

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний аграрний університет  
Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Допущений до захисту:

Т.в.о. завідувача кафедри

к.т.н., доцент Швець Л.В.

---

(підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)

«\_\_» \_\_ грудня \_\_ 2020 р.

**Обґрунтування конструкційно -  
технологічних параметрів комбінованих  
підкопувальних органів  
картоплезбиральних машин .**

Робота на здобуття освітнього ступеня  
«Магістр» за спеціальністю 208 Агроінженерія

Виконав: студент

Мруг Валентин Валентинович

---

Керівник: д.т.н., професор

Анісімов Віктор Федорович

---

## Зміст

<b>Зміст .....</b>	<b>2</b>
<b>Анотація .....</b>	<b>4</b>
<b>Розділ 1. Історія, сучасний стан і тенденції розвитку картоплезбиральних машин і підкопуючих органів.....</b>	<b>6</b>
1.1. Особливості збирання картоплі.....	6
1.1.1. Способи організації робіт .....	7
1.1.2. Способи збирання картоплі.....	7
1.2. Історія, сучасний стан і тенденції розвитку техніки для збирання картоплі .....	9
1.2.1. Перші згадки і історія розвитку картоплезбиральної техніки.....	9
1.2.2. Картоплезбиральні комбайни післявоєнних років .....	15
1.2.3. Сучасні комбайни і копачі.....	18
1.3. Підкопуючі робочі органи картоплезбиральних машин .....	22
1.3.1. Аналіз конструкцій підкопуючих органів машин для збирання картоплі і їх класифікація .....	22
1.3.2. Аналіз принципу роботи і теоретичних досліджень підкопуючих органів.....	26
1.3.3. Аналіз конструкцій і принципу роботи активних підкопуючих органів.....	29
1.3.4. Аналіз конструкцій і принципу роботи комбінованих підкопуючих робочих органів .....	32
<b>Розділ 2. Теоретичні дослідження підкопуючих органів.....</b>	<b>37</b>
2.1. Конструктивно-технологічна схема підкопуючих органів .....	37
2.2. Дослідження геометрії підпружиненого лемеша .....	39
2.3. Механіка взаємодії лемеша із зв'язним пластом ґрунту .....	41
2.4. Теоретичне обґрунтування параметрів пружини лемеша .....	45
2.5. Дослідження величини підскоку компонентів бульбоносного пласта.....	48

2.6. Теоретичні передумови до обґрунтування застосування діляника бульбоносного пласта .....	62
--	----

### **Розділ 3. Програма, методика експериментальних досліджень картоплекопача з вдосконаленим підкопуючим робочим органом..... 69**

3.1. Програма експериментальних досліджень.....	69
3.2. Методика агротехнічної оцінки .....	69
3.2.1. Методика зняття характеристики ділянки випробувань .....	70
3.2.2. Методика досліджень культури картоплі .....	70
3.3. Методика визначення раціональних параметрів вдосконаленого підкопуючого робочого органу.....	71
3.4. Методика проведення порівняльних польових досліджень серійного і вдосконаленого картоплекопачів .....	74

### **Розділ 4. Результати експериментальних досліджень картоплекопача з вдосконаленим підкопуючим робочим органом..... 78**

4.1. Результати агротехнічної оцінки.....	78
4.1.1. Характеристика ділянки випробувань .....	78
4.1.2. Результати зняття характеристики культури картоплі.....	82
4.2. Результати визначення раціональних параметрів вдосконаленого підкопуючого робочого органу.....	83
4.3. Результати господарських досліджень серійного і вдосконаленого картоплекопача КТН-2В.....	86
4.3.1.Об'єкт	польових
досліджень .....	86
4.3.2. Експериментальні дослідження в польових умовах.....	86
4.4. Визначення повноти збирання, втрат і ушкоджень бульб картоплі	88
<b>Література.....</b>	<b>92</b>
<b>Додатки.....</b>	<b>101</b>

## Анотація

Мруг Валентин Валентинович. Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів комбінованих підкопувальних органів картоплезбиральних машин.

Магістерська робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» зі спеціальності 208 «Агроінженерія», Вінницький національний аграрний університет Міністерства освіти і науки України, Вінниця, 2020.

Магістерська робота складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 82 найменувань. Основна частина роботи викладена на 101 сторінках машинописного тексту.

Метою магістерської роботи є обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів комбінованих підкопувальних органів картоплезбиральних машин.

Для досягнення мети в роботі вирішено такі завдання:

1. Провести аналіз існуючих конструкцій картоплезбиральних машин і підкопувальних робочих органів, на основі якого визначити перспективний напрямок їх вдосконалення.

2. Теоретично обґрунтувати параметри робочих органів картоплезбиральних машин.

3. Провести лабораторно-польові дослідження експериментального картоплекопача.

Ключові слова: картоплезбиральна машина, підкопувачі органи копачів, леміш, прутковий елеватор, грохот, дискові ножі, картопля.

## В с т у п

Однією з причин, що стримують розвиток картоплярства в фермерських та селянських господарствах є низький рівень матеріально-технічного постачання недорогою, продуктивною технікою для основних процесів обробітку картоплі. Так розглядаючи найбільш трудомісткий процес збирання картоплі, очевидно, що використання на малих площах високопродуктивних картоплезбиральних комбайнів не економічно. Тому існує гостра необхідність в розробці картоплекопачів здатних знизити економічні витрати.

Проведення збирання картоплі з мінімальними витратами праці і коштів може бути досягнуто на підставі підвищення врожайності, створення менш енергоємних машин, поліпшення організації робіт, високого рівня селекції та насінництва. Ефективність технології може бути забезпечена лише в тому випадку, якщо вона розроблена і застосовується з урахуванням конкретних ґрунтово-кліматичних і умов місцевих господарств.

Якісне виконання технологічного процесу збирання картоплі багато в чому залежить від роботи підкопуючих органів, які в свою чергу повинні полегшувати процес сепарації. У зв'язку з цим, дослідження впливу параметрів робочих органів картоплезбиральних машин на якісні показники технологічного процесу є актуальним завданням, що має велике значення для народного господарства України.

# **Розділ 1. Історія, сучасний стан і тенденції розвитку картоплезбиральних машин і підкопуючих органів.**

## **1.1. Особливості збирання картоплі**

Збирання картоплі - найбільш трудомісткий процес. Аналіз витрат праці на усі операції виробництва картоплі показує, що близько 70% витрат доводяться на збирання. Тому комплексна механізація цих процесів і грамотне використання машин на збиранні при дотриманні агротехнічних вимог на виконання усіх операцій, забезпечують повний збір урожаю картоплі з мінімальними втратами і витратами праці [65, 74].

Збирання картоплі включає наступні операції: видалення бадилля, підкопування пласта з бульбами, руйнування пласта і відділення бульб від ґрунту, залишків бадилля, каменів і інших домішок і збір чистих бульб в тару[9, 36, 48, 71].

Як правило, перед збиранням бадилля видаляють механічним способом. При механічному способі застосовують косарки КИР-1,5Б, подрібнювачі бадилля роторні і ланцюгові [7]. Завдяки цьому заходу інтенсифікується процес дозрівання бульб і обкоркування їх покривних тканин, усуваються зараження бульб фітофторою, забивання робочих органів і полегшується функціонування бадилля-видаляючих пристроїв машин для збирання картоплі, а також, підсихання ґрунту, при її значній вологості [48, 99].

Залежно від умов збирання і наявних засобів механізації подальші операції виконуються із застосуванням картоплезбиральних комбайнів або копачів.

Застосування різноманітних схем операцій збирання і машин визначається наступними параметрами здійснення робіт : вологість і тип ґрунту; біологічним урожаєм картоплі (продовольчий, фуражний або насінний); кліматичними і природними умовами; розмірами полів; врожайністю культури; трудовими

ресурсами в господарстві, наявністю сховищ і вільних засобів транспорту в період збирання [17, 48, 50, 65, 75].

Фінансові можливості сільгоспвиробників, в придбанні відповідної збиральної техніки грають не останню роль.

### 1.1.1. Способи організації робіт

Потокове збирання. Передбачається комплекс процесів, що забезпечують збір урожаю машиною і його завантаження в транспортний засіб для перевезення на приймальні пункти заводів і господарств. В результаті витрати праці в господарствах і втрати урожаю зменшуються, а збирання прискорюється [11, 33].

Перевалочне збирання виробляється за наступною схемою: збір урожаю картоплезбиральними машинами, складування урожаю на полі у вигляді куп, валків або кагатів для тимчасового зберігання, вантаження з очищенням від домішок і перевезення на заводи для переробки або в господарства для зберігання. Така організація збирання більше трудомістка, ніж потокова, можливе зростання втрат урожаю [33, 72]. До цієї схеми, найчастіше, прибігають при зайвій засміченості продукту, або при недостатній кількості транспорту для перевезення урожаю з поля [27].

Потоково-перевалочне збирання поєднує два вищеописані способи, тобто одну частину продукції перевозять безпосередньо від машини в господарство, а іншу залишають на перевалочному майданчику. При цьому покращується використання транспортних засобів, зменшується їх потрібна кількість і скорочуються простої машин [33, 41].

### 1.1.2. Способи збирання картоплі

Роздільне збирання складається з двох фаз. Перша фаза включає підкопування пласта, часткове відділення ґрунту, рослинних залишків і домішок, а також укладання бульб з декількох рядків у вузьку стрічку-валок, де ґрунт, що пристав до бульб, підсихає, і міцність шкірки картоплі підвищується. Ця фаза збирання виконується спеціальними картоплекопачами - валкоукладальниками.

Друга фаза збирання виконується картоплезбиральними комбайнами або підбирачами і включає підбір бульб з валка, остаточне очищення від ґрунту і домішок і збір чистих бульб в бункер (тару)[29, 36, 78].

Комбінований спосіб збирання передбачає укладання бульб з двох або чотирьох рядків між двома сусідніми незібраними рядками і збирання картоплі з цих рядків комбайнами [29, 36, 78].

Збирання картоплекопачами пов'язане зі значними витратами ручної праці і застосовується повсюдно картоплекопачами різних типів. Підкопаний пласт ґрунту з кущами картоплі руйнується, а бульби скидаються на поверхню поля. Потім з поверхні поля їх підбирають вручну [36, 78].

Комбайнове збирання виконується прямим комбайнуванням, комбінованим і роздільним способами. При прямому комбайнуванні усі вказані вище операції збирання виконуються за один прохід агрегату [76, 78].

При збиранні картоплі вміст домішок в обробленому продукті по вимогах ГОСТ 53136 - 2008 допускається не більше 2 %, точність розподілу на фракції не нижче 97%, загальна кількість пошкодженої картоплі не повинна перевищувати 3 % від початкового об'єму. Бульбоносний пласт необхідно підкопувати на глибину залягання нижньої бульби плюс 0,01 м по усій ширині бульбового гнізда. Розкид ширини валка не повинен перевищувати 0,9 м при роздільному способі. Органи картоплезбиральних комбайнів мають бути відрегульовані так, щоб в тарі чистота вороху була не нижча 80%. На полях, намічених до комбайнового збирання, висота зрізу бадилля встановлюється 18-20 см, на полях, що плануються до збирання картоплекопачами, 8-10 см На посівах продовольчої картоплі бадилля скошується за 2-5 днів до збирання, на насінних посівах - за 10-12 днів.



