОВ  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СЕПАРУВАННЯ  
КОРНЕ-БУЛЬБОПЛОДІВ  
Спеціальність 208 Агроінженерія

Кваліфікаційна робота  
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

Керівник:

канд. техн. наук, доцент  
Вадим ВОЛОХ

---

Оцінка: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
бали/за шкалою ЄКТС/за національною шкалою

Київ – 2023

# **1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА МАШИН ПРИ ПРИБИРАННІ КАРТОПЛІ**

## **1.1 Агротехнічні вимоги, що пред'являються до прибирання картоплі і картоплезбиральної техніки**

Немає жодної людини у світі, раціон якого обходився б без картоплі. Вегетаріанці взагалі вважають його одним з основних продуктів. Якщо прийняти біологічну поживну цінність білку м'яса птиці за 100 %, то білок пшениці - близько 65 %, а білок картоплі більше 80 %. За якісними показниками білок картоплі перевершує і багато бобових культур (сою, горох і так далі). У бульбах картоплі міститься більше мінеральних речовин і вітамінів, чим у багатьох видах плодів і овочів [18, 25].

Без поживної культури не обходиться і раціон годування сільськогосподарських тварин, окрім бульб використовують і продукти вже переробленої картоплі.

Величезне значення картопля має і для переробної промисловості при виробництві спирту, крохмало-паточної і іншій продукції. Не замінимо картоплю і як ефективна культура зайнятої пари в сівозмінах, будучи непоганим попередником для багатьох сільськогосподарських культур (буряк, ячмінь, кукурудза, ярова пшениця, просо і т. д.).

Вирощуванням картоплі займаються більш ніж в 130 країнах світу. Україна в цьому списку займає 3-є місце за об'ємом виробництва, поступаючись Китаю і Індії. Основна частина зробленої продукції з цієї культури і сама картопля йде на задоволення потреби усередині країни. Проте, маючи величезний потенціал земельних площ і економічну обстановку, що склалася, у світі, Росія може і повинна виходити на зовнішні ринки по експорту картоплі у великих об'ємах. На жаль, останніми роками йде спад обсягів виробництва картоплі. Це пов'язано безпосередньо з тим, що більше 80% вітчизняної картоплі вирощується в невеликих селянських

(фермерських) і особистих господарствах, на малоконтурних ділянках [8]. Щоб отримувати якісну продукцію, конкурентоздатну як на зовнішньому, так і на внутрішньому ринках, необхідно постійно удосконалювати технології обробітку картоплі з модернізацією існуючих агрегатів, а так само розробкою і впровадженням сільськогосподарських машин з робочими органами прогресивного типу [3,7, 19, 21, 24].

Вітчизняні фермери і господарства населення використовують або стару техніку або саморобну, придбану у сумнівних виробників. Відсутність спеціалізованої техніки призводить до того, що за допомогою одного і того ж устаткування виконуються різні операції [10].

Використання при посадці неякісного насінного матеріалу, неправильна обробка площі, що готується, під посадку, недотримання агротехнічних вимог при вирощуванні і збиранні врожаю, порушення правил транспортування і зберігання продукції призводить до зниження якості продукції і, відповідно, веде до поступового зменшення обсягів виробництва [1, 8].

Якщо порівняти середню врожайність картоплі в Росії за останні роки, то в сільськогосподарських організаціях вона складає 235...250 ц/га, в селянських (фермерських) господарствах близько 190 ц/га і 150 ц/га на особистих подвір'ях [16].

Великі агропідприємства використовують в основному сучасну високопродуктивну техніку іноземного виробництва і великі, добре підготовлені площі. Селянсько-фермерським господарствам, що базуються на малих площах, закуповувати імпорتنу дорогу техніку не вигідно для сезонного використання. Найчастіше вона не окупається роками, тим більше, якщо не відповідає особливостям технології обробітку картоплі в різних природно-кліматичних зонах нашої країни.

У технології виробництва картоплі прибирання вважається однією з самих праце- і енерговитратних операцій, основне значення тут відводиться сепарації бульбонесучої купи, тобто відділенню бульб від ґрунту і домішок.

Для успішного застосування картоплезбиральної техніки необхідно створити наступні умови [1, 7, 8, 9]:

- використання якісного посадочного матеріалу;
- проведення відповідної обробки ґрунту в певній послідовності з урахуванням типів ґрунтів;
- своєчасна посадка без пропусків на задану глибину, з найменшим відхиленням від прямолінійності рядків;
- забезпечення дрібнокомкуватої структури ґрунту в гребені;
- до кінця вегетаційного періоду бульби повинні знаходитися в добре сформованій грядці на однаковій глибині;
- якісне видалення бадилля; - дотримання термінів прибирання.

Картоплезбиральні комбайни і копають повинні відповідати наступним основним агротехнічним вимогам [16]:

- підкопуючі робочі органи комбайна мають бути добре пристосовані до мікрорельєфу поля і забезпечувати рівномірну глибину ходу при різних заглибленнях. Відхилення глибини ходу лемешів від встановленого значення допускається не більше  $\pm 2$  см;
- забезпечувати викопування бульб з глибини до 22 см при ширині бульбових гнізд 40 см;
- витягати на поверхню поля не менше 95 % урожаю бульб;
- допускаються ушкодження не більше 3 % бульб по масі;
- комбайн повинен збирати у бункер не менше 97% урожаю картоплі;
- втрати усіх видів не повинні перевищувати 3 %;
- чистота картоплі в тарі має бути не менше 80 %;

– при роботі комбайна на легенях, середніх і засмічених каменями ґрунтах ушкодження бульб не повинні перевищувати 10 %, а на перезволожених важких ґрунтах до 5 %.

Картоплезбиральні машини повинні мати високі показники надійності і довговічності : коефіцієнт готовності 0,95; коефіцієнт надійності технологічного процесу 0,97; коефіцієнт технічного використання 0,90; коефіцієнт використання експлуатаційного часу 0,60. Картоплекопачі і однорядні комбайни повинні агрегатуватися з тракторами класу 0,9-1,4 кН; дворядні комбайни - з тракторами класу 1,4 і 2,0 кН.

Однорядний комбайн повинні обслуговувати не більше чотирьох чоловік, а дворядний - не більше шести. Продуктивність дворядних картоплекопачів встановлена не менше 0,4 га/год змінного часу, а картоплезбиральних комбайнів - не менше 0,15 га/год на кожен рядок.

## **1.2 Аналіз однорядних картоплезбиральних комбайнів**

Сучасна високопродуктивна картоплезбиральна техніка, яка представлена на ринку України, закуповується в основному, великими агрохолдингами, плантації картоплі у яких займають не одну сотню гектарів. Цей сегмент ринку міцно зайняли Європейські компанії - лідери світового ринку картоплезбиральної техніки: Grimme, AVR, Dewulf, Unia [22, 25].

Професійна картоплезбиральна техніка представлена російськими дворядними комбайнами КПК- 2-01 і ККР- 2, аналоги комбайна КПК- 2, що випускався ще за радянських часів, і картоплекопачі КТН-2В [16].

Середні і малі господарства до 80 % площі картоплі прибирають старою технікою (копають, комбайни) ще радянського виробництва або імпортною. Основна проблема цієї техніки у відсутності оригінальних запасних частин і якісного сервісного обслуговування.

Господарства, що займають під картоплю менше 50 га, переважно використовують копають із залученням великої кількості людей-збирачів

бульб. Витрати праці при обробітку картоплі доходять до 400 чол.-год., на 1 га замість покладених 60 чол.-год., витрати праці на один центнер урожаю досягають 6,5 чол.-год., замість можливих 0,6 [7]. Залежно від ґрунтокліматичних умов втрати урожаю при цьому складають 8...26 %.

Застосування нових малогабаритних картоплезбиральних комбайнів дозволяє практично повністю виключити втрати урожаю, збір бульб здійснювати у бункер, контейнери, мішки, тобто прибирати картоплю з найменшими трудовитратами і, відповідно, собівартістю [9].

Останніми роками на вітчизняному ринку малогабаритної картоплезбиральної техніки переважають в основному однорядні комбайни, вироблювані зарубіжними фірмами [9].

Нижче представлені технічні характеристики найбільш розповсюджених однорядних картоплезбиральних комбайнів (таблиця 1.1).

Усі представлені в таблиці комбайни працюють за однією технологічною схемою (рисунок 1.1) і мають приблизно однакову конструкцію [9].

Технологічний процес проходить таким чином: леміш 3 підкопує бульбоносний пласт, який поступає на перший елеватор 4, де просіюється велика частина ґрунту і розбиваються великі грудки, потім уся маса поступає на другий елеватор 5 для подальшої сепарації.

Великі рослинні домішки відділяються стеблевідділювачем 6, далі купа проходить через три сепаруючі пристрої 7, 9, 10, поступає на перебиральний стіл 11 і завантажується у бункер 13.

Таблиця 1.1 - Технічні 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		Республіка Білорусь	Республіка Білорусь	Німеччина	Польща	Бельгія, («Колнаг»)
Число прибираних рядів, шт		1	1	1	1	1
Продуктивність, га/годину		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 обслуговуючого персоналу :						
-тракторист		1	1	1	1	1
-робітники		4	4	4	3-4	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, мм	довжина	7150	7150	8920	5950	8400
	ширина	2400	2400	3000	2420	3000
	висота	2900	2900	3500	2690	3330
Трактор, кл.т.с.		1,4	1,4	1,4 -2,0	1,4	1,4-2,0
Приблизна вартість, тис. грн.		1150	2100	від 1200 до 6000	1610	від 1500 до 10000

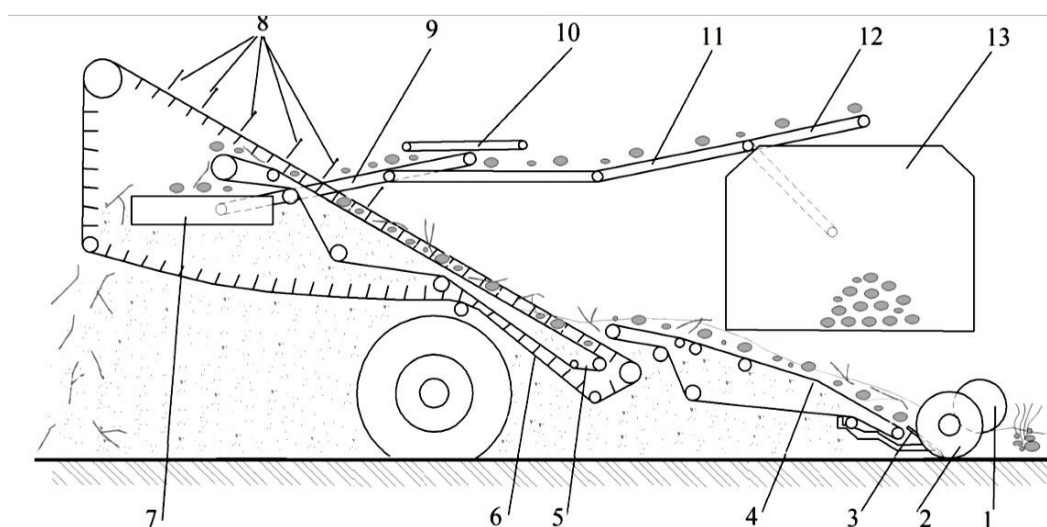


Рисунок 1.1 - Технологічна схема однорядних картоплезбиральних машин:

1 – каток; 2 - підрізуючі диски; 3 - леміш; 4 - перший елеватор; 5 - другий елеватор;  
6 – стеблевідділювач; 7, 9, 10 - сепаруючий пристрій; 11 - перебиральний стіл;  
12 – транспортер; 13 - бункер.

На рисунках 1.2 і 1.3 представлені однорядні картоплезбиральні комбайни, що працюють за цією схемою з сепаруючим пристроєм елеваторного типу. Огляд картоплезбиральних комбайнів показує, що усі машини відповідають агротехнічним показникам і показникам надійності.



Рисунок 1.2 - Однорядний картоплезбиральний комбайн ККУ- 1





### Рисунок 1.3 - Однорядний картоплезбиральний комбайн Grimme SE 75

Разом з цим є істотні недоліки:

- висока металоємність, що автоматично збільшує вартість машини і ускладнює технічне обслуговування;
- ущільнення ґрунту у зв'язку з повторюваністю проходів по міжряддю;
- підвищена пошкодженість картоплі при русі по багатометрових каскадних транспортерах з додатковими облаштуваннями доочистки;
- відсутність якісного сервісного обслуговування;
- високий рівень цінових показників на оригінальні запасні частини;
- часта непридатність до кліматичних умов;
- послаблення вітчизняних виробників.

### **1.3 Сепаруючі робочі органи картоплезбиральних машин**

Для відділення бульб картоплі від ґрунту, рослинних залишків випробувані і випробувані декілька десятків типів сепаруючих робочих органів, заснованих на різних принципах дії [17].

Сепарація ґрунту робиться на робочих органах, що розділяють компоненти по розмірах: елеватори лозин, гуркіт, з решетами, що коливаються, барабанні, комбіновані.

Пруткові елеватори широко застосовуються в картоплезбиральних машинах, внаслідок простоти конструкції і можливості підйому і транспортування пласта під кутом  $20^{\circ}$ .... $25^{\circ}$ .

Для усунення згужування підкопуваного пласта швидкість елеватора має бути в 1,3...1,6 разів більше швидкості руху машини. З метою інтенсифікації процесу сепарації купи (пласта) під верхньою гілкою першого (приймального) елеватора лозини встановлюють різного роду вібратори. Що виникають в процесі дії вібратора інерційні сили, в якійсь мірі, активують процес сепарації купи. В той же час, інерційні сили підвищують динамічне навантаження на рухливі пари і прискорюють процес їх зносу.

Можна виділити два основні види завантаження робочих органів : повну, характерну для основного (першого) сепаруючого робочого органу, і неповну, характерну для подальших сепаруючих робочих органів.

Робочі органи барабанного типу застосовуються в картоплезбиральних комбайнах в якості сепаруючих і підйомно-транспортних пристроїв. Як правило, вони працюють в тихохідному режимі, внаслідок чого, їх сепаруючі властивості нижчі, ніж у пруткових елеваторів.

Слід вказати на ряд переваг сепараторів барабанного типу : простота пристрою, технологічність конструкції, можливість регулювання кінематичного режиму в широкому діапазоні.