## 1.2. Історія, сучасний стан і тенденції розвитку техніки для збирання картоплі

### 1.2.1. Перші згадки і історія розвитку картоплезбиральної техніки

Перші згадки про створення техніки для збирання картоплі і її випробування йдуть в початок ХХ століття. У 1911 - 1912 рр., на випробуваннях, проведених Департаментом Землеробства, в Харківській губернії і на Прибалтійській машиновипробувальній станції, було представлено 14 різних моделей кінних копалок. Вони включали 8 моделей однорядних копалок швиряльного типу (4 машини - з Німеччини і 2 - із США, по одній - з Англії і Росії), 4 моделі елеваторного типу (усе - із США) і по одній моделі із США - лемішного типу і з Франції - із скобою, що коливається, з прутками.

Робота машин оцінювалася при врожайності картоплі близько 15 т/га в порівнянні з ручним збиранням [6, 35].

Копалки швиряльного типу мали різну, часом складну, конструкцію приводу ротора і його лопатей. Перед ним розташовувалися два колеса з упряжкою. Деякі копалки мали бічний екран для обмеження смуги розкиду бульб. Для їх роботи було потрібно двох коней. У елеваторних копалок прутковий елеватор розташовувався за лемешем. Упряжка складалася з чотирьох коней. Привід робочих органів усіх моделей копалок здійснювався від їх коліс з шпорами [35, 44].

Випробування не виявили явних переваг копалок - або моделей копалок. Їх рекомендувалося використовувати при дефіциті робочого персоналу і в екстремальних умовах [28].

На початку 30-х років минулого століття в країні було випущено більше 20 тис. швирялок. Проте, вони не знайшли широкого застосування із-за необхідності використання сильних коней для роботи з ними, а також через відсутність особливих переваг у використанні цих машин на збиранні картоплі в порівнянні із застосуванням кінних плугів [1, 46].

В цей же час в число робіт Міжвідомчої комісії зі всесоюзних випробувань сільськогосподарських машин були включені випробування картоплезбиральних машин. У них необхідно було оцінити серійні машини цього призначення, що виготовляються на вітчизняних заводах, окремі їх зразки, створені за пропозиціями винахідників, а також наявні у той час в країні зразки зарубіжних машин [35].

У період з 1 по 30 жовтня 1933 р. в радгоспі "Россошное" Центральної чорноземної зони Росії були уперше проведені державні випробування картоплезбиральних машин (копачів), які по конструкційних особливостях були розділені на чотири групи, :

- 1) машини швирыального типу;
- 2) машини елеваторного типу;
- 3) машини елеваторного типу з додатковими розпушувачами і проштовхуючими органами;
- 4) машини елеваторного типу з збиранням картоплі в тару (умовно комбайни).

Всього на випробування було представлено 19 машин, більшість з яких були розроблені винахідниками. Крім того, були машини, виготовлені заводом Рязсельмаш (Н- 2, "ВИСХОМ-2" і "ВИСХОМ-3"), а також імпорتنі машини "Джон Дір", "Мак-Кормік", "Дауден" виробництва США. Випробування проводилися із залученням інститутів ВИСХОМ, ВИМ і заводу "Рязсельмаш". Окрім вказаних груп машин були представлені також копалки, що поєднують у своїй конструкції прутковий елеватор і просіюючий циліндр, а також елеваторні копалки, наприклад, дворядний копач фірми "Мак-Кормік" [92]. Характеристика ділянки випробувань приведена в табл. 1.1.

Таблиця 1.1.

## Характеристика ділянки випробувань

Найменування показників	Значення показників
Сорт картоплі	Вольтман
Тип ґрунту	Деградований чорнозем
Вологість ґрунту, %	11,8 - 23
Ширина міжрядь, см	60 +/- 5
Кількість бур'янів, т/га	0,8
Фактичний урожай бульб, т/га	8,6
Ширина гнізда, см	22-30
Глибина залягання бульб, см	8-15
Розміри гребенів :	
Висота, см	12-16
Ширина:	
Вгорі, см	20-45
Внизу, см	45-60

Більшість зразків за винятком машин Джон Дір, Н - 2 і ВИСХОМ - 2, ВИСХОМ - 3 (рис. 1.1), обладнаних місткостями для виходу бульб (бункер, кошик і віз), підкопували гребінь з бульбами, частково відділяли бульби від ґрунту, у тому числі за допомогою розпушувачів різних типів, і укладали їх на полі стрічкою або в розкид. На деяких машинах були встановлені різні пристрої для відділення бульб від бадилля. Колеса машин були металеві, з широким ободом.

Деякі машини подавали зібрану картоплю в тару або в транспорт. На машині Джон Дір був встановлений збоку металевий бункер з дном, що відкривається вручну, а на машині Н - 2 використовувалися кошики.

Випробування були розділені на два етапи. На першому етапі виконувалася загальна оцінка їх конструкції, визначалися показники якості роботи. Якість роботи машин характеризувалася втратами бульб, мірою сепарації ґрунту, відділенням бульб від бадилля і кількістю їх ушкоджень.

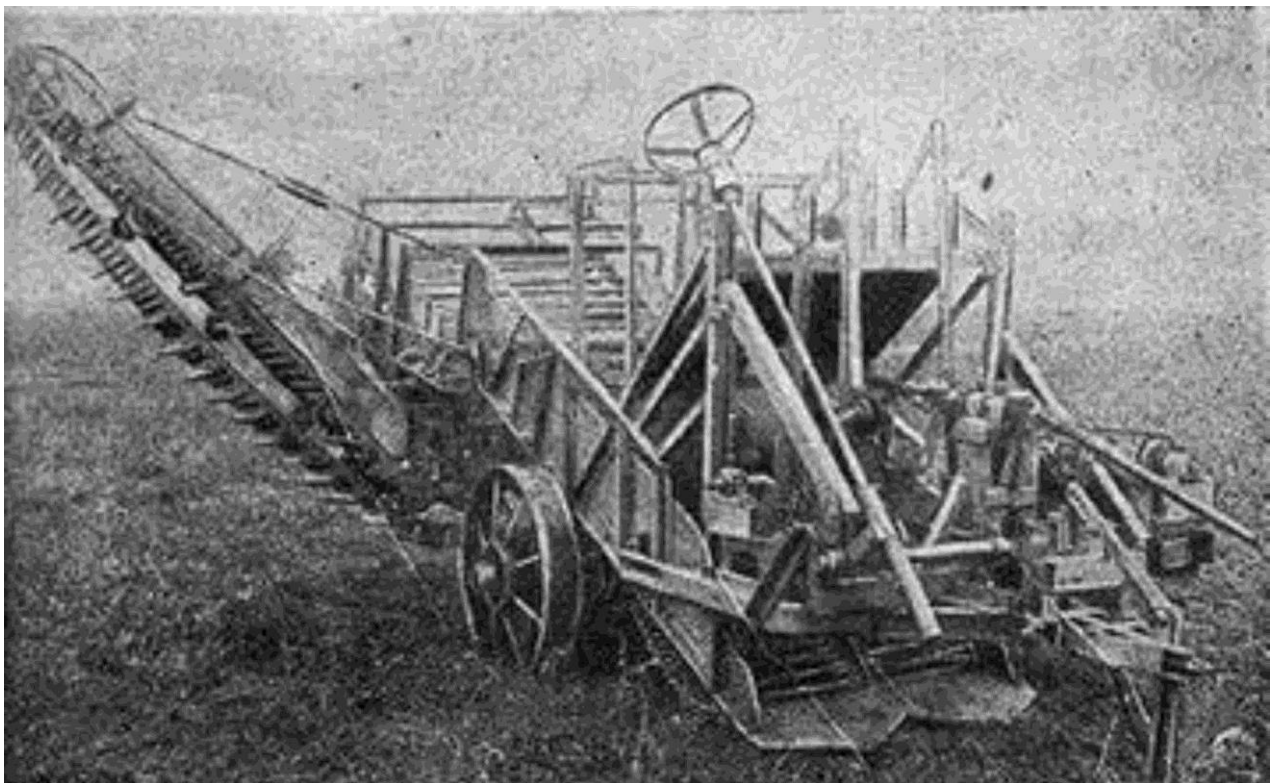


Рис. 1.1. Картоплезбиральна машина ВИСХОМ - 3

Проводилася також окрема порівняльна оцінка ефективності окремих робочих органів випробовуваних машин. З різних типів лемешів машин були відмічені плоскі лемеша машини ВИСХОМ - 3, у меншій мірі схильні до забивання. Відзначалося, що від результатів роботи першого елеватора залежить успішна робота інших робочих органів збиральних машин. При цьому установка другого елеватора дає позитивні результати по сепарації ґрунту і по відділенню бульб від бадилля. Застосування на машині ВИСХОМ - 3 вилкових розпушуючих органів над елеваторами підвищувало їх сепаруючу здатність і міру відділення

бульб від бадилля. З видалячів бадилля різних типів перевага була віддана планчатому елеватору.

На другому етапі випробувань машини оцінювалися по зниженню витрат праці при господарській роботі в порівнянні з збиранням картоплі сохою. Найбільш вигідною була визнана машина ВИСХОМ - 3. Застосування цієї машини дозволяло понизити витрати праці на 4 - 8 люд. днів/га. Рекомендувалося зменшити масу машини з тим, щоб трактор СТЗ - 15/30 міг працювати з нею на другій передачі [35].

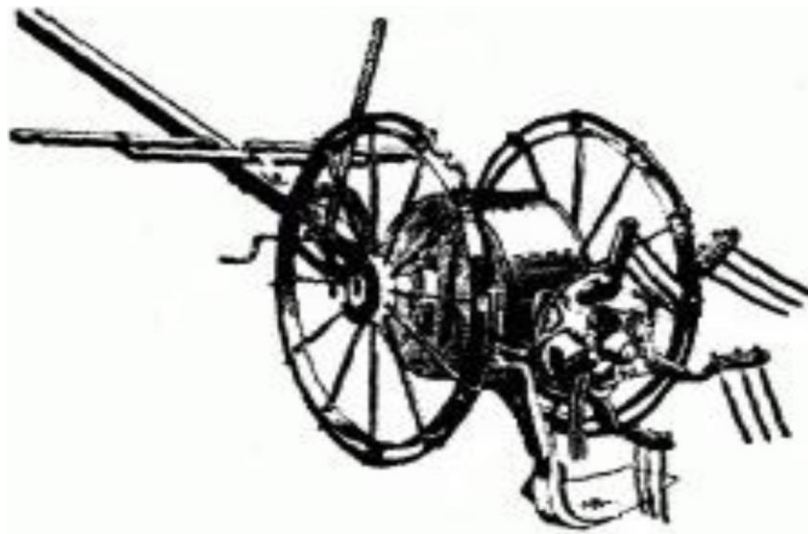


Рис. 1.2. Однорядний кінний копач швиряльного типу "К"

З урахуванням результатів випробувань 1933 р. тривала робота по розробці нових конструкцій картоплезбиральних машин. До 1936 р. випускався однорядний кінний копач швиряльного типу "К" (рис. 1.2). Він розпушував пласт, відривав бульби від стolonів і відділяв їх від ґрунту. Проте при цьому значно ушкоджував бульби і розкидав їх по поверхні поля смугою шириною 1,5-2,0 м

Надалі основний нахил був зроблений на розробку копалок елеваторного типу (рис. 1.3). Для поліпшення якості роботи нерідко замість каскадного елеватора ставили грати із сталевих лозин, з яких бадилля скидалося вилками,

що убік коливалися над ґратами, а бульби скачувалися по других нижніх ґратах на ґрунт.