Наявні в літературі дані [18] вказують на дуже високу сепаруючу здатність гратчастої поверхні швидкообертаючого барабана, причому інтенсивність сепарації росте зі збільшенням доцентрового прискорення. Але практичного застосування цей пристрій досі не знайшов. Річ у тому, що на високій швидкості обертання барабана, матеріал, що знаходиться в ній, притискається за рахунок дії відцентрової сили до внутрішньої поверхні і, внаслідок цього, рух в осьовому напрямі припиняється.

Переміщення матеріалу в осьовому напрямі можна забезпечити різними способами, зокрема, зміною форми сепаруючої поверхні. З цієї точки зору представляють інтерес швидкохідні конічні барабанні сепаратори з вертикальною і горизонтальною віссю обертання.

Спосіб відділення перезволоженого ґрунту з використанням відцентрових сил інерції на конічних барабанах з вертикальною віссю обертання (чашевих центрифугах) (рисунок 1.4) матеріал переміщається уздовж стінки під дією відцентрової сили.

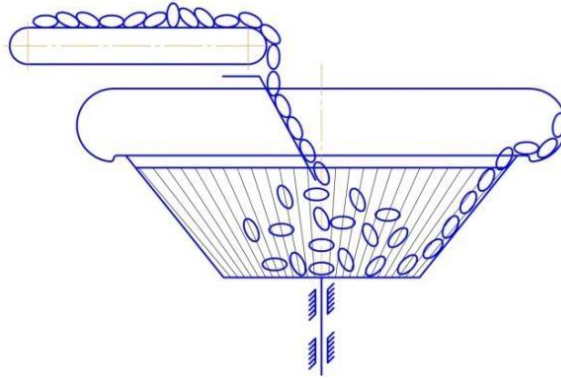


Рисунок 1.4 - Відцентровий конічний барабанний сепаратор з вертикальною віссю обертання

Застосування конічних відцентрових барабанів в картоплезбиральному комбайні ускладнюється тим, що розвантаження бульб в них відбувається по усьому периметру великого кола, що утрудняє їх уловлювання. Крім того, поверхня чаші схильна до забивання рослинними залишками.

Відцентровий сепаратор, що обертається відносно горизонтальній осі, конічне решето (рисунок 1.5).

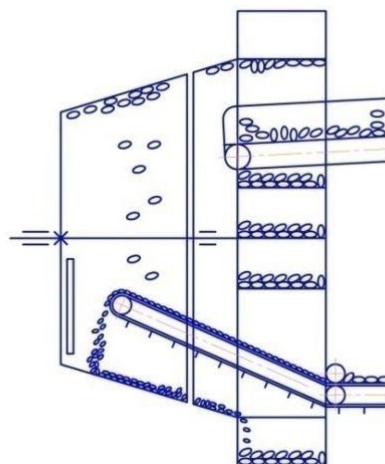


Рисунок 1.5- Конічний барабанний сепаратор з горизонтальною віссю обертання

Сепаратор має довжину 600 мм, діаметр – 1232...1650 мм. Робочу поверхню складають розташовані під кутом  $30^\circ$  до тієї, що утворює конуса прутки, проміжок між якими 28 мм.

При дослідженні дослідного зразка комбайна на важких ґрунтах підвищеної вологості, в швидкохідному режимі, сепаратор відділяє в середньому 93,5 % ґрунтів від бульб, а чистота бульб у бункері досягає 74 %. Проте, така конструкція сепаратора, в силу ряду істотних недоліків, також не знайшла практичного застосування.

Принципова схема барабанно-шнекового сепаратора приведена на рисунку 1.6.

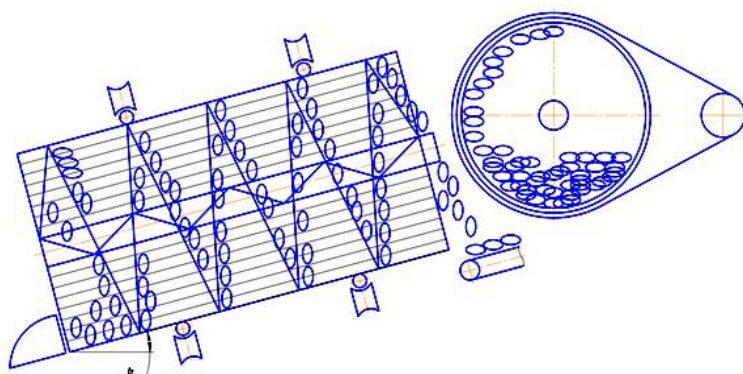


Рисунок 1.6 - Барабанно-шнековий сепаратор

Пристрій складається з лемеша, барабана з перфорованою поверхнею і шнека. Шнек транспортує купу, а також очищає прутки барабана від навислого бадилля. Такий робочий орган ефективно відділяє не лише сухий, але і вологий ґрунт. Основний недолік - неприпустимо сильне ушкодження бульб картоплі.

#### **1.4 Конструкції картоплезбиральних машин**

Основою досліджень стала розробка і виготовлення роторновинтового сепаратора [13]. Процес сепарації інтенсифікували за рахунок дії відцентрових сил, які направляють бульбоносну купу на внутрішню

поверхню швидкообертаючого барабана. Габарити збиральної машини, у такому разі, багаторазово скорочуються.

Роторно-гвинтовий сепаратор (рисунок 1.7) є барабаном з двох сполучених чотирма гладкими прутками 7 цівкових коліс 8, на яких закріплені цапфи, що несуть направляючі гвинтові валики 2 із зірочкою 6 на кінці. Зірочка 6 входить в зачеплення з дворядним колесом 8. Основний елемент такого сепаратора, що несе, - нескінченний трос, фанерований поліетиленом.

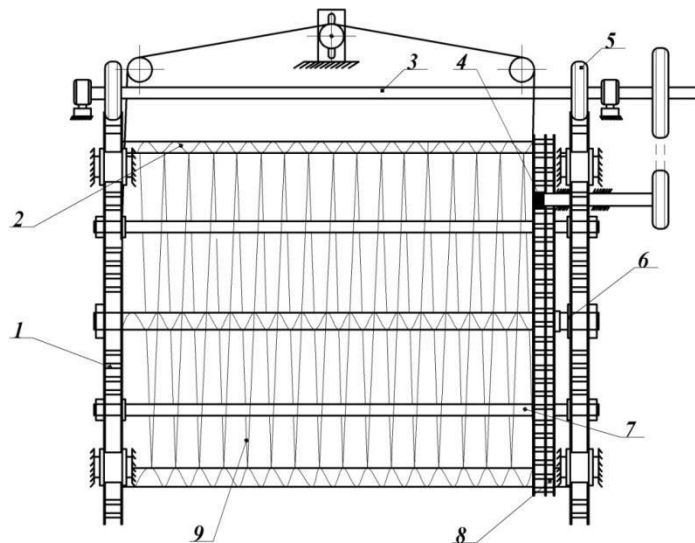


Рисунок 1.7 - Схема роторно-гвинтового сепаруючого органу:

1—цівкові колеса; 2 - направляючі гвинтові валики; 3 - приводний вал; 4, 5, 6 - зірочки; 7 - гладкі прутки; 8 - дворядне цівкове колесо; 9 - трос.

При обертанні приводного валу 3 починають обертатися цівкові колеса 1 і дворядне цівкове колесо 8. Оскільки швидкості зірочок 4 і 5 не однакові, цівкові колеса 1 випереджають дворядне колесо 8. При цьому за час одного повного оберту барабана, кожен направляючий гвинт 2 також здійснює один повний оберт навколо своєї осі. При такому погодженому (планетарному) русі барабана і гвинтових валиків, гілка гнучкої нитки (трос), що сходиться з кінця барабана, подається на його передній кінець, і знову рівномірно укладається на гвинти. Отримана безперервно що рухається, уздовж тих, що утворюють, еластична, струнна ґратчаста поверхня.

У роторно-гвинтовому сепараторі рух матеріалу уздовж осі обертання не залежить від величини доцентрового прискорення і забезпечується, практично, при будь-якому кінематичному режимі, що дозволяє регулювати силове поле на сепаруючій поверхні в досить великих межах. Якщо барабан обертається рівномірно з частотою  $\omega$ , що значно перевищує критичну, тоді  $\omega r^2 > q$ , матеріал, поданий на сепаруючу поверхню, захоплюється рухом по гвинтовій лінії (рисунок 1.8) [13].

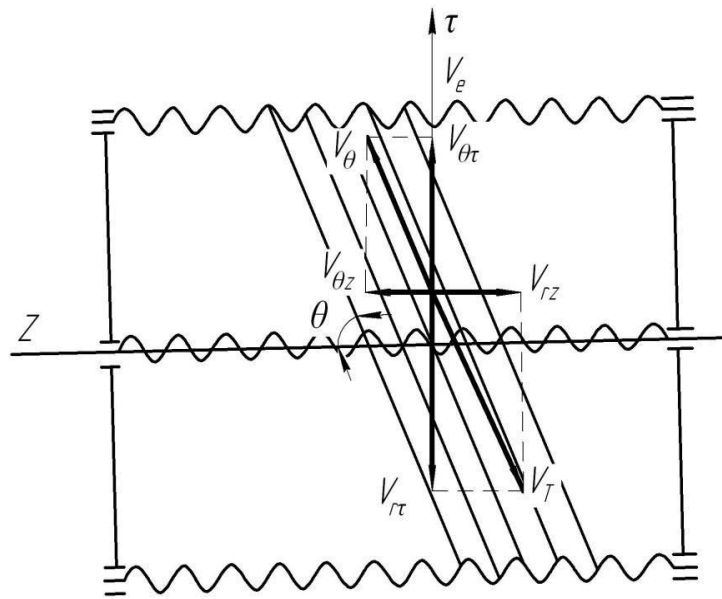


Рисунок 1.8 - Схема до визначення швидкості руху частки в роторно-гвинтовому сепараторі.

На цьому режимі може працювати барабанний сепаратор при підвищеній вологості. У усіх інших випадках має місце відносний рух.

Значення абсолютної швидкості руху частки уздовж осі обертання барабана, залежно від кута її повороту, у міру зміни кута тертя від 16 до 30, її осьова швидкість росте. При малих кутах тертя частка здійснює коливальні рухи не лише в площині перпендикулярної осі обертання барабана, але і осі Z.

Таким чином, в роторно-гвинтовому сепараторі, на відміну від існуючих циліндричних сепараторів, забезпечується осьовий рух матеріалу незалежно від доцентрового прискорення.

Продуктивність роторно-гвинтового сепаратора при поданні маси 38...52 кг/с і змінюється в межах 21,6...35 кг м<sup>2</sup>/с.

За результатами експериментальних досліджень встановлений діаметр барабана 550 мм, крок гвинтів 20 мм, частота обертання 45...60 хв<sup>-1</sup>.

На основі роторно-гвинтового сепаратора була розроблена конструкція дворядного картоплезбирального комбайна (рисунк 1.9)[13].

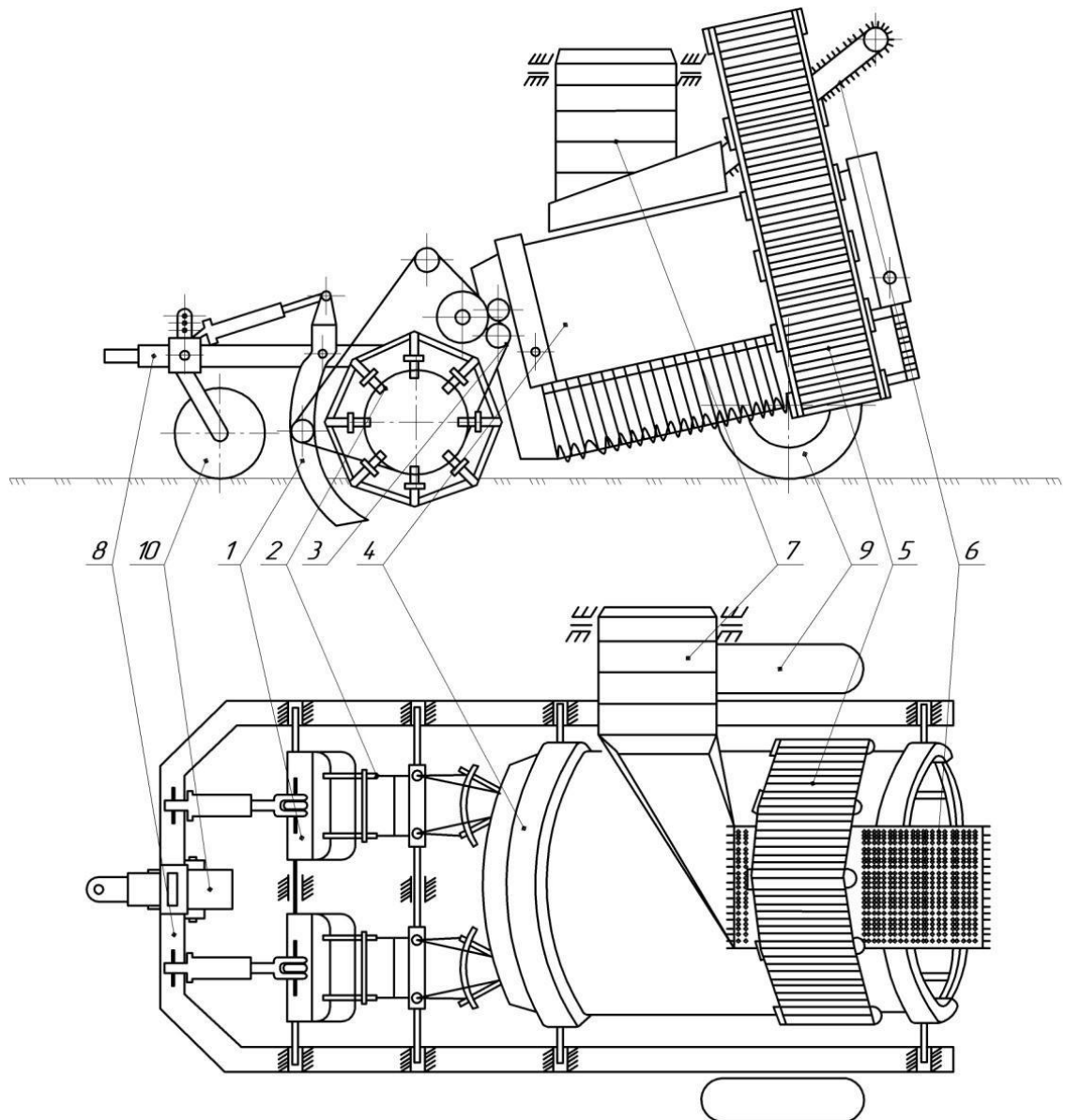


Рисунок 1.9 - Картоплезбиральний комбайн:

1 - підкопуюча скоба; 2 - роторно-пальчатий копач; 3 - стеблевідділювач; 4 - роторно-гвинтовий сепаратор; 5 - приймальний транспортер; 6 - розділова гірка; 7 - вивантажуючий транспортер; 8 - рама; 9 - колеса; 10 - опорне колесо.