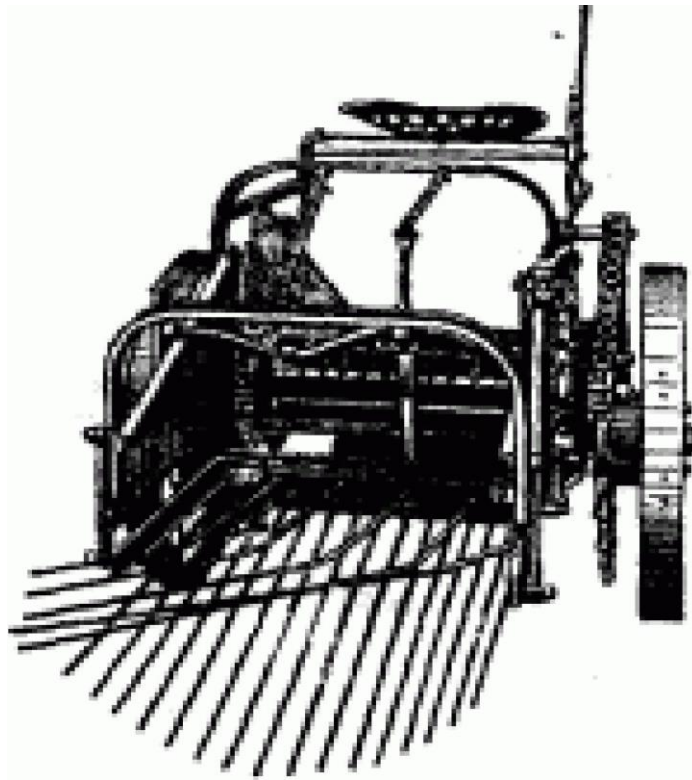


Рис. 1.3. Однорядний елеваторний копач "Джон Дір".

У 1936-1937 гг завод "Рязсельмаш" виробляв дворядний елеваторний копач М- 2, а з 1938 р. - досконаліший копає ТЭК- 2 (рис. 1.4), який випускався тривалий час і став прообразом копалоктипу КТН- 2, що виготовлялися останнім часом; КТН-2М; КТН-2Б; КТН-2В; КСТ- 1,4 і інші [42,55,85].

У ці ж роки з'явилися дослідні зразки комбайнів, які видавали зібрану в кошики чисту картоплю на піщаних ґрунтах, але на важких - зі значними домішками.

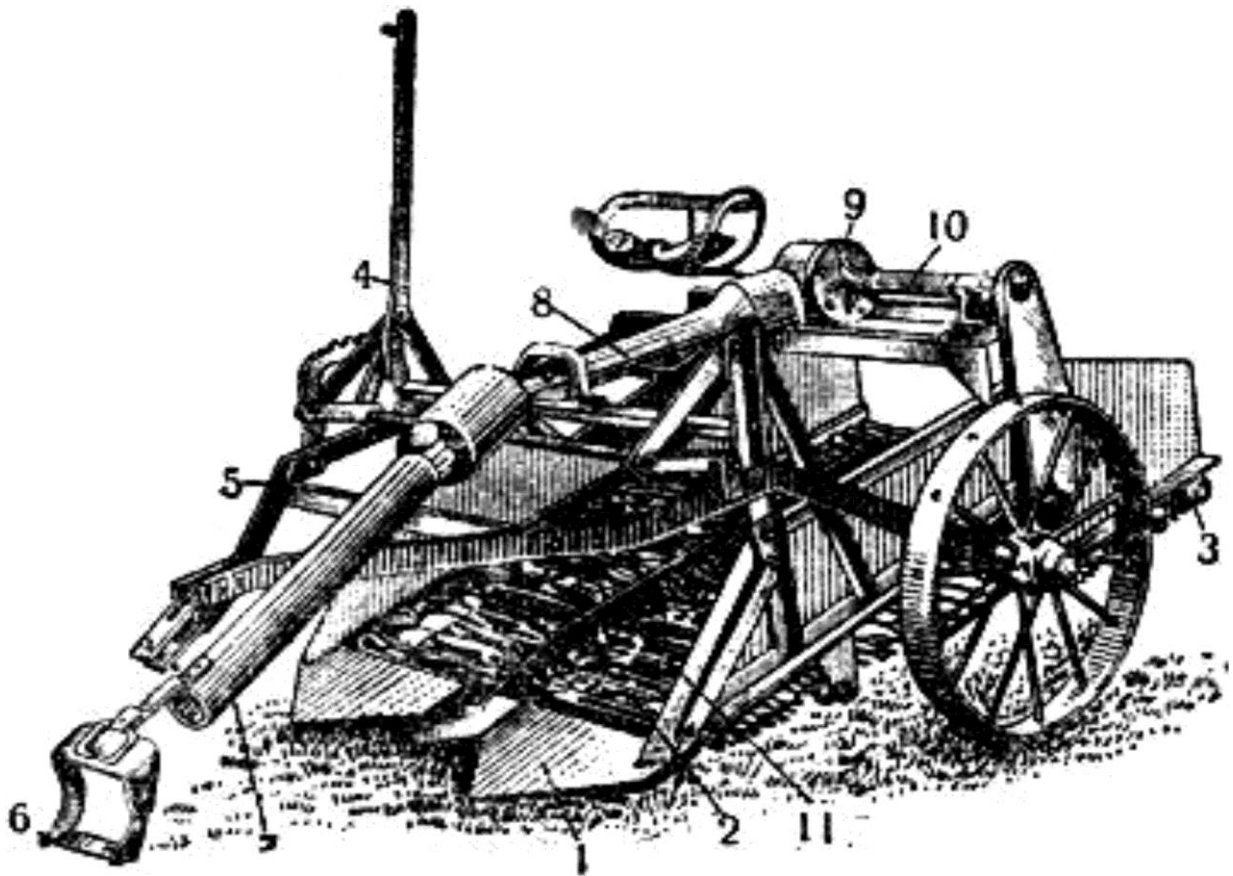


Рис. 1.4. Картоплекопач ТЭК- 2

1 - лемеші, 2 - основний елеватор, 3 - каскадний елеватор, 4 - важіль підйому, 5 - причіп, 6 - скоба захисного кожуха, 7 - захисний кожух, 8 - подовжній вал із захисним кожухом, 9 - коробка передач, 10 - поперечний вал  
11 - середня стінка

### 1.2.2. Картоплезбиральні комбайни післявоєнних років

Роботи із створення картоплезбиральних комбайнів були продовжені в післявоєнні роки. У основу цих робіт була покладена технологічна схема елеваторного комбайна КОК- 2 з баллонами- грудкорозбивачами, розроблена у ВНИИКХ в довоєнні роки. В середині 50-х гг минулого століття ГСКБ спільно з ВИСХОМом був розроблений комбайн ККР- 2 (рис. 1.5) із збором бульб в кошики, який випускався серійно, у тому числі на оборонному заводі. На базі цього комбайна була розроблена модель під маркою ККР-2Б із збором зібраної картоплі в бункер, яка була випущена великою партією [92].

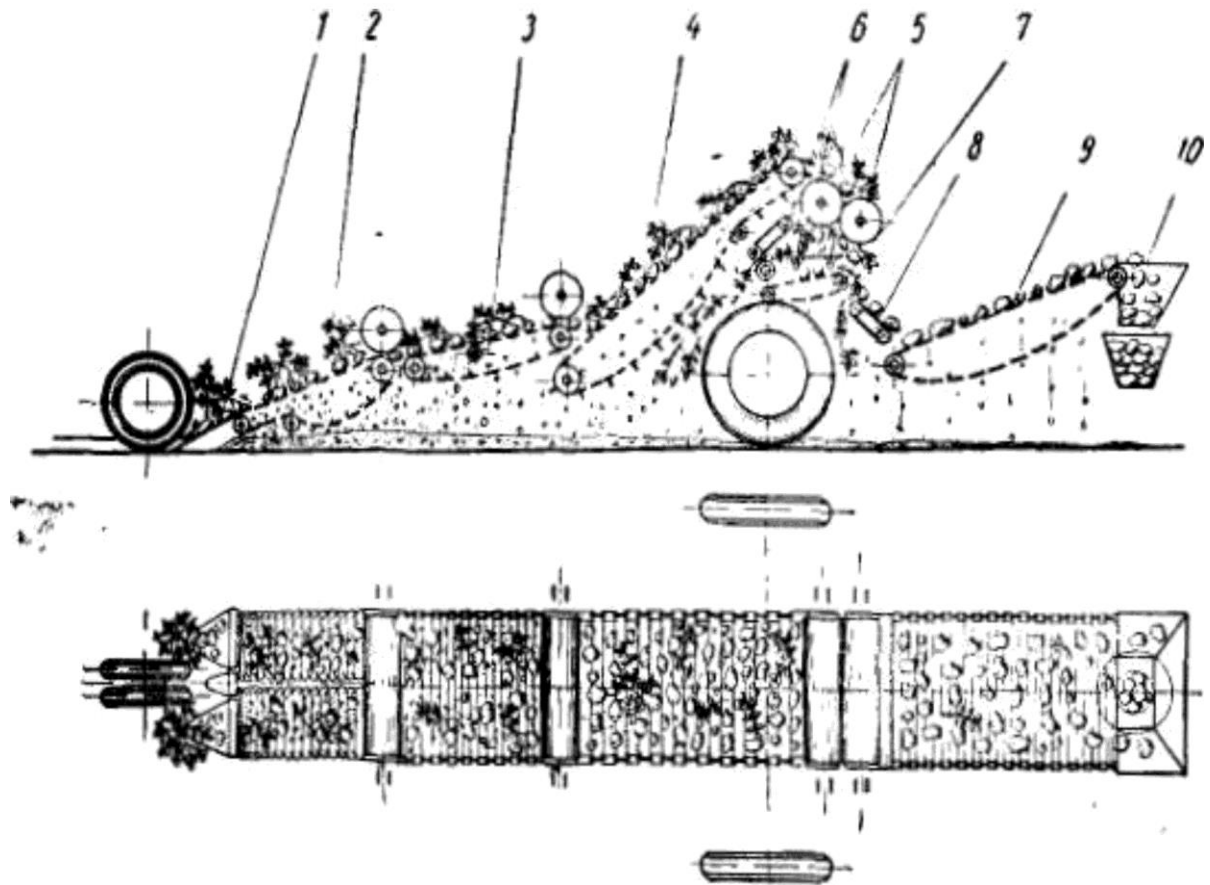


Рис. 1.5. Схема картоплезбирального комбайна ККР- 2

1 -лемеші, 2 - елеватор основний, 3 - елеватор каскадний, 4 - елеватор підйомний, 5 - пневматичні балони, 6 -бадиллявидаляючий пристрій, 7 - елеватор під грохотом, 8 - гірка, 9 - перебиральний транспортер, 10 - кошик

Надалі за результатами випробувань і роботі названих комбайнів в господарствах, що виявили низькі показники якості роботи і практично відсутність достатнього економічного ефекту, в ГСКБ був розроблений причіпний дворядний комбайн К - 3 (рис. 1.6) з перебиральним столом на другому ярусі і бункером місткістю до 800 кг Між основним елеватором і двошрешітним сепаруючим грохотом на комбайні було встановлено два (один над іншим) пневматичних балона-грудкорозбивача.