Але неодноразові спроби використання швидкообертаючих барабанів в якості сепаруючого органу не увінчалися успіхом. І причин до цього було немало. Необхідно було знайти робочий орган, в якому інтенсифікація процесу сепарації бульбоносної купи відбувалася б одночасно за рахунок дії 3-х сил : сили тяжіння, відцентрової сили, статичного тиску.

Створена робоча модель барабанного сепаратора, що забезпечує рух матеріалу в осьовому напрямі незалежно від частоти обертання барабана [13]. В процесі досліджень і випробувань у виробничих умовах були виявлені істотні недоліки, а саме: складне облаштування планетарного механізму; ковзання гнучкої нитки; необхідність звуження ширини пласта, що подається у барабан; круговий рух бульб при сході з поверхні барабана.

В процесі подальших досліджень розглядалась ідея поєднання барабана з елеватором лозини. У такому разі відпаде необхідність звужувати потік купи (пласта). Прутковий елеватор огинає еластичний (пневматичний) барабан ззаду. При цьому потік купи затискається між прутками елеватора і еластичною (гнучкою) поверхнею барабана[12].

На рисунку 1.10 зображена принципова схема відцентрововижимного сепаратора. Показані сили, діючі на потік купи в процесі його руху по зовнішній поверхні барабана. Окрім складової сили тяжіння  $mg\cos\alpha$  і відцентрової сили -  $m\omega^2 R$ , діє сила пружності (тиску) повітря в пневмокамері. Отримали в одному пристрої поєднання трьох робочих органів: сепаратора, грудкороздавлювача і підйомника.



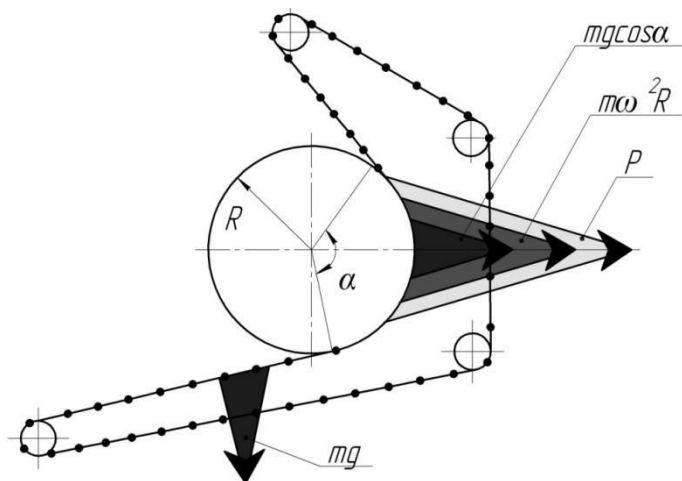


Рисунок 1.10 - Принципова схема відцентрово-випуклого сепаратора

У конструкціях відомих картоплезбиральних комбайнів кожен такий пристрій виконаний окремо і має автономний приводний механізм. Крім того, ці робочі органи розміщені на рамі комбайна послідовно і займають немало місця.

У нашому пристрої прутковий елеватор і барабан приводяться в рух від одного привідного валу. Але і цей сепаратор, в процесі польових випробувань показав деякі недоліки. Частина ґрунту і бульб, не відриваючись від поверхні пружного барабана, знову поступали в силовий канал. Внаслідок цього, не усі бульби потрапляли на поперечний транспортер, що відводив. Крім того, було не просто виготовити пневматичний барабан великого діаметру. Були спроби використати для цих цілей автомобільні колеса.

В процесі довгих пошуків і досліджень вдалося виключити пневматичний барабан з конструктивної схеми відцентрово-випуклого сепаратора [12].

На відомих комбайнах і копають решета (елеватори лозин) розміщуються на рамі ступінчасто і послідовно. На таких пристроях ґрунт від бульб відділяється за рахунок дії сили тяжіння. Між тим, розміщуючи ті ж елеватори в просторі іншим способом можна отримати різні принципово нові сепаруючі пристрої.

На рисунку 1.11, 1.12 приведена схема сепаратора того, що складається з двох елеваторів лозин. Основу сепаратора складають два диски 3, закріплені на загальному валу. Диски 3 забезпечені направляючою доріжкою (ободом). По колу концентричної ободу з внутрішньої сторони дисків розміщені пальці 5. Основний підйомний елеватор огинає диски 3 ззаду, а бульбо-приймний елеватор 1 дасть на пальці 5 і направляючий валець 2. При такому розміщенні елеваторів між їх робочими гілками утворюється регульований за величиною силовий кільцевий канал. У цьому каналі, окрім сили тяжіння, на компоненти купи діють відцентрова сила і реактивні сили.

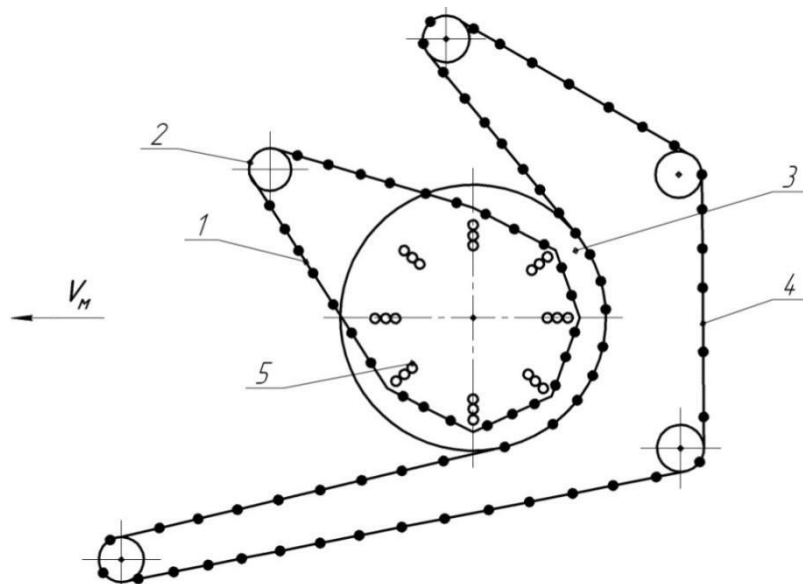


Рисунок 1.11 - Відцентрово-витискного сепаратор, що складається з двох пруткових елеваторів: 1 - бульбо-приймний елеватор; 2 - направляючий валець; 3 - диск; 4 – прийомний елеватор; 5 - пальці.



Рисунок 1.12 - Картоплезбиральний комбайн з відцентрово-вижимним сепаратором

Купа характеризується неоднорідністю компонентів, що входять в нього, якими є: ґрунт, бульби, бадилля, залишки смітної рослинності.

Ґрунт є основною домішкою, що підлягає відділенню (97-98 %).

На рисунку 1.13 приведена схема ущільнення рихлого пласта (купи), що поступає з лемеша на основний елеватор 2.

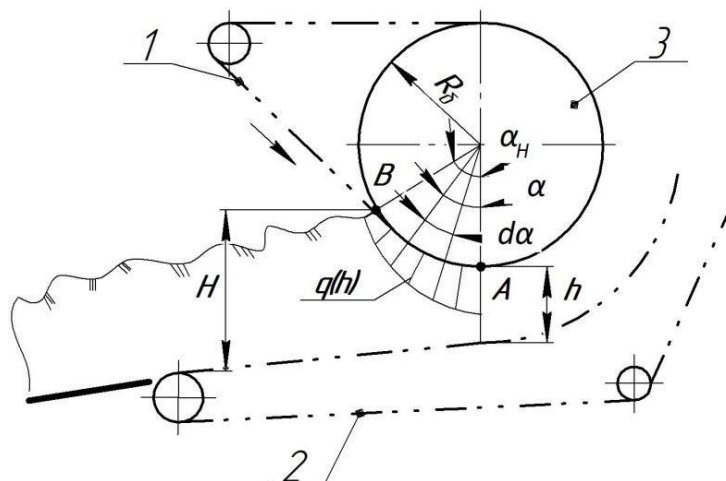


Рисунок 1.13 – Схема ущільнення пласта:

1 – бульбо-приймний елеватор, 2 – основний елеватор, 3 – барабан.

Відцентрово-вижимний сепаратор забезпечений принципово новим пристроєм для відділення бадилля від бульб картоплі (рисунок 1.14). Ні на одному комбайні немає таких простих стебловідділювачів [13].

Нескінченні ремені круглого перерізу 6 охоплюють бульбо-приймний елеватор 1. За допомогою натяжного направляючого вальця 9 задня гілка ременів притискається до провідного валу підйомного елеватора 4. Інтервал між ременями 6 більше розмірів великих бульб і дорівнює 120 мм.

Окрім ременів є пруток-відсікач 7. Він розміщений в зоні обгинання ременями 6 провідного валу підйомного елеватора. Пруток 7, закріплений на кінцях важелів 8 за допомогою пружин 10, притиснутий до ременів 6.

Окремі бульби відділяються від бадилля в процесі сходження вгору в «силовому каналі» в проміжку між гілками елеваторів 1 і 4. У кінці цього каналу гілки елеваторів 1 і 4 розходяться, внаслідок цього, вільні бульби залишаються на верхній гілці бульбо-приймний елеватора.

Основна маса бадилля і бульб, затиснута між поверхнею прийомного елеватора 4 і стебловідділюючими ременями 6, рухається вгору.

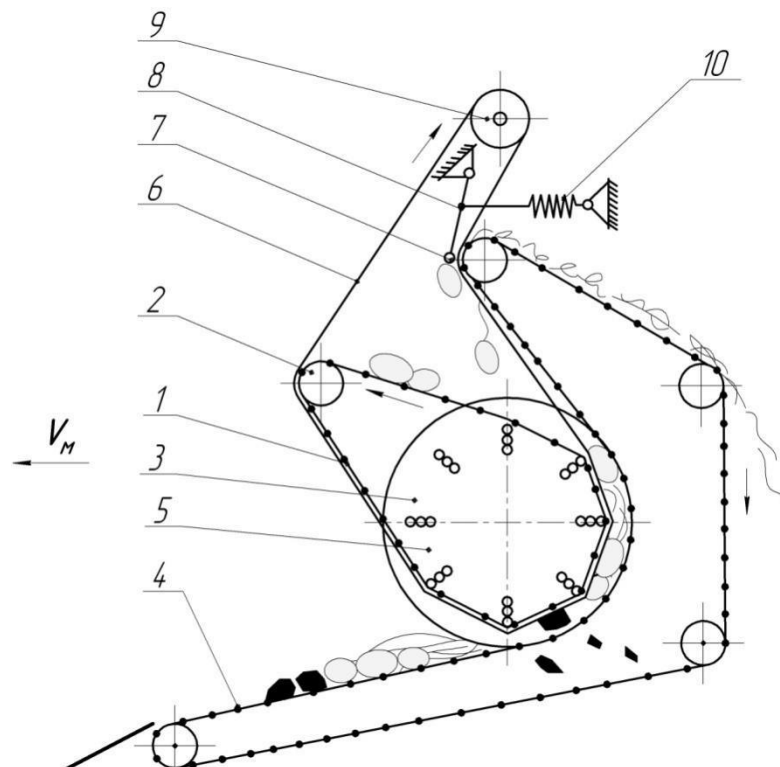


Рисунок 1.14 - Схема реміневого ботвовідділювача:

1 – бульбо-приймний елеватор; 2 - направляючий валець; 3 - барабан; 4 – підйомний елеватор; 5 - пальці; 6 - ремені; 7 - пруток-відсікач; 8 - важіль; 9 – натяжний валець ременів; 10 - пружина.

У зоні виходу купи з «силового каналу» окремі бульби, які застрягли в просвітах між прутками елеватора 4, змінюють напрям руху і відриваються від бадилля. У міру руху вгору бульби під дією прутків вичавлюються в просвіт між ременями 6. При цьому бульби переміщаються один відносно одного у різних напрямках, що викликає розрив столонів.

Проте велика частина бульб, що звисає на бадиллі, відриваються в процесі вільного польоту під дією відцентрової сили і складової сили тяжкості. Бульби, застрягли між стеблами і листям бадилля, відриваються прутком-відсікачем 7.

Необхідною умовою відриву бульб від бадилля є перевищення величини діючих сил опору столонів відриву (рисунок 1.15).

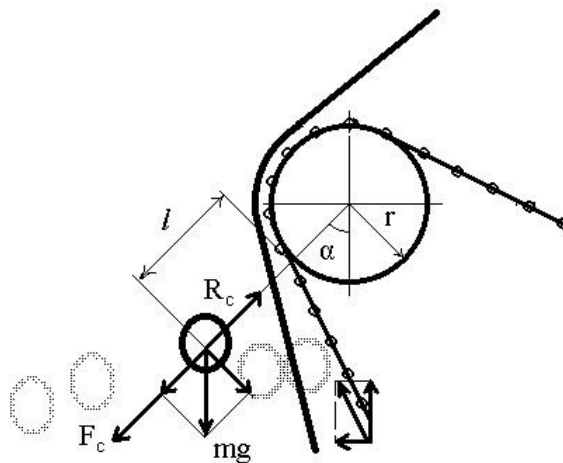


Рисунок 1.15 - Сили, що відривають бульбу від бадилля

При швидкості елеватора  $V_e = 1,7$  м/с [98], радіусі зірочки  $r = 0,08$ , масі бульби  $m = 0,08$  кг, довжині звисання бадилля  $l_0 = 0,02$  м, зусилля відриву

бульб рівне  $R_c = 3,34 \text{ Н}$ . Зусилля, необхідне на відрив бульби від столону коливається в межах 2...12 Н.

Отже, без наявності додаткового пристрою повне відділення бадилля від бульб неможливе. Таким додатковим пристроєм є пруток-відсікач.

Копач-стеблевідділювач-валкоутворювач (рисунк 1.16) складається з наступних складальних одиниць: пасивного лемеша, відцентрово-вижимного сепаруючого органу, ремінного віддільника бадилля, механізму приводу робочих органів, опорно-ходових коліс і рами. Леміш 1 за допомогою двох ріжків сполучений з поперечною балкою 2.

Основою сепаруючого органу є два диски 5, закріплених на загальному валу з інтервалом що відповідає ширині елеваторних полотен. Диски 5 забезпечені кільцевою доріжкою. По колу концентричної ободу з внутрішньої сторони дисків 5 розміщені пальці з можливістю перестановки їх по наявних отворах по радіусу.

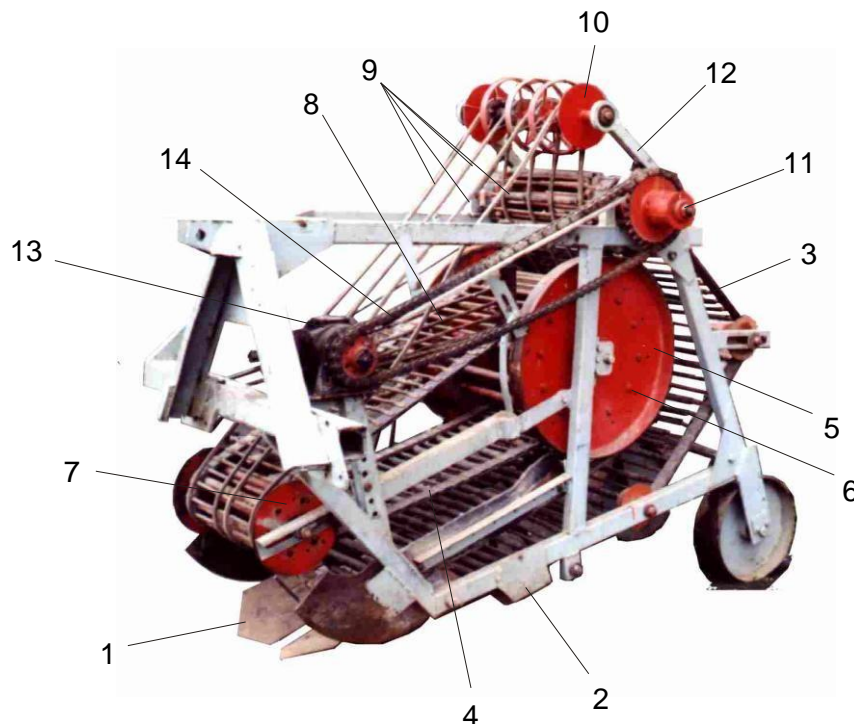


Рисунок 1.16 - Копач-стеблевідділювач-валкоутворювач:

1 – леміш, 2 - поперечна балка, 3 - підйомне полотно, 4 – бульбо-приймальне полотно, 5 – диски, 6 - пальці, 7 - направляючий валець, 8 - відбивач, 9 - стеблевідділювач, 10– направляючий валик, 11 - провідний вал, 12 - стійка, 13 - редуктор, 14 - приводний ланцюг.

На ці пальці і направляючий валець 7 надіто бульбо-приймальне полотно 4 зменшена ширина. Друге приймальне полотно 3 огинає диски 5 ззаду на дузі  $180^\circ$ . На цій дузі, між гілками елеваторів 3 і 4 утворюється кільцевий канал з регульованим радіальним проміжком (перестановкою пальців на диску).

Над верхньою гілкою нахиленого вниз бульбо-приймального елеватора 4, під кутом меншим кута тертя компонентів купи, розміщений відбивач 8.

Нескінченні ремені круглого перерізу стеблевідділювача 9 огинають бульбо-приймальне елеваторне полотно 4, при цьому вільні верхні гілки їх відведені за допомогою направляючого валика 10 з шківками назад відносно верхнього провідного валу 11 елеватора 3 до зіткнення задніх гілок ременів з прутками елеватора 3. На кінці стійки 12 встановлений валик 10.

Працює копач-стеблевідділювач таким чином. При поступальній ході агрегату леміш 1 відділяє пласт основного масиву ґрунту, частково руйнує і деформує його. З лемеша 1 пласт ґрунту поступає на верхню гілку елеватора лозини 3. При цьому на пласт ґрунту чинять тиск прутки нижньої гілки елеватора 4. Прутки активізують процес проходження дрібних часток ґрунту через просвіти між прутками основного елеватора. Проміжок (інтервал) між гілками елеваторів на криволінійній ділянці змінний на різній висоті, внизу більше, а вгорі менше.

Гілки елеваторів утворюють криволінійний силовий канал, що звужується. У цьому каналі, окрім складової сили тяжіння, на компоненти купи діють відцентрова сила і сила тиску прутків елеватора. Внаслідок цього, інтенсивно руйнуються щільні грудки ґрунту, ґрунт вичавлюється через

просвіти між прутками елеваторів 3 і 4, частково відділяються бульби від бадилля.

У верхній зоні гілки елеваторів 3 і 4 розходяться. При цьому бульби, що відокремилися від бадилля, залишаються на верхній гілці бульбо-приймального елеватора 4, а бадилля, з бульбами, що не відокремилися, затиснуте між прутками основного елеватора 3 і ременями стеблевідділювача, піднімаються до верхнього валу елеватора 3. При різкій зміні напрямку руху прутков елеватора (на повороті) і ременів стеблевідділювача виникають інерційні сили, що забезпечують надійний відрив бульб від бадилля.

Бульби, що відокремилися від бадилля, поступають на поверхню верхньої гілки бульбо-приймального елеватора 4, нахиленою вниз. Бульби скачуються вниз по похилій поверхні елеватора і зустрічаються з щитком 8, поставленим під кутом до лінії руху. Рухаючись уздовж щитка, поступово сходять з поверхні елеватора і по лотку падають вниз, утворюючи рівний валок.

Копач-стеблевідділювач-валкоутворювач не має обладнання для подання чистих бульб картоплі в накопичувач (бункер, мішки). Цей недолік був врахований в мінікомбайні-копачі.

Мінікомбайн-копач (рисунок 1.17) забезпечено поперечним транспортером для подання бульб в періодично змінювану на ходу малооб'ємну тару або візок, що поруч йде, з низькою посадкою.



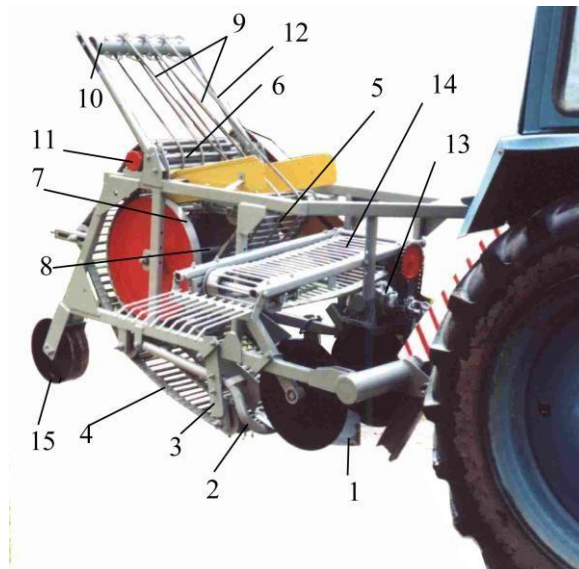


Рисунок 1.17 - Мінікомбайн-копач:

1 – леміш, 2 - рама, 3 - стійка, 4 - підйомне елеваторне полотно, 5 – бульбо-приймаюче елеваторне полотно, 6 - вал, 7 - диски з ребордами, 8 - пальці, 9 - ремені стеблевідділювача, 10 - направляючий валик, 11 - провідний вал підйомного елеватора, 12 - стійка, 13 – редуктор, 14 - вивантажний транспортер - сепаратор, 15 - ходові колеса

Мінікомбайн працює на гладких, гребневих посадках з міжряддями 60 - 70 см, може бути використаний для прибирання моркви, столового буряка, цибулі.

Мінікомбайн включає змінні викопуючі органи у вигляді лемеша або вичавних копачів, відцентрово-вивижимний сепаратор, ремінний віддільник бадилля від бульб картоплі, вивантажний транспортер.

Леміш закріплений на рамці 2, сполученою з основною рамою шарнірно. Відцентрово-вичавний сепаруючий орган складається з основного купоподйомного елеваторного полотна 4 і бульбоприймаючого елеваторного полотна 5. На відміну від попередньої машини верхня гілка бульбоприймаючого елеватора нахилена не вниз, а, навпаки, розміщена під кутом підйому. Внаслідок цього, в процесі сепарації бульби піднімаються на необхідну висоту (висота регулюється).

У такому разі, зручно розміщувати на рамі комбайна поперечний вивантажний транспортер. Отже, бульби сходять не на поверхню ґрунту, а за допомогою транспортера подаються в змінювану на ходу малооб'ємну тару (мішок, кошик) або в ємність рядом візка, що рухається.

Технологічний процес аналогічний процесу відділення бульб від ґрунту і бадилля в копатачі-валкоутворювач. В процесі польових випробувань виявився один несуттєвий недолік. Фракція ґрунту, що просіює на бульбоприймальний елеватор, безперервно поступає на приймальну частину основного елеватора і нарощує потік купи, що поступає.

Для підвищення ефективності технологічного процесу сепаруючого обладнання картоплезбиральних машин виникає необхідність в розробці раціональної конструктивної схеми, обґрунтуванні параметрів і режиму роботи сепаруючого обладнання малогабаритного картоплезбирального комбайна.

## **2 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СЕПАРУВАННЯ КЛУБНЕНЕСУЧОЇ КУПИ**

### **2.1 Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми обладнання для сепарування підйимально-спускної дії**

В процесі пошуку раціональної конструкції робочого органу для сепарування картоплезбирального комбайна спочатку зупинили вибір на сепараторі відцентрово-вижимного типу. У цьому пристрої процес сепарації, окрім сили тяжіння, активізується за рахунок дії відцентрової сили і сили обтиску купи в кільцевому каналі.

Комбайни, побудовані на основі відцентрово-вижимного сепаратора, за усіма показниками роботи перевершують відомі комбайни, побудовані за традиційною схемою. При цьому багаторазово зменшуються габаритні розміри комбайна і, відповідно, маса.

Проте інтенсифікація процесу сепарації купи за рахунок дії додаткових сил, як правило, пов'язана з ушкодженнями бульб. Крім того, що просіює на бульбо-приймаючий елеватор 3 (рисунок 2.1 а) фракція ґрунту безперервно сходить на поверхню приймальної частини основного елеватора 2 і нарощує потік купи [13]. Це відбувається через те, що верхня гілка купо-підйомного елеватора 2, огинаючи валець 7, нависає над купо-підйомним елеватором 3.

В результаті пошуків вдалося виявити абсолютно інший принцип сепарації бульбоносної маси, що виключає вищезгаданий недолік (рисунок 2.1 б) [17].

Повернувши купо-підйомний 2 і бульбо-приймаючий елеватор 3 елеватори проти напрямку руху агрегату, отримано принципово новий сепаруючий пристрій, що відділяє бульби і бадилля від ґрунтової маси у висхідному потоці. У цьому пристрої не ґрунт відділяється від бульб, а навпаки, бульби відсікаються від потоку ґрунтової маси, що рухається.

Відпадає необхідність просіювання усієї ґрунтової маси через решета. Це дозволяє скоротити технологічний шлях руху бульб і бадилля в процесі сепарації.

Як видно на рисунку 2.1, сепарувальні робочі органи складаються з одних і тих же конструктивних елементів. Змінено їх розміщення в просторі, форми і розміри сепаруючих елеваторів. У пропонованій конструкції купо-приймаючий елеватор елеватор 2 (рисунок 2.1 б) не огинає елементи конструкції, як в попередньому варіанті (рисунок 2.1 а), а розташований під кутом до горизонту. Леміш 1 (рисунок 2.1, б) розміщений між двома дисками 4, які одночасно є і підрізуючими робочими органами. Диски сполучені між собою стержнями 9. Елеваторне полотно 3, бульбо-приймаючий елеватор, що являється, огинає ці стержні і проходить через того, що веде 10 і направляючий вал 11. Ремені стеблевідділювача 5 в районі дисків 4 огинають ту ж зону, що і бульбо-приймаюче полотно 3, а у верхній зоні, в секторі провідного валу 7 купо-підйомного елеватора, відтягнуті назад. Для цього використаний направляючий валець 8. Це дозволяє нижнім гілкам стеблевідділювача стикатися з прутками купо-підйомного елеватора.

Технологічний процес: Леміш 1 підкопує бульбоносний пласт і відділяє його від основної маси ґрунту. Диски, що обертаються, 4 підрізують корені, залишки смітної рослинності і сприяють переміщенню пласта на купо-підйомний елеватор 2 без розвалу.

По купо-підйомному елеватору 2 пласт з бульбами піднімається вгору, утримуваний ременями стеблевідділювача 5 і прутками бульбо-приймаючого елеватора 3. Відстань між елеваторами 2 і 3 у міру підйому зменшується, утворюючи активну зону сепарації, підйомно-спускаючої дії. При цьому пласт руйнується, бульби втрачають зв'язок з бадиллям. Основна частина грудок ґрунту при проході між прутками елеваторів 2 і 3 в зоні їх найбільшого зближення руйнується.

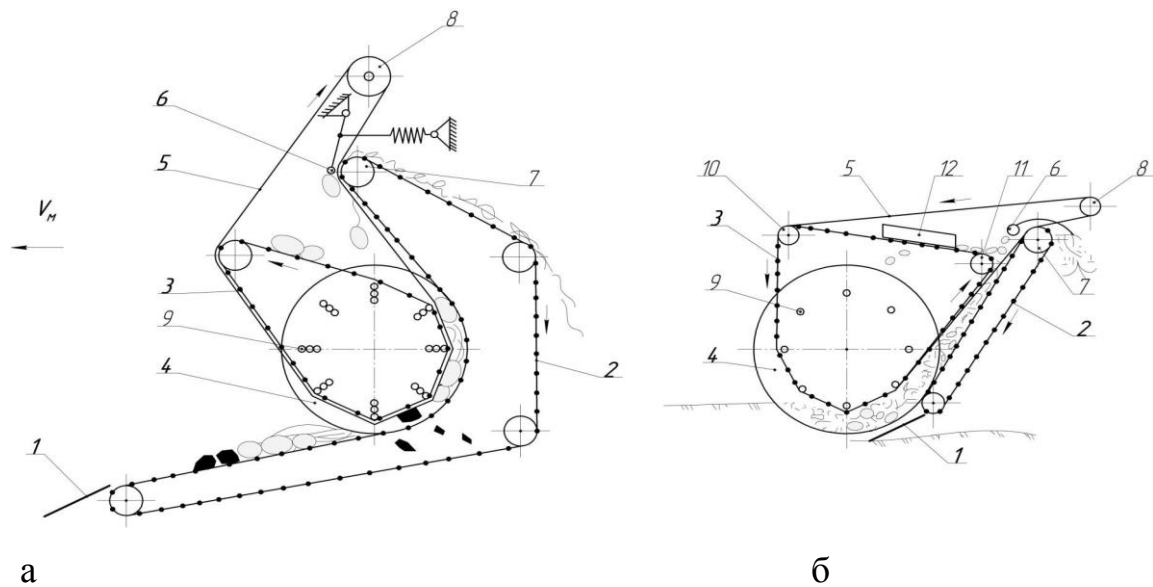


Рисунок 2.1 - Схеми досліджуваних сепараторів :  
 а - відцентрово-вижимної дії; б – підйимально-спускаючої дії: 1 – леміш; 2 - купо-підйомний елеватор; 3 - бульбо-приймаючий елеватор; 4 - диск; 5 – стеблевідділюючі ремені; 6 - бульбо-відбиваючий пруток; 7 - провідний вал купо-підйомний елеватора; 8 - направляючий валець, 9 - стержень, 10 - провідний вал, 11 - направляючий вал, 12 - відбивач.