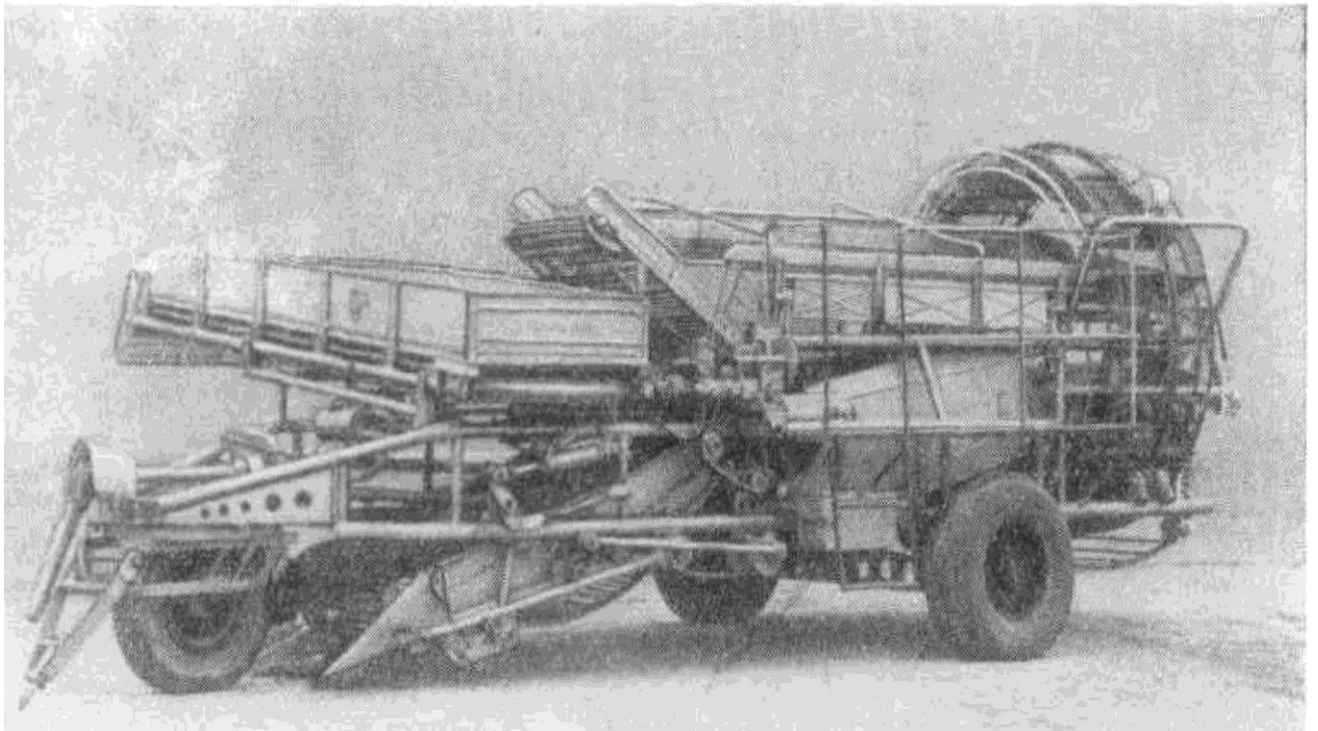


Рис. 1.6. Причпний дворядний картоплезбиральний комбайн К- 3

Значний внесок у розвиток комбайнів внесли фахівці колишньої НДР, з якими велася активна спільна робота по розробці різних по конструкції дво-трирядних причпних комбайнів, багато з яких Е- 372, Е- 675, Е- 670, Е- 665, Е- 684, Е- 686 і деякі інші поставлялися в Радянський Союз [6,35].

Надалі на основі вище перерахованих комбайнів ВИСХОМом і ГСКБ був розроблений елеваторний напівнавісний дворядний комбайн ККУ- 2 "Дружба". У кінці 70-х комбайн ККУ- 2 був модифікований, на нього встановили активний леміш, що дозволив, разом з прямим комбайнуванням, збирати картоплю роздільним і комбінованим способами. Цій машині була присвоєна марка ККУ- 2А (рис. 1.7), яка стала базовою моделлю причпних комбайнів того часу і випускалася протягом багатьох років масовими серіями - до 10,0-12,0 тис. шт. в окремі роки [31,94].



Рис. 1.7. Картоплезбиральний комбайн ККУ- 2А

### 1.2.3. Сучасні комбайни і копачі

Зіставлення показників причіпних дворядних комбайнів бункерного типу випуску різних періодів, отриманих при роботі на важких суглинках, характеризує значний їх розвиток з поліпшенням якості роботи. Нині виробляються картоплезбиральні комбайни різних технологічних схем і типів.

Сучасні комбайни, використовувані в європейських країнах, як правило, випускаються в модифікаціях. Збільшилася доля моделей причіпних комбайнів, виконаних по поворотній П - подібній технологічній схемі. У цій схемі більшою мірою реалізуються можливості технологічного процесу вторинної сепарації за рахунок застосування виносних гірок і відбиваючих валиків різної конструкції. Самохідні комбайни виконуються за прямоочною двоярусною технологічною схемою. Як основні робочі органи первинної сепарації в усіх типах комбайнів використовуються системи пруткових елеваторів на прогумованих ремнях [19, 96]. Передбачаються їх змінні полотна. Вони можуть відрізнятися по кількості в системі, ширині і довжині [31]. Під сепаруючими гірками додатково встановлюються сепаратори з аксіальними роликами, використовуються

бадиллявидаляючі пристрої, пристрої роликового або транспортерного типів. На причіпних комбайнах застосовуються пристрої для бічного підкопу. При такій схемі агрегатування трактор в роботі йде по зібраній частині поля, що знижує ушкодження бульб [18]. З метою зниження ушкоджень бульб рухливе дно бункера має амортизуюче покриття, а подаючий транспортер регулюється по висоті. На ряду моделей встановлюються бункери, що здійснюють вивантаження картоплі з них на ходу [40]. На комбайнах Rora Keiler майданчики перебирального столу для робітників виконані регульованими по висоті.

Практично на усіх останніх моделях причіпних дворядних комбайнів встановлені механічні роторні пальцьові сепаратори для відділення ґрунтових грудок і каменів [26, 64]. Їх застосування дозволяє понизити кількість робочого персоналу на комбайні в 1,5 - 2 рази. У трансмісіях комбайнів широко використовується гідропривід, що дозволяє регулювати режими їх роботи. Спостерігається високий рівень автоматизації технологічного процесу комбайнів. Здійснюється автоматичний напрям підкопуючих лемешів на збиральні рядки і підтримку заданої глибини підкопування. Є система автоматичного регулювання тиску копіюючих катків комбайнів на гребені збиральних рядків. Це підвищує міру сепарації ґрунту. З метою попередження ушкоджень бульб може бути встановлена автоматична система синхронізації швидкостей руху машини і елеваторних полотен [25, 106].

На самохідних комбайнах встановлюються гусеничні ходові системи, на причіпних - різні типи шин, у тому числі широкопрофільні, що підвищує їх прохідність (рис. 1.8). Ці ходові системи дозволяють істотно підвищити працездатність збиральних машин в тяжких умовах і у меншій мірі впливають на структуру ґрунту. У кабінах тракторів причіпних і операторів самохідних комбайнів використовуються монітори для візуального контролю процесу їх роботи і регулювання робочих режимів [35].



Рис. 1.8. Самохідний комбайн Dewulf Kwarto

Не можемо обійти стороною сучасні картоплекопачі, широко поширені в господарствах, завдяки дешевизні і можливості застосування у важких ґрунтово-кліматичних умовах, на малих ділянках. Технологічні процеси копалок включають однакові операції: підкоп бульбоносного пласта, його сепарацію і укладання картоплі на просіяний ґрунт [3, 73]. Найбільш відомими марками копалок є КТН-2В (рис. 1.9), КСТ-1,4А (рис. 1.10), Л - 652 і їх модифікації.





Рис. 1.9. Картоплекопач КТН-2В



Рис. 1.10. Картоплекопач КСТ-1,4А

За підсумками аналізу картоплезбиральної техніки можна зробити висновок, що переважна більшість виробників роблять ставку на розробку, виробництво і продаж картоплезбиральних комбайнів, оскільки їх економічно ефективно використовувати у великих господарствах, що займаються виробництвом картоплі. Але у наш час в Україні велика частина картоплі виробляється на малих сільськогосподарських підприємствах і в особистих господарствах громадян, де використання комбайнів технологічно і економічно недоцільно із-за невеликих площ, чого не можна сказати про картоплекопачі [3, 83, 87, 101].

Виходячи з цього, найбільш перспективним на наш погляд являється напрям по удосконаленню картоплекопачів, які зручніші у використанні в особистих і фермерських господарствах.

### **1.3. Підкопуючі робочі органи картоплезбиральних машин**

#### **1.3.1. Аналіз конструкцій підкопуючих органів машин для збирання картоплі і їх класифікація**

Підкопуючі робочі органи призначені для підкопування бульбоносного пласта на глибину залягання бульб і передачі його на сепаруючі робочі органи, причому при виконанні цих операцій необхідно забирати разом з бульбами мінімальну кількість ґрунту і забезпечувати краще кришіння пласта для полегшення сепарації. Виходячи з цього визначення підкопуючих робочих органів, можна з упевненістю сказати, що продуктивність і якість виконання технологічного процесу картоплезбиральної машини істотно залежать від роботи цих органів.

Підкопуючі робочі органи можна класифікувати по декількох параметрах. Основними ознаками класифікації підкопуючих робочих органів картоплезбиральних машин послужили спосіб дії їх на оброблюваний матеріал -

картопляну грядку, форма і тип поверхні лемеша [61]. Звернемося до основних типів підкопуючих органів і розглянемо їх застосування на картоплезбиральних машинах. Залежно від характеру дії на пласт описувані органи підрозділяються на пасивні, активні і комбіновані [9]. Вони мають різноманітну форму (плоскі, ночвopodobні і т. п.) і розрізняються за типом поверхні (суцільні, розрізні і т. д.) [10].

Суцільні лемеші застосовувалися на картоплезбиральних швирилках, розрізні - на машинах, що випускаються фірмою Г. Сакка (Німеччина), лемеші з прямим кутом і розрізом посередині встановлені на агрегатах фірми "Джонсон" (Англія) [55].