Далі, на верхній вільній похилій ділянці бульби, звільнившись від передньої опорної поверхні (пругів елеватора 3), відділяються від маси, яка притиснута ремнями стеблевідділювача 5, скачуються вниз і підхоплюються верхньою горизонтальною гілкою бульбо-приймаючого елеватора 3. Чисті бульби картоплі, переміщаючись по ній, зустрічаються з відбивачем 12, змінюють напрям руху на  $90^\circ$  і сходять на похилий лоток, по якому поступають в тару.

Частина ґрунту, що залишилася, бадилля і рослинні залишки, притиснуті стеблевідділюючими ремнями 5 до прутків елеватора 2, піднімаються до верхньої точки і перекидаються назад по ходу агрегату. Увесь технологічний процес відділення бульб від ґрунту відбувається на шляху приблизно 1 метр [13].

## 2.2 Дослідження процесу відділення бульб картоплі від бадилля у висхідному потоці купи

При підйомі (сходженні) клубненесучої купи, ув'язненої між гілками купопідіймального і клубнеприймального елеваторів, що 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 лавини, що падає вниз ґрунтових часток.

Крім того, особливо слід виділити чотири характерні зони технологічного процесу (рис. 2.2) :

I – зона переходу бульбоносного пласта ґрунту з лемеша на купопідіймальний елеватор;

II – зона підйому і проходження купи в місці максимального зближення гілок купопідіймального і бульбоприймального елеваторів;

III – зона сходження ременів бадиллявідділюючої з поверхнею купопідіймального елеватора;

IV – зона зустрічі бульб з бульбоприймальним прутком.

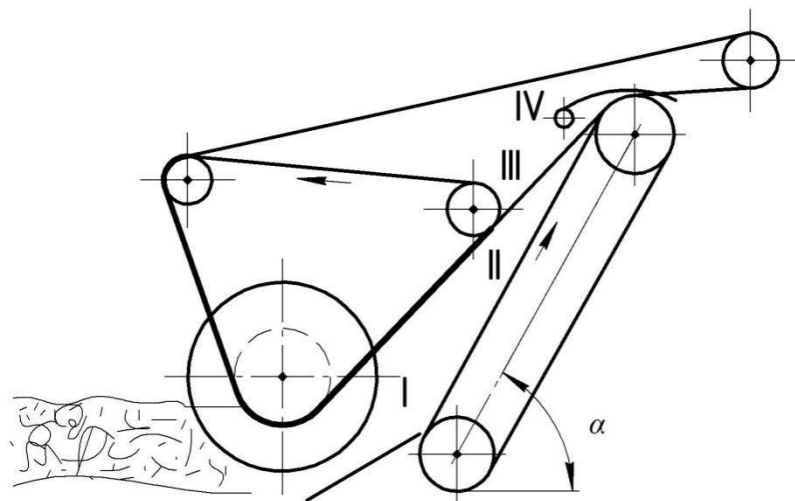


Рисунок 2.2 - Зони технологічного процесу

У зоні I (малюнок 2.3) переходу бульбоносного пласту ґрунту з лемеша на купопідіймальний елеватор швидкість компонентів купи змінюється різко

від нуля до величини швидкості руху елеватора. Причому бадилля набуває таку ж швидкість, що і бульби раніше. Інерційні сили різної величини, що виникають при цьому, призводять до розриву столонів.

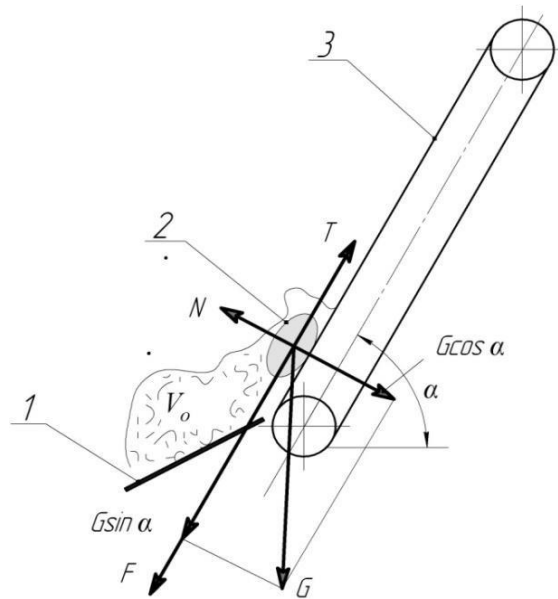


Рисунок 2.3 - Сили, діючі на бульбу в зоні I :

1 — леміш; 2 - бульба; 3 - елеватор.

Для визначення величини розривної сили  $T$  скористаємося теоремою, яка стверджує, що зміна кінематичної енергії матеріальної точки за деякий проміжок часу дорівнює сумі робіт прикладених до неї сил на відповідному переміщенні [8].

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

Складемо рівняння зміни кінетичної енергії бульби для шляху переходу з леміша на елеватор  $S$ . Тиск, який отримує бульба[4, 8]:

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

Відповідно

$$F_{mp} = f G \cos \alpha \quad (2.2)$$

Звідси

$$T = G \left( \frac{V_3^2 - V_0^2}{2g} + f \cos \alpha + \sin \alpha \right) \quad (2.3)$$

Для визначення величини сили  $T$ , що розриває стolon, використали наступні дані:  $G = mg = 0,15 \cdot 9,8 = 1,47 \text{ Н}$ ;  $V_e = 1,7 \text{ м/с}$ ;  $V_0 = 0$ ;  $S = 0,1 \text{ м}$ ;  $f = 0,74$ ;  $\alpha = 450^\circ$  [6]. Отримали  $T = 33,1 \text{ Н}$ .

**У другій зоні** (рис. 2.4) клубненесуча купа під час підйому ущільнюється за рахунок зближення двох елеваторів (підйомально-спускна дія), товщина його зменшується. Компоненти купи : грудки, ґрунт, бадилля, рослинні домішки - деформуються і постійно знаходяться в «пульсуючому» потоці (втрачають свою швидкість і прагнуть скотитися вниз, але зустрівшись з підйомальним потоком, піднімаються вище). Таке явище супроводжується розривом стolonів від бульб. Величини діючих сил впливають на міру деформації бадилля.

Товщина клубненесучої купи  $H$  в процесі підйому звужується до величини  $h$  (величина максимального розміру бульби). Вибравши початок координат  $O_I$  в точці перетину діаметру, перпендикулярного до площини руху купи, з поверхнею купи, виділимо на дузі кола клубнеприймального елеватора, дотичного до купи елементарний відрізок  $dl$ .



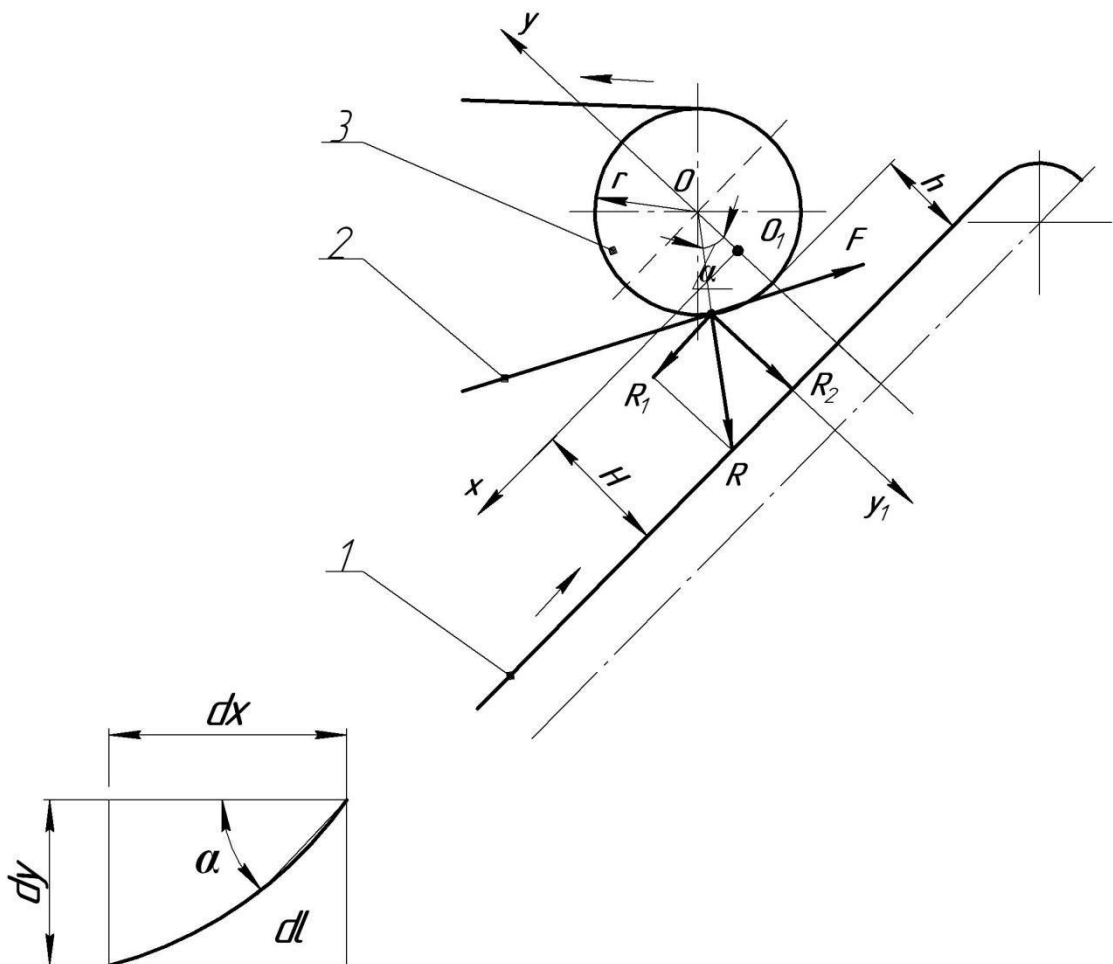


Рисунок 2.4 - Сили, які діють на бульбу в зоні II :

1 – купопідіймальний елеватор; 2 - ремінь клубнеприймального елеватора; 3 - вал.

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

$$dR = q b d l, \quad (2.4)$$

де  $q$  - коефіцієнт об'ємного, зминання ґрунту,  $\text{Н/м}^3$ .

При зменшенні товщини клубненесучої купи в межах пропорційності, коли питомий опір зростає, визначимо величину деформації :

$$G = qdy, \quad (2.5)$$

де -  $dy$  - лінійна деформація ґрунту.

Частина сегменту 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:

$$dl = dy \sin \alpha. \quad (2.6)$$

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

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

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 Оу;

$H$  - товщина клубненесучої купи, м;

$h$  - відстань найбільшого зближення елеваторів, м.

За умови рівноваги, сила опору зтягуванню купи в зону максимального сходження елеваторів  $h$  :

$$R_1 = R \sin \alpha = bq(H - h)^2 / 2. \quad (2.9)$$

Сила сопроотивлення  $R_2$ , направлена перпендикулярно плоскости движения вороха, равна:

$$R_2 = R \cos \alpha = bq(H - h)^2 \cdot \operatorname{ctg} \alpha. \quad (2.10)$$

Питомий тиск на купу можна отримати діленням сили  $R_2$  на площу прямокутної форми, довгою стороною якого є ширина купи, короткою - проекція дуги контакту гілки клубнеприймального елеватора з купою на площину купопідіймального елеватора :

$$p = \frac{q(H - h)}{2}, \quad (2.11)$$

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

$$p = R_2 \div \frac{H - h}{\operatorname{tg} \alpha} \quad H / \text{см}^2. \quad (2.13)$$

Знаючи величину питомого тиску, що виникає в масі купи, неважко визначити зусилля, діюче на бульбу :

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

де  $F$  - миделево переріз бульби ( $\text{м}^2$ ); значення якого можна набути мінімальним:

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

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

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

Під дією сили  $P_{\text{кл}}$  бульба зміщується усередині купи, що рухається, в поперечному напрямі. При значному зміщенні бульба відривається від бадилля.

Проте масовий відрив бульб відбувається під дією протидіючої сили  $R_1$ . Важливо, щоб цей опір не був причиною ушкодження бульб.

Внаслідок цього для зменшення тих, складових сили опору  $R_1$  і  $R_2$  необхідно передбачити пристрій для регулювання величини мінімального проміжку між гілками клубнепідіймального і клубнеприймального елеваторів.

Приклад розрахунку зусилля, що докладається до 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 [114], отримали  $R_{кл}$ .

**У III зоні** (рисунок 2.2) столони перерізуються і бульби відсікаються ремнями-клубневідділювачами круглого перерізу при їх сходженні разом з поверхнею пруткового елеватора. Сила, діюча на столони, залежить від натягнення ременів. Бульби, що відокремилися, витискуються на поверхню потоку купи, що рухається вгору, і, скачуючись вниз, поступають на поверхню клубнеприймального елеватора. За допомогою ременів потік купи разом з притиснутим бадиллям викидається назад по ходу машини.

Отже, реміні, 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 сході його з кінця купопідіймального елеватора.

**У IV зоні** на верхньому кінці купопідіймального елеватора розміщений клубнеотбійний пруток. Пруток відділяє в основному дрібні бульби, що не відірвалися від стolonів. Крім того, пруток запобігає викиду вільних бульб разом з бадиллям і ґрунтом з кінця купопідіймального транспортера, для чого забезпечується щитком.

Розглянемо бульбу масою  $m$ , яка ударяється о нерухомий стержень.