Значний інтерес по конструкції підкопуючого органу представляє однорядний картоплезбиральний комбайн фірми "Рекорд" (ФРН). Він мав ночвopodobний леміш з активними боковинами, катком і дисками [67]. Випробування показали, що завдяки наявності активних боковин і дисків леміш такого типу підкопує грядку без втрат бульб, не розвалює масу з боків і не забивається навіть при збиранні картоплі з розвиненим бадиллям [2]. Враховуючи це, більшість зарубіжних комбайнів мають комбіновану підкопуючу частину, що складається з плоских пасивних лемешів, копіюючих пристроїв, пасивних або активних дисків. Як приклад можна привести картоплезбиральну техніку фірми AVR (Бельгія), картоплезбиральні комбайни AVR 4100 і AVR 6200 SPIRIT (мал. 1.14), а також копачів-навантажувачі оснащені підкопуючим робочим органом, що включає плоскі пасивні лемеші, що копіюють катки і пасивні плоскі диски [43, 61].



Рис. 1.11. Картоплезбиральний комбайн AVR 6200 SPIRIT

Ще одним типом підкопуючих робочих органів є дискові лемеші (мал. 1.15), застосовані на комбайнах Е665 і Е660 (НДР) і "Імпульс" (СРСР). На кожен рядок встановлюють по одному диску. На елеватор підкопаний пласт спрямовується щитками [37, 61].

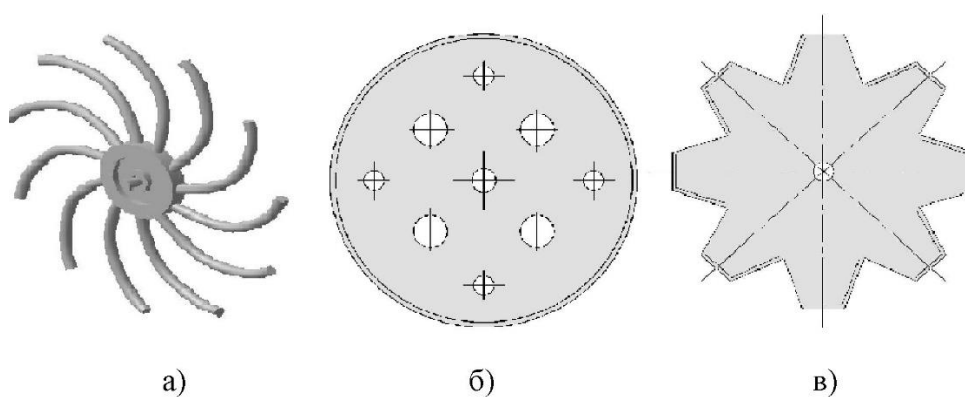


Рис. 1.12. Схеми дискових робочих органів

а) вертикальний прутковий диск; б) плоский диск; в) диск з трапецієвидними зубами



У американських картоплезбиральних машинах і підбирачах застосовується активний підкопуючий робочий орган валика. Він зазвичай складається з двох валиків (квадратного і круглого), що обертаються у напрямі переміщення пласта (рис. 1.13)[37, 51].

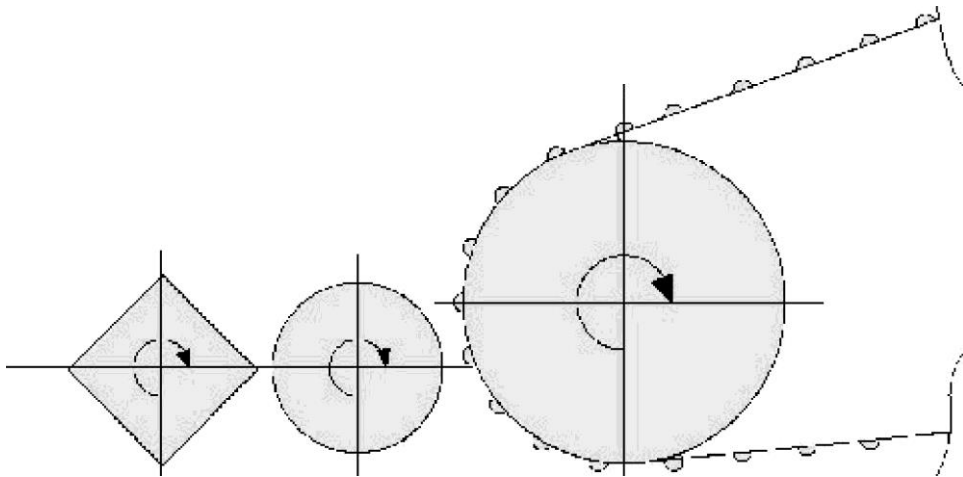


Рис. 1.13. Схема валикового підкопуючого робочого органу

Найбільш поширеним типом підкопуючих органів є пасивні лемеші. Незважаючи на ряд технологічних недоліків, найчастіше зустрічаються плоскі суцільні лемеші (рис. 1.14). Це пояснюється, передусім, простотою і надійністю їх конструкції [61, 15].

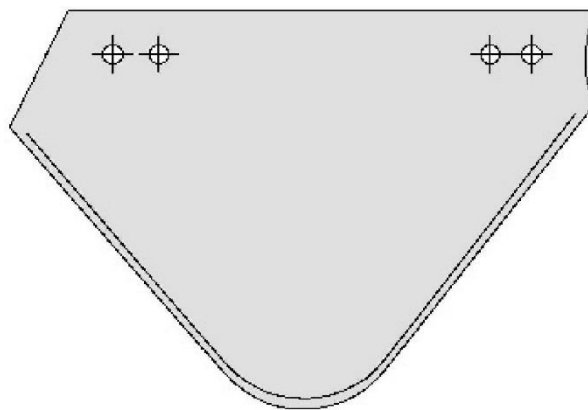


Рис. 1.14. Плоский суцільний леміш

Вібраційні підкопуючі робочі органи не набули широкого поширення в картоплезбиральних машинах, що випускалися промисловістю, з цілого ряду

причин, основною з яких є необхідність в коливальному русі великих мас, внаслідок чого в рамі і підвісах картоплезбиральної машини виникають значні динамічні навантаження [10, 61].

Нині в машинах для збирання картоплі широко впроваджуються комбіновані лемеші. Вони мають безперечні переваги по кришінню підкопуваного пласта, зниженню тягового опору і передачі підкопуваної маси на сепаруючі органи, але мають складну конструкцію, металоємні і ушкоджують бульби сильніше за пасивні лемеші.

Аналізуючи цю класифікацію підкопуючих робочих органів, можна сказати, що, незважаючи на ряд технологічних недоліків, пасивні лемеші все ж мають найбільше поширення. На підставі вищевикладеного, можна зробити висновок, що дослідження, спрямоване на вдосконалення конструкції пасивного лемеша, є актуальним завданням.

### 1.3.2. Аналіз принципу роботи і теоретичних досліджень підкопуючих органів.

Ще в 1935 році Н.В. Фирсов [55, 100] вказував, що щоб уникнути звантажування бульбоносного пласта, яке є основним недоліком пасивних підкопуючих робочих органів, "лемеша повинні виконуватися короткими і з найменшим можливим кутом різання, але в той же час необхідно мати задню кромку лемеша, розташовану по відношенню до леза на висоті не менше 100..120 мм, оскільки її положення повинне забезпечувати проходження робочих органів першого елеватора без зачіпання поверхні поля. Явищу звантажування бульбоносного пласта, на думку Н.В. Фірсова, сприяє також нависання бадилля на боковинах і сповзання пласта у бік".

"На підставі вивчення роботи картоплезбиральних машин були встановлені головні недоліки підкопуючих органів - забивання лемешів рослинними залишками з наступним звантажування маси ґрунту і розвалом її разом з бульбами на сторону".

"Із зарубіжних учених цього періоду виділяються роботи німецького професора Г. Фішера. Його дослідження зводилися до порівняльної оцінки відомих конструкцій підкопуючих робочих органів. Одночасно ставилося завдання знайти максимально можливий кут нахилу і мінімальну довжину лемеша".

"Найбільш значні розробки і дослідження підкопуючих робочих органів картоплезбиральних машин виконані науковими співробітниками ВИСХОМа Н.В. Фірсовим, В. М. Чаусом, Г. Г. Кусовим, Г. Д. Петровим, А.А. Сорокіним".

У 1955 році у ВИСХОМе проведені дослідження лемешів : плоске, вичавне, ноचвopodobного односекційного і двосекційного і вилоподобного з різальною кромкою. "Встановлено, що усі пасивні лемеша випробуваних конструкцій створюють великі опори при підкопі картопляної грядки, що призводить до звантажування ґрунту і втратам бульб картоплі. Підкопана пасивним лемешем картопляна грядка при передачі її на сепаруючий орган руйнується недостатньо, що утрудняє роботу сепаруючих органів машини для збирання картоплі" .

Дослідження [62] показали, "що вичавні лемеші не мають переваг в порівнянні з іншими лемешами".

У Білоруському інституті механізації і електрифікації сільського господарства М. Т. Ткачевим, А.Ю. Кречко і іншими ученими [62, 77] була проведена значна робота по дослідженню плоских пасивних підкопуючих робочих органів картоплезбиральних машин. "Основні дослідження були спрямовані на встановлення оптимальних значень довжини лемеша, кута нахилу його до горизонту і кута між лезами при вершині, при яких здійснювалося б пересування підкопаного бульбоносного пласта по підкопуючому робочому органу без звантажування і розвалу".

Упродовж декількох років під керівництвом Е.А. Глухих А.Е. Пермякова [62] досліджувала процес підкопування і сепарації ґрунту при збиранні картоплі,. "Було встановлено, що при збиранні картоплі, що обробляється на важких глинистих ґрунтах зі зниженою вологістю, перспективніший ночвopodobний

леміш з наступними параметрами: ширина захоплення - 415 мм; довжина лемеша - 500 мм; кут нахилу  $12^{\circ}..14^{\circ}$ .

Обнадійливі результати показали випробування робочих органів, на поверхні яких, нанесені матеріали, що мають низький коефіцієнт тертя. "Так, дослідженнями, проведеними в 1962..1965 роках співробітниками ВИСХОМа на дослідних полях учбового господарства "Відрадне" Воронежського сільськогосподарського інституту було встановлено, що фторопласт-4 і поліетилен високого і низького тиску, використані як покриття на робочі поверхні, дають позитивні результати. Було відмічено усунення залипання і зниження тягового опору до 4..5%. Але в цьому випадку залишається не вирішеним питання про довговічність полімерних матеріалів- пластмас".

"Із зарубіжних досліджень найбільший інтерес представляють роботи С. Хоукинса (Національний інститут сільського господарства Англії). Ним проведено ретельне вивчення розподілу бульб в гніздах картоплі, даний аналіз відомих конструкцій підкопуючих органів".

Провівши аналіз численних експериментальних досліджень пасивних лемешів [30, 51, 52, 55, 61, 62, 77] можна зробити висновок, "що розглянуті різновиди конструкцій пасивних підкопуючих робочих органів мають ряд загальних істотних недоліків : підвищений тяговий опір, звантажування підкопаної маси, недостатнє кришіння бульбоносного пласта, втрати картоплі за рахунок розвалу підкопуваної грядки, забивання лемешів бадиллям і іншими рослинними залишками".

Тому усі подальші роботи мають бути спрямовані на дослідження нових конструкцій підкопуючих робочих органів картоплезбиральних машин [8, 61], що усувають ці недоліки.