Діючою на бульбу ударною силою буде при цьому реакція стержня (прутка). Імпульс цієї сили за час удару назовемо  $J$ .

Якщо нормаль до поверхні бульби в точці його дотику зі стержнем проходить через центр мас, то удар буде прямим. В цьому випадку [3, 4, 11]:

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

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;  $k = 0,6 \dots 0,76$  [8, 16] маємо  $J = 0,192 \dots 0,528$  Н с.

### **2.3 Обґрунтування кута нахилу купопідіймального елеватора**

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

На нижній ділянці рух гілок елеватора спрямований в один бік, а інтервал між цими гілками при підйомі зменшується. На висоті розміщення направляючого валика клубнеприймального елеватора гілки елеваторів розходяться, внаслідок чого напрями швидкостей змінюються. Що призводить до розшарування купи.

Бульби, що звільнилися на нижній ділянці від бадилля частково підхоплюються горизонтальною гілкою клубнеприймального елеватора. Проте велика частина бульб за інерцією переміщуються вгору по похилій вільній поверхні потоку купи, яка рухається, а потім скачуються вниз. Природно, кут кочення бульб залежить від кута нахилу поверхні елеватора. При певному куту нахилу елеватора, разом з бульбами скачуються і компоненти ґрунту, передусім грудки, і спрямовуються на клубнеприймальний елеватор.

Необхідно визначити кут нахилу купопід'ємного елеватора, при якому виключається скачування грудок вниз.

Розглянемо рівновагу бульби при наступних допущеннях: бульба має кулясту форму, а площина кочення нерухома (рисунок 2.5). До бульби прикладена активна сила  $G$ . Відкинемо зв'язок - площина, замінивши її реакціями  $N$  і  $F_{np}$  [5, 17].

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 проекцій на осі  $Y$  і моментів відносно точки  $A$  для випадку граничної рівноваги :

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

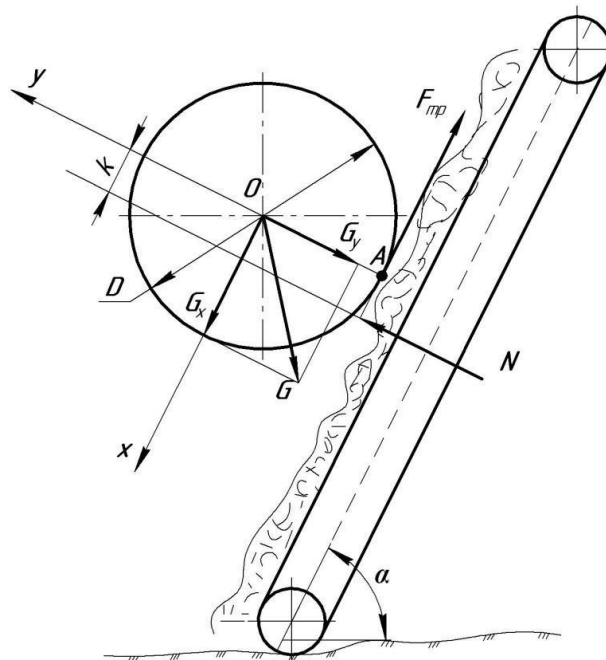


Рисунок 2.5 - Схема діючих на бульбу сил з урахуванням опору коченню

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

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

отже, кут

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2k}{D} \quad \text{или} \quad k = \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot D}{2}, \quad (2.18)$$

де  $D$  - діаметр кулястої бульби, м;

$k$  - коефіцієнт тертя кочення.

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

Значення кута нахилу, коефіцієнтів тертя кочення бульб і грудок ґрунту, що скачуються по купопідіймальному елеватору, необхідно визначити експериментальним шляхом.

## **2.4 Обґрунтування довжини ділянки вільного скачування бульб**

При прибиранні картоплі, що сходить з лемеша 1 (рисунок 2.1, б) клубненесущий пласт ґрунту, захоплюється гілками елеваторів, що рухаються: купопідіймального 2 і клубнеприймального 3 [5].

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

Усе це відбувається на нижній ділянці, де швидкості руху гілок елеваторів спрямовані в один бік, а інтервал між елеваторами у міру підйому зменшується. На висоті розміщення направляючого валика 4 (рис. 2.6) гілки елеваторів 1 і 3 розходяться, внаслідок чого напрями швидкостей змінюються.

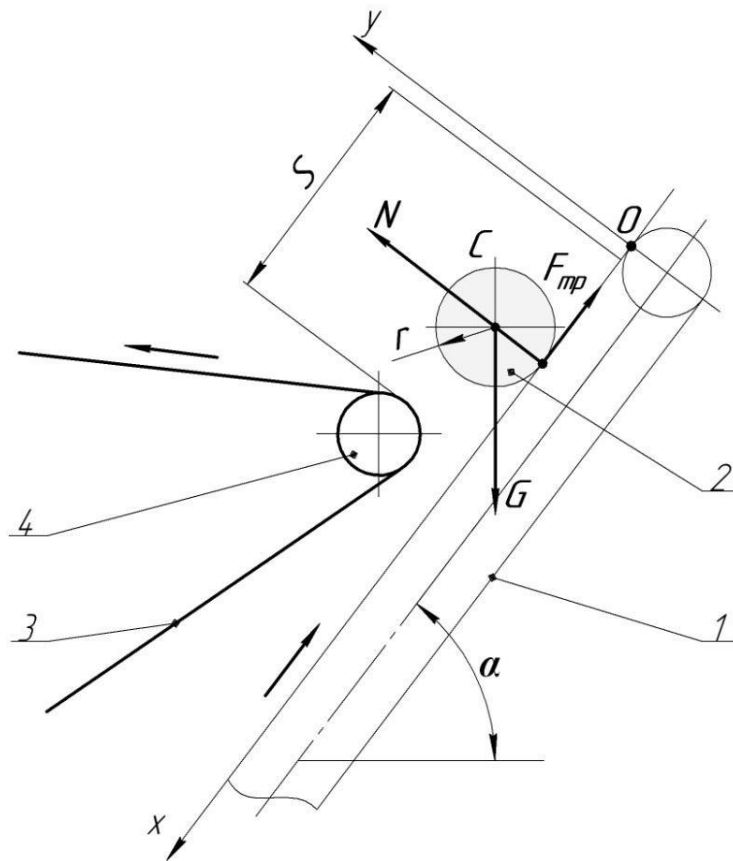


Рисунок 2.6 - До обґрунтування довжини ділянки вільного скачування бульб:

1 – купопідіймальний елеватор; 2 - бульба; 3 - клубнеприймальний елеватор; 4 – направляючий вал.

Бульби, що звільнилися від бадилля, частково підхоплюються верхньою горизонтальною гілкою елеватора 3. Основна частина бульб за інерцією захоплюється вгору по похилій вільній поверхні потоку купи, що рухається, і потім котиться вниз [10].

На початку підйому, швидкості потоку і бульб однакові, а по мірі підйому швидкість бульб рівноприскорено знижується. Після закінчення якогось часу швидкість бульби стає рівною нулю (тобто вона на мить зупиняється), після чого бульба починає спускатися, набираючи швидкість. У верхній точці швидкості дорівнюватимуть нулю і у тих бульб, які відриваються від бадилля за допомогою клубневідбійного стрижня.

При рівносповільненому поступальному русі пройдена відстань  $S$  (рисунок 2.6) визначиться по формулі:



$$S = \frac{0,5(V_k^2 - V_0^2)}{a_c}, \quad (2.19)$$

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 знайдене як без урахування опору коченню, так і з його врахуванням. При цьому зробимо допущення, що довгасті бульби мають форму циліндра.

Прискорення без урахування опору коченню. На рисунок 2.6 зображені діючі на бульбу сили:  $G = mg$  — сила тяжіння;  $F$  — найменша сила тертя, при якій можливе кочення без ковзання;  $N$  — реакція поверхні, прикладена в точці дотику. Вісь  $Ox$  спрямована уздовж похилої площини, а вісь  $Oy$  — перпендикулярно їй. Оскільки уздовж осі  $Oy$  центр бульби не переміщається, то  $a_{cy} = 0$ , отже:

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

Враховуючи, що  $a_{cx} = a_c$

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

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 кулястої бульби, м.

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

В даному випадку не можна використовувати  $F = fN$ , оскільки це рівняння має місце, коли точка дотику ковзає уздовж поверхні, а за відсутності ковзання може бути  $F \leq fN$ .

Враховуючи, що при чистому коченні  $V_c = \omega r$ , і що для суцільного тіла циліндричної форми  $I_c = 0,5mr^2$ , отримаємо вираз для розрахунку сили тертя, під дією якої бульба котитиметься без ковзання:

$$F = (mg/3) \sin \alpha.$$

Чисте кочення відбуватиметься, з урахуванням того, що  $F \leq fN$ , за умови  $f \geq (tg\alpha)/3$ .

З урахуванням опору коченню. В цьому випадку реакція  $N$  буде зміщена у бік руху на величину  $k$  і її момент відносно центру  $3$  буде рівний  $kN$ , отже:

$$(2.22)$$

$$f \geq [(tg\alpha)/3 + 2k/(3r)], \quad (2.23)$$

де  $k$  - коефіцієнт тертя кочення, м.

Отже, шлях  $S$  (довжина ділянки) вільного скачування бульб визначиться по формулі:

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

Приклад розрахунку. При  $V_k = 1,7$  м/с;  $\alpha = 45^\circ$ ;  $k = 0,06$  м;  $r = 0,03$  м [6] довжина ділянки вільного підймання та скачування клубней складе  $S = 0,47$  м.

## 2.5 Опір руху складових сепаруючого пристрою

Сепаруючий пристрій складається з двох основних частин: купопідіймального елеватора 1 (рисунк 2.7) і клубнеприймального елеваторного полотна 2. У перехідній зоні від лемеша до купопідіймального елеватора 1 руху клубненесучого пласта сприяють диски 3. Диски частково проникають в міжрядну смугу, прутки нижньої гілки клубнеприймального елеватора перекочуються по поверхні гребеня, частково руйнуючи його.

Опір руху елеваторних полотен і дисків в процесі роботи складається з наступних складових [4, 12]:

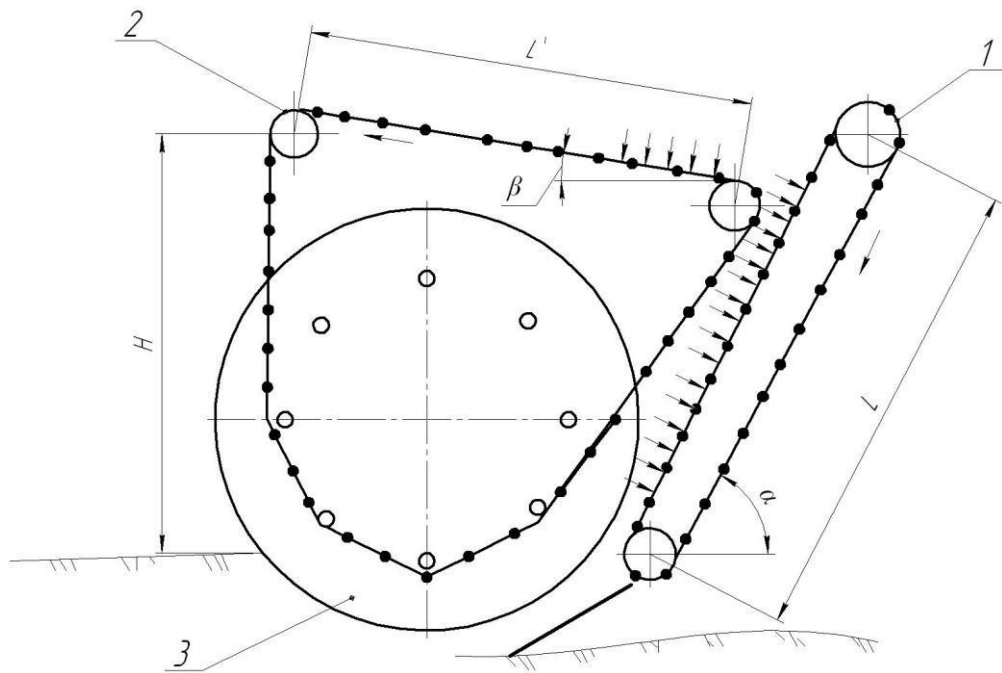


Рисунок 2.7 - Схема до визначення опору руху елеваторних полотен : 1 - купопідіймальний елеватор; 2 - клубнеприймальний елеватор; 3 - диск.

- сили тяжіння  $q_n$  погонного метра частин елеваторного полотна, що рухаються, Н;
- подачі  $q_m$  бульбоносної маси, кг/с;
- опори руху на прямолінійних ділянках елеватора, Н;
- опору руху полотна по опорах  $W$ , що складається з опору тертя в підшипниках і перекошування полотна по роликах, Н;
- сили тертя об бічні поверхні дисків, Н.

Погонна вага частин пруткового полотна, що рухаються, без урахування ваги несучих ременів, дорівнює [12]:

$$q_n = q_{np} \cdot z \cdot g \quad (2.24)$$

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

$z$  - число прутків на 1 м;

$g$  - прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ .

Подання  $q_m$

$$q_m = p_{cl} \cdot B \cdot h_{cl} \cdot V \quad (2.25)$$

де  $p_{cl}$  - щільність розпушеної маси бульбоносного шару,  $кг/м^3$ ;

$B$  - ширина пласта, що поступає в машину, м;

$h_{cl}$  - товщина шару, подана на сепаратор, м;

$V$  - швидкість машини, м/с.

Опір руху на прямолінійній ділянці купопідіймального елеваторного полотна діє уздовж ділянки по усій довжині  $L$ . Крім того, опори виникають на поворотних пунктах, на видучому верхньому валу і нижніх направляючих роликах.

Для визначення опору на прямолінійній ділянці (вантажна гілка) скористаємося формулою [24]:

$$W_{ep} = (q_n + q_e) L_p \sin \alpha + (q_n + q_e + q_k) L_p f \cos \alpha. \quad (2.26)$$

Для зворотної ділянки елеватора :

$$W_{obr} = q_n L_x (\sin \alpha + f \cos \alpha) \quad (2.27)$$

де  $L_p$ ,  $L_x$  - довжини, що розглядаються, робочого і холостого прямолінійних ділянок елеватора, м;

$\alpha$  - кут нахилу гілки до горизонту, *град*;

$q_n$  - маса погонного метра прутков, кг;

$q_e$  - маса погонного метра вантажу, кг;

$q_k$  - маса бульб, кг

$f$  - коефіцієнт опору.

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

Опір в підшипниках валу визначається вираженням [24]:

$$W_B = (S_{нб} + S_{сб} + G_3) \frac{d\mu}{D} \quad (2.28)$$

де  $S_{нб}$ ,  $S_{сб}$  - натягнення тягового елемента в точках набігання і збігання, Н,

$G_3$  - вага роликів або зірочок, Н;

$d$  - діаметр валу, 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:

$$W_B = 2 \cdot S_{нб} \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{d\mu}{D} \quad (2.29)$$

де  $\alpha$  – угол охвату ролика, зірочки, град.

Загальний опір купопідіймального елеватора

$$W_{ов} = (S_{нб} \approx S_{сб}) + W_B + W_p. \quad (2.30)$$

Загальний опір руху приймального елеватора 2 ( $W_{ок}$ )

– розподілений опір бульб картоплі приблизно на половині верхньої гілки елеватора;

– зосереджений опір на трьох поворотних пунктах: на ведучому валу, направляючому валі і підшипниках валу підйомно-викопаючих дисків.

Розраховуються ці опори по формулах (2.24, 2.26-2.29). Сумарний опір купопідіймального і клубнеприймального елеваторів

$$W_{сумм} = W_{ов} + W_{ок}. \quad (2.31)$$

Потужність, яка споживається елеваторами :

$$N = \frac{W_{сумм} \cdot V}{9560}, \quad (2.36)$$

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

## **3 МЕТОДИКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **3.1 Методики досліджень**

#### **3.1.1 Методика визначення кута нахилу купопідіймального елеватора**

Визначення кута нахилу купопід'йомного елеватора  $\alpha$  і, відповідно, коефіцієнта тертя кочення  $k$ , при якому забезпечувалося б стійке кочення бульб і виключалося скачування грудок ґрунту вниз.

При проведенні досліджень приймаємо деякі припущення і обмеження.

1. Бульби картоплі з ґрунтом різної фракції поміщаються по одному на середню частину нерухомого елеваторного полотна.
2. Фіксується кут початку скачування бульб.
3. Визначається кут нахилу елеваторного полотна до моменту масового сходження бульб.
4. Коефіцієнт тертя кочення бульб і грудок ґрунту враховується при розрахунках.

#### **3.1.2 Методика визначення робочої швидкості купопід'йомного елеватора**

Після обробки досвідчених даних п.3.2.2 були встановлені межі варіювання кута нахилу ворохоподъемного елеватора : 45...65. (додаток

Для визначення робочої швидкості купопідіймального елеватора при розрахунках встановлюємо обмеження 45....65 град, на основі аналізу джерел

1. Розраховуємо швидкість при куті нахилу купопідіймального елеватора 55 град.
2. Приймаємо швидкість елеватора 1,5 м/с; 2,0 м/с; 2,5 м/с; 3,0 м/с; 3,5 м/с.
3. Визначаємо швидкість, при якій відбувається стійке скачування бульб, ґрунтових грудок без викиду за межі елеваторного полотна.

### 3.2 Результати досліджень

#### 3.2.1 Розрахунок сил опору купопідіймального елеватора

При розрахунках приймаємо наступні допущення (рисунок 2.7) :

- за основу приймаємо геометричні розміри макетного зразка  
( $L = 1,05$  м,  $L' = 0,75$  м,  $\alpha = 70$  град.,  $\beta = 30$  град.,  $H = 0,76$  м;)
- глибина копання постійна і дорівнює  $0,20$  м;
- поперечний переріз гребеня (пласта) прямокутний;
- диски охоплюють гребінь, але не впроваджуються в щільний шар міжряддя.

1. Погонна вага рухомих частин пруткового полотна без урахування ваги несучих ременів:

$$q_n = q_{np} \cdot z \cdot g, \quad (3.1)$$

де  $q_{np}$  - вага одного прутка,  $0,5$  кг;

$z$  - число прутків на  $1$  м,  $25$  шт;

$g$  - прискорення вільного падіння,  $9,8$  м/с<sup>2</sup> .

$$q_n = 0,5 \cdot 25 \cdot 9,8 = 122,5 \text{ Н}$$

2. Подача  $q_m$  бульбонесучої маси :

$$q_m = p_{cl} \cdot B \cdot h_{cl} \cdot V, \quad (3.2)$$

де  $p_{cl}$  – щільність маси клубнесучого шару,  $1100$  кг/м<sup>3</sup>;

$B$  – ширина пласту,  $0,7$  м;

$h_{cl}$  – товщина шару, який подається на сепаратор,  $0,18$  м;

$V$  – швидкість машини,  $0,69$  м/с.

$$q_m = 1100 \cdot 0,7 \cdot 0,18 \cdot 0,69 = 95,63 \text{ кг/с}$$

3. При врожайності  $A_k$  клубней на  $1$  га їх подачу  $q_k$  до машини з шириною захоплення  $B$  визначають за виразом:

$$q_k = B \cdot V \cdot A_k. \quad (3.3)$$

Приймаємо  $B=0,7$  м;  $A_k=15$  т/га или  $1,5$  кг/м<sup>2</sup> и  $V=0,69$  м/с,  
знаходимо  $q_k = 0,7 \cdot 0,69 \cdot 1,5 = 0,72$  кг/с .

Це означає, що тара (кошик) місткістю 20 кг заповниться за 30 сек.

4. Опір на прямолінійному частині під'йому:

$$W_{zp} = (q_m + q_n) L_p \sin \alpha + (q_m + q_n) L_p f \cos \alpha, \quad (3.4)$$

де  $L$  - довжина прямолінійної ділянки, 1,05 м;

$\alpha$  - кут його нахилу до горизонту; 70 град.;

$q_m$  - подача бульбонесучої маси, 95,63 кг/з;

$q_n$  - погонна вага пруткового полотна, 12,25 кг;

$f$  - коефіцієнт опору, 0,5.

$$W_{zp} = (95,63 + 12,55 \cdot 1,05 \cdot 0,93 + (95,63 + 12,55) \cdot 1,05 \cdot 0,5 \cdot 0,34) = 125 \text{ кг} = 1250 \text{ Н}$$

5. Опір на зворотній ділянці елеватора:

$$W_{обp} = q_n L (\sin \alpha + f \cos \alpha) = 12,25 \cdot 1,05 (0,93 + 0,5 \cdot 0,34) = 14,15 \text{ кг} = 145,5 \text{ Н}.$$

6. Опір в підшипниках валу визначається виразом:

$$W_B = (S_{нб} + S_{сб} + G_z) \frac{d\mu}{D}, \quad (3.5)$$

де  $S_{нб}$ ,  $S_{сб}$  - натягнення тягового елемента в точках набігання і збігання, Н;

$G_z$  - вага роликів або зірочок, Н;

$d$  - діаметр валу, цапфи, м;

$D$  - діаметр ролика, зірочки, м;

$\mu$  - коефіцієнт тертя в підшипниках,  $\mu = 0,03 \dots 0,06$ ;

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



$$W_B = 2 \cdot S_{нб} \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{d\mu}{D}, \quad (6)$$

де  $\alpha$  – угол охоплення ролика, зірочки.

7. Натягнення тягового елементу в точках набігання і збігання

$$S_{нб} \approx S_{сб} = W_{зр} - W_{обр} = 1250 - 145,5 = 1104,5 \text{ H}.$$

8. Опір в підшипниках верхнього ведучого валу:

$$W_B = 2S_{нб} \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{d \cdot \mu}{D} = 2 \cdot 1104,5 \cdot \sin 70^\circ \frac{0,03 \cdot 0,03}{0,180} = 1,2 \text{ H}.$$

9. Опір в підшипниках нижніх направляючих роликів :

$$W_p = 2S_{нб} \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{d \cdot \mu}{D} = 2 \cdot 1104,5 \cdot \sin 90^\circ \frac{0,025 \cdot 0,03}{0,1} = 16,56 \text{ H}.$$

10. Загальний опір купопідіймального елеватора

$$W_{ов} = (S_{нб} \approx S_{сб}) W_{\epsilon} + W_p = 1104,5 + 1,2 + 16,56 = 1122,26 \text{ H}.$$

### 3.2.2 Розрахунок сил опору клубнеприймального елеватора

Очікуване навантаження на елеваторі:

- бульби з домішками  $q_{кл} = 2 \text{ кг/м}$ ;
- зосереджене навантаження в зоні переходу пласта з лемеша на купопідіймальний елеватор  $q_r = 22 \text{ кг}$

1. Опір на прямолінійній підйомній ділянці:

$$W_{зр} = (q_r + q_n)L \sin \alpha + (q_r + q_n)Lf \cos \alpha$$

$$q_r = mg = 22 \cdot 9,81 = 220 \text{ H};$$

$$q_n = 0,5 \cdot 9,8 \cdot 25 = 122,5 \text{ H};$$

$$L = 0,75 \text{ м};$$

$$\beta = 65^\circ;$$

$$f = 0,5$$

$$W_{ep} = (220 + 122,5) \cdot 0,75 \cdot 0,9 + (220 + 122,5 \cdot 0,75 \cdot 0,5 \cdot 0,42) = 231,87 + 53,94 = 286 \text{ Н}.$$

2. Опір на прямолінійній ділянці верхньої гілки:

$$W_{ep} = (q_r + q_n) \cdot L \cos \beta$$

$$q_r = 2 \kappa z / \text{м} = 20 \text{ Н};$$

$$q_n = 5 \cdot 9,8 \cdot 25 = 122,5 \text{ Н};$$

$$L' = 0,75 \text{ м};$$

$$\beta = 30^\circ;$$

$$\cos \beta = 0,87$$

$$W_{ep} = (220 + 122,5) \cdot 0,75 \cdot 0,87 = 94,61 \text{ Н}.$$

3. Опір на зворотній ділянці елеватора :

$$W_{nop} = q_n L (\sin \beta + f \cos \beta) = 122,5 \cdot 0,76 (0,98 + 0,5 \cdot 0,17) = 85,5 \text{ Н}.$$

4. Натягнення тягового елемента в точках набігання і збігання

:

$$S_{нб} \approx S_{сб} W_{ep} + W_{ep} - W_{nop} = 286 + 94,61 - 85,5 = 296,31 \text{ Н}.$$

5. Опір в підшипниках верхнього (заднього) ведучого валу

$$W_B = 2 S_{нб} \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{d \cdot \mu}{D} = 2 \cdot 296,31 \cdot \sin 70^\circ \frac{0,03 \cdot 0,03}{0,18} = 2,72 \text{ Н}.$$

6. Опір в підшипниках верхнього (переднього) ведучого валу (що направляє) :

$$W_H = 2 S_{нб} \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{d \mu}{D} = 2 \cdot 296,31 \cdot \sin 90^\circ \frac{0,025 \cdot 0,03}{0,2} = 2,20 \text{ Н}.$$

7. Опір в підшипниках валу підйомно-викопуючих дисків :

$$W_D = 2S_{нб} \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{d\mu}{D} = 2 \cdot 296,31 \cdot \sin 90^\circ \frac{0,03 \cdot 0,03}{0,4} = 1,32 H.$$

8. Загальний опір клубнеприймального елеватора :

$$W_{ок} = 286 + 94,61 - 85,5 + 2,72 + 2,20 + 1,32 = 302,55 H.$$

Сумарний опір купопідіймального і клубнеприймального елеваторів :

$$W_{сум} = 1122,26 + 302,55 = 1425 H.$$

Швидкість елеваторного полотна  $V_n = 1,7$  м/с.

Частота обертання зірочок ведучого валу  $n = 180 \text{ хв}^{-1}$ .

Радіус зірочок ведучого валу  $r = 0,09$  м.

$$M_{кр} = W_{сум} \cdot r = 1425 \cdot 0,09 = 128 H / м.$$

$$N = M_{кр} \cdot n / 9560 = 128 \cdot 180 / 9560 = 2,4 \text{ кВт}$$

Результати розрахунків опорів елеваторів представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Результати розрахунків опорів елеваторів представлені.

№ п/п	Найменування параметрів	Одиниця виміру	Значення параметрів
1.	Опір на купопідіймальному елеваторі	кН	1,028
2.	Опір на клубнеприймальному елеваторі	кН	0,44
3.	Загальний опір елеваторів	кН	1,468

### 3.2.3 Конструктивно-технологічна схема та модель картопле-збирального комбайна

У конструктивно-технологічну схему комбайна входять два диски 8 діаметром 800 мм. Відстань між дисками дорівнює ширині елеваторного полотна. Між дисками розміщений леміш 15.

Купопідіймальний елеватор 1, що складається з верхнього ведучого валу 3 і нижніх направляючих роликів 4, розташований під кутом  $55^\circ$  до горизонту. Клубнеприймальний елеватор 2 розташовується на кільцевих доріжках між дисками 8, огинає провідний вал 5 і направляючий вал 6. Прутки елеватора,

пробігаючи по кільцевих доріжках, торкаються вершин гребенів, сприяючи частковому руйнуванню грудок ґрунту. Направляючий вал 6, забезпечений ребордами, регулює відстань між елеваторами. Ця відстань залежить від максимального розміру бульби.