"Аналізуючи дані літературного огляду експериментальних і теоретичних досліджень конструкцій і принципу роботи пасивних підкопуючих робочих органів машин для збирання картоплі, можна сказати, що в цьому напрямі проведений значний об'єм роботи. Але, все ще не створена конструкція лемеша,

яка була б працездатною в усіх ґрунтово-кліматичних умовах [10, 30, 55], тому експериментальні і теоретичні дослідження пасивних підкопуючих органів необхідно продовжувати, щоб добитися підвищення ефективності їх роботи.

### 1.3.3. Аналіз конструкцій і принципу роботи активних підкопуючих органів

"З 1956 року співробітниками ВИСХОМа Г. Д. Петровим, А.А. Сорокіним, Г. Г Кусовим велися теоретичні і експериментальні дослідження вібраційних підкопуючих робочих органів картоплезбиральних машин. Отримані ними результати дали можливість створити новий підкопуючий робочий орган - вібраційний леміш, який мав ночноподібну форму і пруткову поверхню".

"Подальші дослідження дозволили розробити активний леміш у вигляді передньої різальної кромки грохота, що коливався. В цілях зменшення кількості ґрунту, що поступає, при підрізуванні грядок картоплі підкопуючий орган був профільований".

"Уперше вібраційний леміш з прямолінійною різальною кромкою був застосований в 1957 році на експериментальному комбайні К-1. Він забезпечував хороше розпушування підкопуваного бульбоносного пласта, не забивався бадиллям, усував звантажування і розвал ґрунту".

Подальші дослідження ВИСХОМа [63, 66, 79, 80] у області "вібраційних робочих органів для картоплезбиральних машин зробили можливим створення картоплекопачів КВН- 2, КВН-2М, КГ- 2 і картоплезбирального комбайна КГП-2".

"Найбільш суттєвим недоліком цих активних підкопуючих робочих органів слід вважати те, що вони виконані у разом з першим грохотом і, отже, мають з ним одні і ті ж кінематичні параметри. Внаслідок цього оптимальний швидкісний режим, вибраний для лемешів, не є найкращим для сепаруючого робочого органу".

"З 1959 року по 1963 рік В. І. Гіммельфарб проводив експериментальні дослідження вібраційного лемеша на картоплекопачі КВН-2М в умовах Північно-західної зони СРСР. Випробування показали, що застосування активного підкопуючого робочого органу в умовах цієї ґрунтово-кліматичної зони є перспективним. Ним були визначені оптимальні режими вібрації для лемешів і виявлені динамічні навантаження, діючі в механізмі підкопуючого робочого органу".

Рязанським ГСКБ була виконана велика робота в області машин для обробітку і збирання картоплі. "Ним уперше був поставлений вібраційний підкопуючий робочий орган на картоплезбиральну машину елеваторної модифікації і проведені значні дослідження по відшукуванню найкращих параметрів активного лемеша".

"У області теоретичних досліджень особливо слід зазначити роботи А.А. Сорокіна. Ним проводилися теоретичні дослідження процесу підкопування бульбоносного пласта лемешем, що коливався, з метою визначення оптимального режиму його роботи, що забезпечує мінімальний тяговий опір, ефективне переміщення і передачу пласта на сепаруючий робочий орган з незначними ушкодженнями бульб картоплі. А.А. Сорокін уперше дав теоретичне пояснення явища переміщення ґрунту по поверхні активного підкопуючого робочого органу і вивів теоретичні залежності для розрахунку оптимальних кінематичних параметрів вібрації".

"Вирішуючи спільно рівняння руху пласта у вільному польоті після відриву від лемеша і рівняння лемеша, що коливається і рухомого поступально, а також враховуючи характер траєкторії руху різальної кромки підкопуючого робочого органу, він, приймаючи ряд допущень, визначив діапазон коливань вібраційного лемеша":

$$1,7g - \cos \alpha \sin \beta < \omega^2 r < 2,6g \cos \alpha \sin \beta \quad (1.1)$$

"Теоретичні передумови А.А. Сорокіна надалі були підтверджені експериментальними дослідженнями, проведеними на ЦМІС, і лягли в основу

кінематичного дослідження механізму підкопуючого робочого органу, що коливався, проведеного К.И. Родіним, який досліджував роботу вібраційного лемеша на торф'яних ґрунтах. Ним встановлено, що найбільш працездатним підкопуючим робочим органом на торф'яному ґрунті є двосекційний ножовоподібний леміш з бічними дисками діаметром 600 мм. К.И. Родін у своїй роботі пропонує наступний кінематичний режим вібраційного лемеша : амплітуда 22..23 мм, частота 600..650 кол/хв і поступальна швидкість машини 0,6..0,8 м/с".

І.В. Нікулінін [53] були здійснені значні теоретичні і експериментальні дослідження вібраційних лемешів. "Він застосував підкопуючий робочий орган, що здійснює кутові коливання в площині лемеша. І.В. Нікулінін дані теоретичні передумови явища зниження тягового опору робочого органу, що здійснює кутові коливання, отримано аналітичне вираження для визначення тягового опору активного лемеша, встановлений вплив амплітудно-частотних параметрів коливань підкопуючого робочого органу на якісні і енергетичні показники його роботи, визначені раціональні параметри лемешів, теоретично обґрунтована і експериментально перевірена доцільність застосування підкопуючих робочих органів шириною 40 см". Ним зроблений висновок про те, що пасивні і активні робочі органи не позбавлені ряду істотних недоліків, які значно знижують техніко-економічні показники експлуатації картоплезбиральних машин [21, 34, 55].

Із зарубіжних досліджень по застосуванню вібрації в сільськогосподарських машинах, найбільший інтерес представляють роботи Егенмюллера [32,63]". Ним отримані оптимальні кінематичні режими вібраційних робочих органів ґрунтообробних машин, при яких спостерігається значне зниження тягового опору, а також дані теоретичні залежності параметрів коливань робочого органу від швидкості поступальної ходи знаряддя".

"З робіт по активних лемешах картоплезбиральних машин помітні дослідження В. Е. Фишер-Шлема і Е. Мозера. Автори показали, що при

застосуванні вібраційних підкопуючих робочих органів тяговий опір картоплезбиральних машин і буксування трактора знижуються".

З приведеного аналізу теоретичних і експериментальних досліджень лемешів, що коливаються, можна зробити висновок, що окрім переваг, у розглянутих підкопуючих органів є ряд недоліків. "Один з них - необхідність приводити в коливальний рух великі маси. Внаслідок цього в підвісках і рамі картоплезбиральної машини виникають значні динамічні навантаження. Негативною стороною цих підкопуючих органів є і те, що грядки необхідно підкопувати глибше за залягання бульб на величину рівну 2..3 см, що призводить до збільшення тягового опору машини і підвищення навантаження на сепаруючі органи".

"Істотним недоліком лемешів, що коливаються, є також і те, що із зміною ґрунтово-кліматичних умов необхідно змінювати параметри вібраційного руху, щоб не понизити техніко-економічних показників цього типу підкопуючих робочих органів картоплезбиральних машин". Одним з найкритичніших їх недоліків є велика травмованість бульб картоплі по відношенню до інших типів робочих органів.

#### 1.3.4. Аналіз конструкцій і принципу роботи комбінованих підкопуючих робочих органів

Теоретичними і експериментальними дослідженнями роботи комбінованих підкопуючих робочих органів машин для збирання картоплі займалися багато учених, у тому числі Н.И. Верещагін і К.А. Пшеченков, які у своїх роботах [12, 13, 14, 15, 53] відмічають, "що бічні диски запобігають вступу з міжрядь ущільненою колесами трактора ґрунту на лемеші, а також розрізають бадилля, розташоване в міжряддях, знижують втрати бульб картоплі в результаті запобігання розвалу підкопаного бульбоносного пласта з боків лемеша".

"К.І. Родін вказує, що постановка плоских або сферичних дискових ножів з боків підкопуючих робочих органів сприяє переміщенню ґрунту по лемешу і



значно скорочує втрати бульб. Дискові ножі розрізають корені і стебла бадилля, розташовані в міжряддях. Він запропонував методику графоаналітичного розрахунку бічних дисків".

Дослідження комбінованих підкопуючих робочих органів картоплезбиральних машин відбите в роботі [54] І.В. Нікуліна. "Ним дослідним шляхом встановлено, що глибина ходу дисків, при вибраних параметрах лемеша складає 10..12 см, з урахуванням товщини стебла бадилля визначений радіус бічного диска, який при такій глибині ходу дорівнював 27 см. З урахуванням поправки на мікрорельєф діаметр диска в цій роботі був прийнятий рівним 60 см І.В. Нікулін вважає, що раціональним варіантом розташування дисків і лемеша став варіант, коли нижня точка вертикального діаметру розташована на рівні носка лемеша. Теоретичного обґрунтування цьому положенню у своїй роботі автор не приводить".

Р. Н. Норчаев і М. Б. Угланов проводили дослідження комбінованого робочого органу, що складається "з лемеша і двох шнеків з правою і лівою навивкою, встановлених з боків лемеша, і що обертаються один назустріч одному. Бічні шнеки під час роботи охоплюють грядку, не входячи в безпосередній контакт з бульбами. Кришіння ґрунту і руйнування зв'язків між бульбами і ґрунтом відбувається в результаті поширення деформацій в бульбоносному пласті. У результаті проведених досліджень встановлено:

- тяговий опір картоплекопача з оригінальним робочим органом на 25..30% менше, ніж серійного;
- пропонуваній робочий орган усуває звантажування бульбоносної маси;
- пропонуваній робочий орган інтенсивніше руйнує пласт, внаслідок чого покращується сепарація".

"Проте, цьому робочому органу властиві такі недоліки, як складна конструкція, трудність герметизації ґрунтового каналу між елеватором і шнеками, не простий привід шнеків".

"А.П. Литвинов запропонував використовувати в картоплезбиральних машинах комбінований робочий орган, що містить активні диски, встановлені з розвалом, і невеликий пасивний леміш для передачі підкопаної маси на елеватор. Цей робочий орган забирає на 30..40% менше ґрунту, чим серійний ККУ-2А. Автором встановлено, що незважаючи на поліпшення сепарації при використанні сферичних дисків з прорізами, в цілях зниження ушкоджень бульб доцільно використовувати плоскі диски без вирізів в зоні контакту з ґрунтом і бульбами. Розширення функціональних можливостей підкопуючої частини установкою дисків під кутом хоча і дає позитивний ефект - поліпшення кришіння пласта і зменшення захоплення ґрунту, але спричиняє за собою ускладнення конструкції".

"Зниження тягового опору і інтенсивне кришіння підкопаного пласта відбувається при роботі бітерних пристроїв, встановлених між лемешем і приймальним елеватором. Ефективність роботи бітера залежить від його конструкції, режиму роботи і проявляється, коли колова швидкість бітера вища за швидкість руху полотна елеватора. Застосування бітера також призводить до підвищення ушкодження бульб картоплі і ускладнює конструкцію машини. Робота підкопуючої частини в цьому випадку відрізняється тим, що зменшується довжина лемеша і покращується передача підкопаного пласта на сепаруючі органи".

Для поліпшення роботи приймальної частини картоплезбиральних машин були проведені ряд експериментальних досліджень підкопуючих робочих органів [39, 68, 69, 70]. "З метою зменшення забору маси, поліпшення просування маси в підкопуючу частину введені:

- пасивні, встановлені в розвал диски з шнеком, розташовані аксіально над підкопуваним пластом (варіант ВИМ);
- вертикальні диски з активним приводом (варіант ВИСХОМа);
- ротор з лопатями і гребінками над грядкою.