Ремені бадиллявідділювача 9 в районі дисків 8 огинають ту ж зону, що і клубнеприймальне полотно 2, а у верхній зоні, в секторі провідного валу 3 купопідіймального елеватора, відтягнуті назад. Для цього використаний направляючий валець 10. Це дозволяє нижнім гілкам бадиллявідділювача стикатися з прутками купопідіймального елеватора. Ремені мають круглий переріз і розташовані з кроком 12-15 см

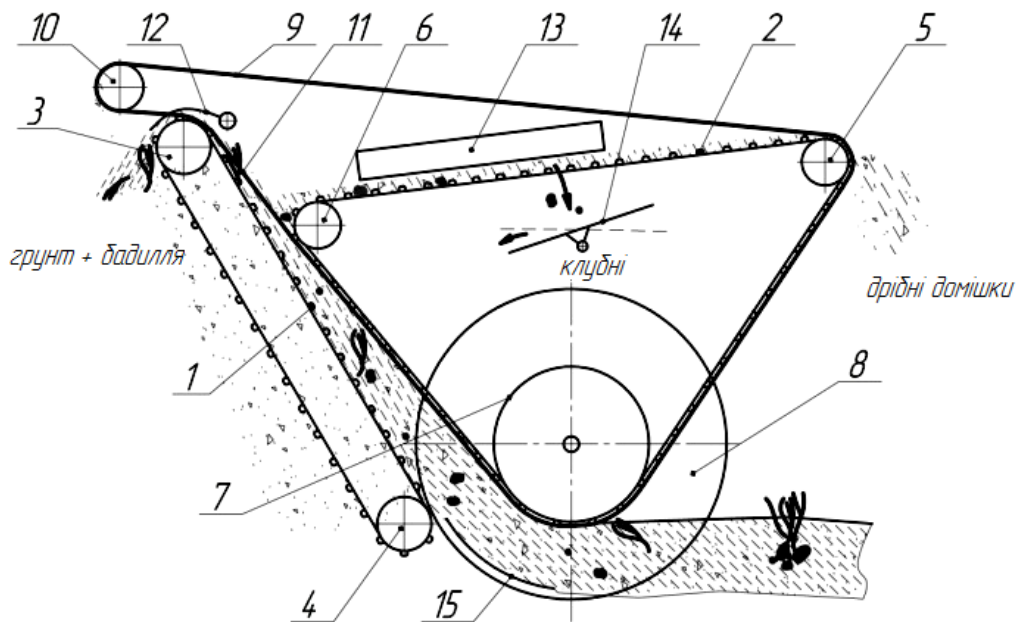


Рисунок 3.1 Конструктивно-технологічна схема малогабаритного картоплезбирального комбайна з сепарувальним пристроєм підіймально-спускної дії :

1 – купопідіймальний елеватор; 2 - клубнеприймальний елеватор; 3 - ведучий вал; 4-направляючі ролики; 5 - другий ведучий вал; 6 - направляючий валець; 7 - кільцеві доріжки; 8 - диски; 9 – бадиллявідділяючі ремені; 10 - направляючий валець; 11 - відсікач; 12 -гребінка; 13 - відбивач; 14 - лоток; 15 - леміш.

Клубневідбійний відсікач 11 прикріплений до трубки гребінки, що несе, 12. Гребінка 12 оберігає валець 10 від намотування на нього бадилля і рослинних домішок. Над горизонтальною гілкою клубнеприемного полотна 2, під кутом до лінії руху бульб розміщений відбивач 13. Лоток 14 направляє бульби в накопичувач (ящик, мішок, кошик і так далі).

Робочий процес картоплезбирального мінікомбайна відбувається таким чином.

Леміш 15 підкопує бульбоносний пласт і відділяє його від основної маси ґрунту. При цьому диски, що обертаються, 8 підрізують корені, залишки смітної рослинності, і сприяють переміщенню шару на купопідіймальний елеватор без розвалу.

По купопідіймальному елеватору 1 шар з бульбами піднімається вгору, утримуваний ремнями куповідділювача 9 і прутками клубнеприймального елеватора 2. Відстань між елеваторами 1 і 2 у міру підйому зменшується, що призводить до тиску на пласт і бадилля. Пласт руйнується, бульби втрачають зв'язок з бадиллям. Велика частина грудок ґрунту при проході між прутками елеваторів 1 і 2 в зоні їх найбільшого зближення руйнуються. Далі, на верхній вільній похилій ділянці, бульби, звільнившись від передньої опорної поверхні (пругів елеватора 2) відділяються від маси, притиснутої ремнями куповідділювача 9, скачуються вниз, і підхоплюються верхньою горизонтальною гілкою клубнеприймального елеватора 2. Чисті бульби картоплі при зустрічі з відбивачем 13, змінюють напрям руху на  $90^0$  і сходять на похилий лоток 14, по якому поступають в тару.

Частина ґрунту, що залишилася, бадилля і рослинні залишки, притиснуті бадилля відокремлюючими ремнями 9 до прутків елеватора 1, піднімаються до верхньої точки і перекидаються назад по ходу агрегату.

З приведеної 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.

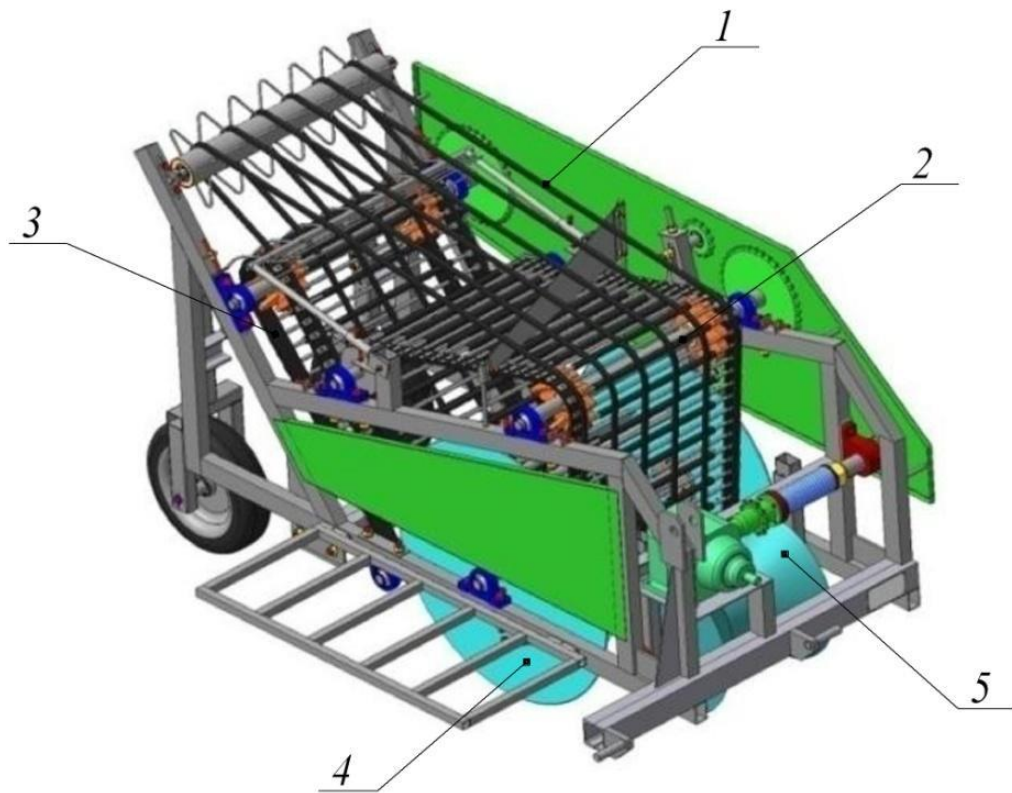


Рисунок 3.2 - 3-D модель малогабаритного картоплезбирального комбайна :

1 – ремені для видалення бадилля; 2 - клубнеприймальний елеватор; 3 - купопідіймальний елеватор; 4 – диск; 5 - каток.

#### 4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МАЛОГАБАРИТНОГО КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНУ

Розрахунок показників економічної ефективності малогабаритного картоплезбирального комбайна проводимо на основі довідкових даних [2, 6].

Запропонований комбайн з сепаруючим обладнанням піднімально-спускаючої дії порівнюємо з однорядним картоплезбиральним комбайном ККУ- 1 виробництва Республіки Білорусь.

Використовуючи дані таблиць 4.1 і 4.2 приводимо розрахунки експлуатаційних витрат, питомих капітальних вкладень, очікуваний річний економічний ефект по відомих методиках [9, 15, 17].

Таблиця 4.1 - Технічні показники для економічних розрахунків

Показник	Варіант	
	базовий ККУ- 1	новий
Кількість обслуговуючого персоналу :		
-трактористів	1	1
-допоміжних робітників	4	1
Маса, кг	3100	450
Продуктивність комбайна, га/ч	0,25	0,20
Річне завантаження, год		
-трактори МТЗ- 82	1095	-
-трактори ТК- 30	-	565
Витрата палива, кг/ч	12	7.5
Річне завантаження картоплезбирального комбайна, год	170	170
Балансова вартість, тис. грн.:		
-трактори МТЗ- 82;	450	-
-трактори ТК - 30;	-	405
-картоплезбирального комбайна.	425	110

Таблиця 4.2 - Початкових даних для розрахунків економічної ефективності

Найменування показників	Значення показника
Середня врожайність картоплі, т/га	180
Комплексна ціна 1т палива, грн.	16650
Погодинна ставка, грн. -тракториста -допоміжного робітника	32.08 23,24
Коефіцієнт, що враховує нарахування на заробітну плату	1,3
Норма відрахувань на поточний ремонт і техобслуговування, % -трактор -картоплезбиральний комбайн	9,9 9,0
Норма амортизаційних відрахувань, % -по тракторах -по картоплезбиральних комбайнах	9,1 12,5
Нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень для інвестора	0,3

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

витрати праці, люд., - год/га,

$$Z_T = \frac{n_M}{W_{\text{ч}}} + \frac{n_P}{W_{\text{ч}}} \quad (4.1)$$

де  $n_M$ ,  $n_P$  - відповідно кількість механізаторів і обслуговуючого персоналу;

$W_{\text{ч}}$  - продуктивність прибирального агрегату за 1 годину експлуатаційного часу, га/год.

Витрати на заробітну плату з нарахуваннями, грн/га,

$$C_z = \frac{\delta_z C_{\text{чм}}}{W_{\text{ч}}} n_M + \frac{\delta_z C_{\text{чр}}}{W_{\text{ч}}} n_P \quad (4.2)$$

де  $\delta_z$  - коефіцієнт, що враховує нарахування на заробітну плату;



$C_{чм}, C_{чр}$  - відповідно погодинна ставка механізатора і обслуговуючого робітника, грн./год.

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

$$C_e = 10^{-3} \cdot C_z q_e \quad (4.3)$$

де  $C_z$  - комплексна ціна 1т палива, грн/т;

$q_e$  - питома витрата палива, кг/га.

Амортизаційні відрахування, грн/га :

$$A = \frac{B_k a_k}{T_k W_{ч} \cdot 100} + \frac{B_T a_T}{T_T W_{ч} \cdot 100}$$

де  $B_k, B_T$  - відповідно балансова вартість комбайна і агрегуючого трактора, грн.;

$a_k, a_T$  - відповідно норми амортизаційних відрахувань (%) по комбайну і агрегуючому трактору;

$T_k, T_T$  - відповідно річне завантаження комбайна і агрегуючого трактора, год.

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

$$P = \frac{B_k r_k}{T_k W_{ч} \cdot 100} + \frac{B_T r_T}{T_T W_{ч} \cdot 100}$$

де  $r_k, r_T$  - відповідно норми відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування (%) комбайна і агрегуючого трактора.

Інші витрати, грн/га :

$$П_p = 0,05(C_z + C_e + A + P)$$

Експлуатаційні витрати на 1га, грн./га :

$$C = C_z + C_e + A + P + П_p$$

Питомі капітальні вкладення, грн./га,

$$K = \frac{B_{\kappa}}{T_{\kappa} W_{\kappa}} + \frac{B_T}{T_T W_T}$$

Результати розрахунків експлуатаційних витрат і питомого капітального вкладення приведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 Економічні показники

№ з/п	Показник	Позначення	Одиниця виміру	Варіант	
				базовий	новий
1	Витрати праці	$З_T$	люд.,- год/га	20	10
2	Витрати на заробітну плату з нарахуваннями	$C_z$	грн./га	650,127	359,529
3	Витрати на паливно-мастильні матеріали	$C_2$	грн./га	815,85	624,19
4	Амортизаційні відрахування	$A$	грн./га	1402,596	734,339
5	Відрахування на поточний ремонт і технічне обслуговування	$P$	грн./га	1064,194	648,721
6	Інші витрати	$П_p$	грн./га	175,084	106,819
7	Виробничі витрати на експлуатацію агрегатів	$C$	грн./га	4129,385	2485,105
8	Питомі капітальні вкладення	$K$	грн./га	11662,03	6850,18
9	Економічний ефект	$E_p$	грн		104986
10	Термін окупності	$T_{ок}$	рік		1,05

Річний економічний ефект визначаємо по формулі:

$$E_p = [(C_{\bar{o}} + E_n K_{\bar{o}}) - (C_n + E_n K_n)] A_n \quad (4.4)$$

де  $C_{\bar{o}}$ ,  $C_n$  - експлуатаційні витрати на 1 га прибраної площі, грн./га;

$E_n$  - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;

$K_{\bar{o}}$ ,  $K_n$  - питомі капітальні вкладення при базовому і новому варіантах, грн./га;

$A_n$  - річне завантаження картоплезбиральної машини, га.

$$A_n = T_k \times W_q = 170 \times 0,2 = 34 \text{ га.}$$

Після підстановки числових значень параметрів отримуємо:

$$E_p = [(41292,48 + 0,3 \times 11662) - (2485,5 + 0,3 \times 6850)] \times 34 = 104986 \text{ грн.}$$

Таким чином впровадження у виробництво комбайна, що відділяє бульби від ґрунту і бадилля у висхідному потоці купи дозволяє отримати річний економічний ефект на площі 34 га з розрахунку на один комбайн 104986 грн. Термін окупності складає:  $T_{ок} = B_k / E_p = 1,05$  роки.

## ВИСНОВКИ

1. На основі проведеного аналізу конструктивних, теоретичних досліджень різних сепаруючих пристроїв картофелезбиральних машин запропоновано схему сепаруючого пристрою підіймально-спускної дії малогабаритного картоплезбирального комбайну.

2. Отримані аналітичні залежності взаємодії сепаруючого пристрою підіймально-спускної дії з клубненесучою купою. Виділені чотири характерні зони технологічного процесу. У зоні переходу бульбонесучого шару ґрунту з лемеша на купопідіймальний елеватор визначено зусилля на відрив стонів від бульб. У зоні підйому і проходження купи в місці максимального зближення гілок елеваторів визначено зусилля, що діє на бульбу. У зоні сходження ременів бадиллявідокремлювача з поверхнею купопідіймального елеватора відбувається витискування бульб на поверхню потоку купи. У четвертій зоні, зустрічі бульб з клубнеотбійним прутком, визначена ударна реакція бульби о нерухомий стрижень. Обґрунтовані параметри: кут нахилу купопідіймального елеватора, довжина ділянки вільного скачування бульб.

3. В результаті аналізу було з'ясовано параметри і режим роботи сепаруючого пристрою картоплезбирального комбайна: кут нахилу елеватора  $\alpha = 55$  град., довжина робочей поверхні елеватора  $L = 1200$  мм, відстань між гілками ворохопідійомного і клубнеприймального елеваторів в зоні їх максимального сходження  $h = 120-125$  мм,

4. Економічна ефективність від впровадження у виробництво малогабаритного картоплезбирального комбайна, що відділяє бульби від ґрунту і бадилля у висхідному потоці купи дозволяє отримати річний економічний ефект на площі 34 га з розрахунку на один комбайн 104986 грн. Термін окупності складає 1,05 року.