В результаті встановлено, що застосування дисків обмежує вступ ґрунту, проте, вимагає точнішого керування по рядках.

Застосування різних пристроїв для поліпшення транспортування бульбоносного пласта, розташованих над лемешем, не завжди ефективно. Такі пристрої чинять додатковий тиск на пласт, збільшуючи силу тертя, внаслідок чого транспортуюча здатність активаторів знижується дією сил тертя на лемеші. Приводні диски, використовувані для поліпшення транспортування пласта по лемешу, мають широкі технологічні можливості. Диски обрізують пласт з боків, перерізають рослинні залишки, виключають розвал пласта на лемеші, визначають реальну ширину захоплення робочого органу і сприяють транспортуванню пласта".

Проведеними Н.Н. Лутховим дослідженнями [43, 81, 82], "встановлено, що активні відрізуючі диски істотно знижують тяговий опір. Ним доведено, що застосування приводу тільки на один диск підкопуючого органу не знижує ефективність його роботи і спрощує конструкцію".

"Створенням спеціальних робочих органів і пристосувань, для забезпечення ефективної роботи картоплезбиральних машин на ґрунтах зниженої вологості займаються як в нашій країні, так і за кордоном. Такі робочі органи здатні відділяти ґрунтові грудки без руйнування, з руйнуванням і наступною сепарацією подрібненого ґрунту. Грудкорозбиваючі робочі органи залежно від характеру взаємодії з грудками діляться на динамічні і статичні. Найбільшого поширення набули статичні робочі органи - копіюючі і бічні катки, за допомогою яких визначають реальну глибину підкопування і здійснюють руйнування грудок". Як показують різні дослідження [81], " Грудкорозбиваючі пристрої в 2.. 3 рази зменшують кількість грудок, що поступають після підкопу грядок на сепаруючі органи машини".

На основі проведеного аналізу і вибраної мети поставлені наступні завдання досліджень :

1. Провести аналіз існуючих конструкцій картоплезбиральних машин і підкопуючих робочих органів, на основі якого визначити перспективний напрям їх вдосконалення.
2. Теоретично обґрунтувати параметри робочих органів картоплезбиральних машин.
3. Провести лабораторно-польові дослідження експериментального картоплекопача.
4. Визначити техніко-економічні показники експериментального картоплекопача в результаті проведення господарських досліджень.

#### Висновки до глави 1

1. Комбіновані підкопуючі робочі органи, на прикладі широко поширених дискових елементів мають свої недоліки: складність конструкції, велика матеріаломісткість по відношенню до машин без дисків, при установці бічних дисків потрібно точніше водіння по рядках, прослизання дисків відносно ґрунту, що призводить до звантажування і так далі.
2. Вібраційні лемеші також мають ряд недоліків : складність конструкції, необхідність приводити в коливальний рух великі маси, в наслідок чого виникають великі динамічні навантаження в рамі і підвісах, збільшення тягового опору і підвищення навантаження на сепаруючі робочі органи, і найголовніше збільшення ушкоджень бульб в порівнянні з пасивними підкопуючими органами.
3. Одним з перспективних шляхів вдосконалення картоплезбиральних машин є застосування модернізованих лемешів, що забезпечують підвищення дії робочих органів на початку технологічного процесу на бульбоносний ворох.

## **Розділ 2. Теоретичні дослідження підкопуючих органів**

### **2.1. Конструктивно-технологічна схема підкопуючих органів**

Відомо, що ефективність роботи серійних картоплезбиральних машин залежить від ґрунтово-кліматичних умов. В першу чергу на показники роботи збиральних машин впливає робота підкопуючої частини. Інтенсивна дія на бульбоносний пласт підпружиненого лемеша на початку технологічного процесу картоплезбиральної машини дозволить поліпшити сепарацію без істотного збільшення ушкоджень бульб картоплі, оскільки між лемешем і бульбами є прошарок ґрунту. Тому інтенсивність дії підкопуючих органів на бульбоносний пласт повинна визначатися виходячи з ґрунтово-кліматичних умов на момент збирання . В умовах підвищеної і зниженої вологості інтенсивність дії підкопуючих органів має бути максимальною, в умовах оптимальної вологості інтенсивність дії повинна знижуватися, так само вона повинна мінятися при зміні робочої швидкості картоплезбиральної машини.

Для вирішення цього завдання ми пропонуємо удосконалити підкопуючі робочі органи картоплезбиральної машини, а саме, конструкція підкопуючого органу повинна дозволяти змінювати кут а нахилу лемеша до горизонту при підкопуванні картоплі на різних типах ґрунтів в різних ґрунтово-кліматичних умовах [60] (рис. 2.1).

Підкопуючий робочий орган містить леміш 1, який в нижній частині закріплений на лапці кронштейна 12, встановленого в поперечному отворі рами 10. Кожен леміш 1 в нижній частині закріплений на лапках кронштейнів 12 шарнірно за допомогою болтового з'єднання 15, а у верхній частині леміш 1 закріплений шарнірно за допомогою болтового з'єднання 14 і кронштейна 7. На кронштейні 7 між плоским лемешем 1 і кронштейном 3 встановлена пружина 2.

Кронштейн 12 встановлений в поперечному отворі рами 10 і утримується з одного боку наполегливою шайбою 11, а з іншого боку гайкою 9 і шплінтом 8. Кронштейн 7 встановлений в поперечному отворі кронштейна 3 і утримується з

одного боку напологливою шайбою 13 і пружиною 2, а з іншого боку гайкою 4 і шплінтом 5. За рахунок регулювальних отворів 6, розташованих в кронштейні 7, і гайки 4 є можливість змінювати жорсткість пружини залежно від типу і стану ґрунту, на якому використовується збиральна машина (додаток А).

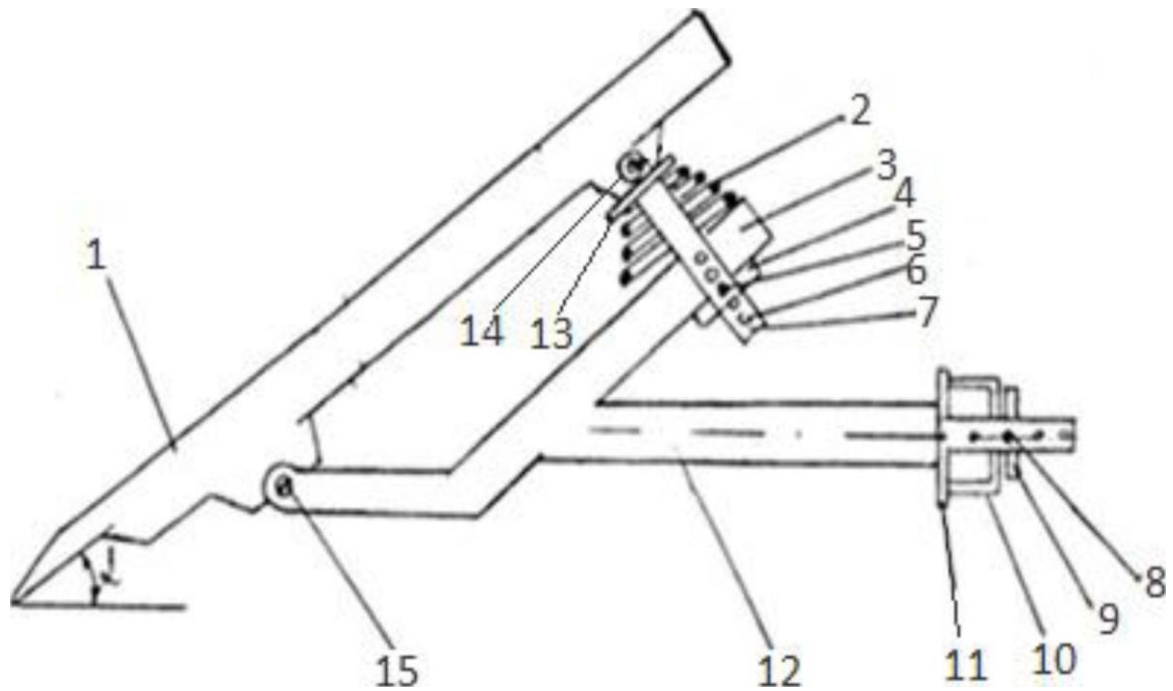


Рис. 2.1. Схема підкопуючого робочого органу у вигляді підпружиненого лемеша

1 - леміш, 2 - пружина стискування, 3 - кронштейн, 4 - гайка, 5 - шплінт, 6 - регулювальні отвори, 7 - кронштейн, 8 - шплінт, 9 - гайка, 10 - рама, 11 - напологлива шайба, 12 - кронштейн, 13 - напологлива шайба, 14 - болтове з'єднання, 15 - болтове з'єднання, а - кут нахилу лемеша до горизонту.

Вдосконалений підкопуючий робочий орган працює таким чином (рис. 2.1). Пружина 2, відрегульована на конкретне зусилля, яке визначається залежно від типу і стану ґрунту. При роботі картоплекопача на заглиблений леміш 1, встановлений на певну глибину підкопування бульбоносного пласта, внаслідок нерівномірності опору ґрунту діють змінні сили, які передаються через опорну шайбу 13 кронштейна 7 на пружину 2 і примушують кронштейн 7 з лемешем 1

змінювати кут нахилу лемеша до горизонту  $\alpha$ . Кут нахилу лемеша до горизонту  $\alpha$  встановлюють залежно від типу, стану і зв'язності ґрунту. Жорсткість пружини 2 регулюється гайкою 4 і встановлюється такій, при якій кут нахилу лемеша до горизонту  $\alpha$  виключає звантажування.

Внаслідок нерівномірного опору ґрунту на леміш 1 діють змінні сили, які примушують леміш змінювати своє положення, тобто кут  $\alpha$  нахилу лемеша до горизонту. Пласт ґрунту при цьому випробовує дію лемеша і кришиться. Цим досягається кришіння бульбоносного пласта і покращується транспортування пласта через леміш 1 до пруткового елеватора. Шляхом установки необхідного кута  $\alpha$  нахилу лемеша 1 до горизонту, залежного від типу і стану ґрунту, запобігає звантажування бульбоносного пласта перед прутковим елеватором.

Таким чином, застосування розробленого підкопуючого робочого органу покращує кришіння бульбоносного пласта і зменшує його звантажування перед прутковим елеватором, що призводить до підвищення продуктивності.

## **2.2. Дослідження геометрії підпружиненого лемеша**

Транспортування і кришіння пласта визначається формою підкопуючих робочих органів і взаємним розташуванням елементів. У нашому випадку підкопуючий пристрій складається з кронштейна з підпружиненим лемешем, який міняє своє положення відносно валу першого елеватора.

Розглянемо геометричну схему лемеша із змінюваним кутом нахилу (рис. 2.2).

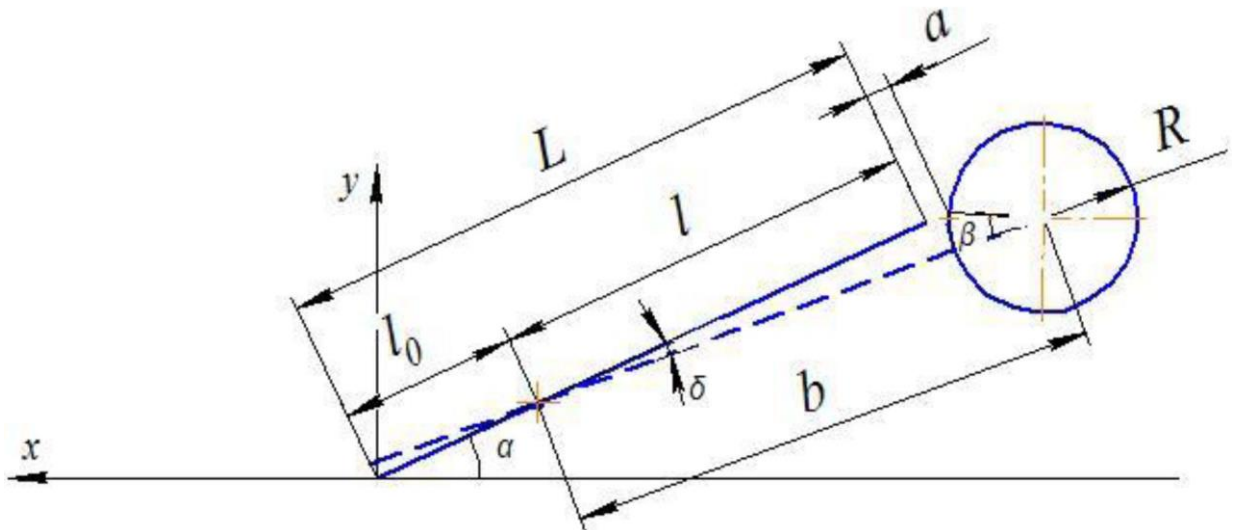


Рис. 2.2. Геометрична схема лемеша із змінюваним кутом нахилу

$L$  - довжина лемеша,  $\alpha$  - проміжок між лемешем і валом першого елеватора,  $l_0$  - відстань від носка лемеша до шарніра,  $l$  - довжина шарнірної частини лемеша,  $R$  - радіус зірочки першого елеватора,  $\beta$  - кут дії першого елеватора на підкопаний пласт,  $\delta$  - зміна кута нахилу лемеша,  $\alpha$  - початковий кут установки лемеша,  $b$  - відстань між шарніром лемеша і центром обертання зірочки першого елеватора.

Відстань між шарніром лемеша і центром обертання веденого валу першого елеватора :

$$b = (l + a) \cos \delta_{\max} + R \cos \beta, \quad (2.1)$$

Тоді проміжок між лемешем і валом елеватора :

$$a = \frac{b - R \cos \beta - l \cos \delta_{\max}}{\cos \delta_{\max}}, \quad (2.2)$$

Визначимо значення кута дії першого елеватора на підкопаний пласт:

$$\cos \beta = \frac{b - (l + a) \cos \delta}{R}. \quad (2.3)$$

Тоді:

$$\beta = \arccos \frac{b - (l + a) \cos \delta}{R}. \quad (2.4)$$

Визначимо зміну кута нахилу лемеша:



$$\alpha_n = \alpha + \delta, \quad (2.5)$$

де  $\alpha$  - початковий кут установки лемеша;

$\alpha_n$  - поточний кут нахилу лемеша;

$\delta$  - зміна кута нахилу лемеша.

Звідси витікає, що

$$\delta = \alpha_n - \alpha. \quad (2.6)$$

Таким чином, нами отримана залежність між геометричними параметрами кутів установки лемеша, які будуть застосовані в подальших дослідженнях.

### 2.3. Механіка взаємодії лемеша із зв'язним пластом ґрунту

При роботі машин з пасивними робочими органами, що мають форму клину, деформація ґрунту відрізняється великою різноманітністю внаслідок значної варіації її фізико-механічних властивостей, а також різноманіття видів і параметрів робочих органів [38].

Оскільки запропонований копач призначений для роботи на різних видах ґрунтів, у тому числі і важких, нас цікавить механіка взаємодії лемеша із зв'язаним, що відділяється у вигляді стрічки пластом ґрунту в його функції підйомного пристрою, а також методики розрахунку невідомих реакцій зв'язків і тягового опору лемеша.

Для випадку зв'язного пласта В. А. Ксендзовим розглянута взаємодія пласта з двограним клином і отримані вирази для визначення силових характеристик взаємодії. Введемо наступні допущення:

1. Бульбоносний пласт є однорідним зв'язним пластом, ґрунт переплетений кореннями рослин.
2. Швидкість руху пласта по лемешу в сталому режимі постійна.

На дану ділянку пласта чинять дію нормальна реакція  $N$  і сила тертя  $T$  з боку робочої поверхні клину (лемеша), а також реакція підпору  $Q$  з боку нерухомої ділянки, розташованої перед лемешем (рис. 2.3). Ці сили рівнодійні відповідних розподілених сил на робочій поверхні лемеша і межі розділів ділянок пласта [4].

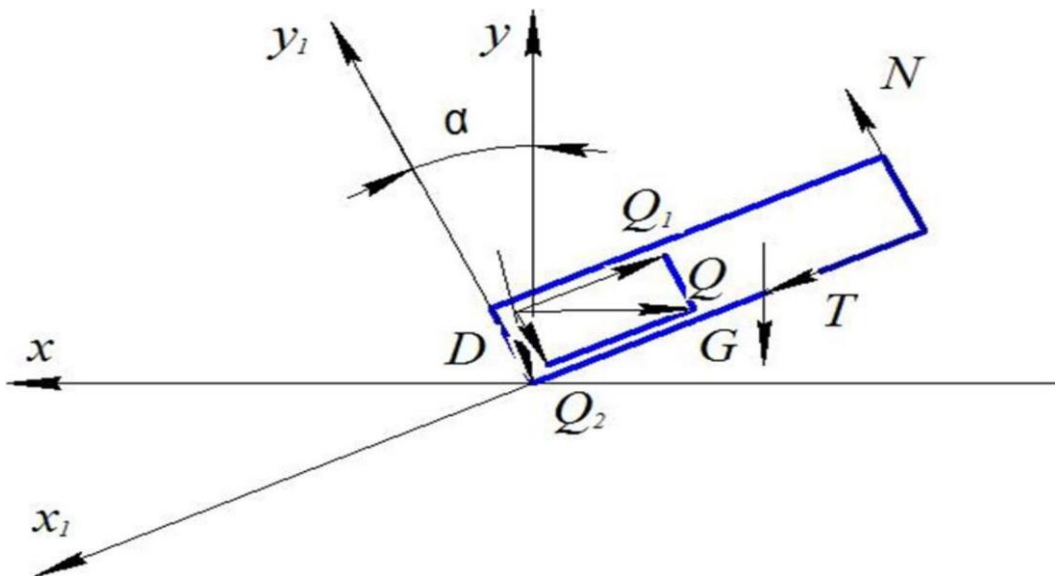


Рис. 2.3. Схема сил, діючих на ділянку пласта

$N$  - нормальна реакція,  $T$  - сила тертя,  $G$  - сила тяжіння,  $D$  - сила динамічного тиску пласта,  $Q$  - реакція підпору,  $Q_1$  - складова реакції підпору діюча уздовж осі  $x_1$ ,  $Q_2$  - що становить реакції підпору, діюча уздовж осі  $y_1$ ,  $\alpha$  - кут нахилу лемеша.

Для плоскої довільної системи сил можна скласти лише одне векторне рівняння рівноваги і два відповідних йому скалярних в проекціях на осі  $x_1$  і  $y_1$  :

$$\begin{aligned} \bar{Q} + \bar{N} + \bar{T} + \bar{G} &= 0; \\ Q_1 - G \sin \alpha - T &= 0; \\ -Q_2 - G \cos \alpha + N &= 0. \end{aligned} \quad (2.7)$$

де:

$Q$  - реакція підпору, Н;

$N$  - нормальна реакція, Н;

$T$  - сила тертя, Н;

$G$  - сила тяжіння, Н;

$Q_1$  - що становить реакції підпору, діюча уздовж осі  $x_1$ , Н;  $Q_2$  - що становить реакції підпору, діюча уздовж осі  $y_1$ , Н;  $\alpha$  - кут нахилу лемеша, рад.

Складемо рівняння рівноваги лемеша :

$$P - N' \sin \alpha - T' \sin \alpha = 0, \quad (2.8)$$

де:

$$T = fN; \quad f = \operatorname{tg} \varphi; \quad T' = T; \quad N' = N.$$

де:

$f$  - коефіцієнт тертя,

$\varphi$  - кут тертя ґрунту об метал, рад.

З урахуванням залежності  $T = fN$  маємо чотири невідомих і три рівняння для їх визначення, тобто завдання статично невизначне. Значить, даний тип завдання статички не може бути вирішений застосуванням тільки методу складання рівнянь рівноваги. Рішення можливе у разі, якщо число невідомих зробити рівним числу рівнянь. Для цього складемо додаткове рівняння на основі принципу можливих переміщень :

$$P - G \sin \alpha - T = 0, \quad (2.9)$$

де:  $P$  - тяговий опір лемеша,  $H$ .

Виключаючи силу тертя, отримаємо систему рівнянь :

$$\begin{aligned} Q_1 - G \sin \alpha - fN &= 0, \\ -Q_2 - G \cos \alpha + N &= 0, \\ P - G \sin \alpha - fN &= 0, \\ P - N \sin \alpha - fN \cos \alpha &= 0. \end{aligned} \quad (2.10)$$

З (1) і (3) рівнянь системи (2.10) витікає, що  $P = Q$ , тоді:

$$\begin{aligned} Q_1 - G \sin \alpha - fN &= 0, \\ -Q_2 - G \cos \alpha + N &= 0, \\ Q_1 - N \sin \alpha - fN \cos \alpha &= 0. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Виразуємо з (1) рівняння (3)

$$-G \sin \alpha - fN + N \sin \alpha + fN \cos \alpha = 0, \quad (2.12)$$

звідки знайдемо  $N$ :

$$N = \frac{G \cos \varphi \cos \frac{\alpha}{2}}{\cos \left( \varphi + \frac{\alpha}{2} \right)}, \quad (2.13)$$

Тепер можемо знайти  $Q_1$  і  $Q_2$  :

$$Q_1 = G \sin \alpha + fN = G \frac{\sin(\varphi + \alpha) \cos \frac{\alpha}{2}}{\cos\left(\varphi + \frac{\alpha}{2}\right)}, \quad (2.14)$$

$$Q_2 = N - G \cos \alpha = G \frac{\sin(\varphi + \alpha) \sin \frac{\alpha}{2}}{\cos\left(\varphi + \frac{\alpha}{2}\right)}. \quad (2.15)$$

Остаточні вирази для розрахунку силових характеристик будуть: Складові сили підпору пласта :

$$Q_1 = D \operatorname{tg}\left(\varphi + \frac{\alpha}{2}\right) \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right), \quad (2.16)$$

$$Q_2 = D \operatorname{tg}\left(\varphi + \frac{\alpha}{2}\right) \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right). \quad (2.17)$$

Динамічний тиск пласта :

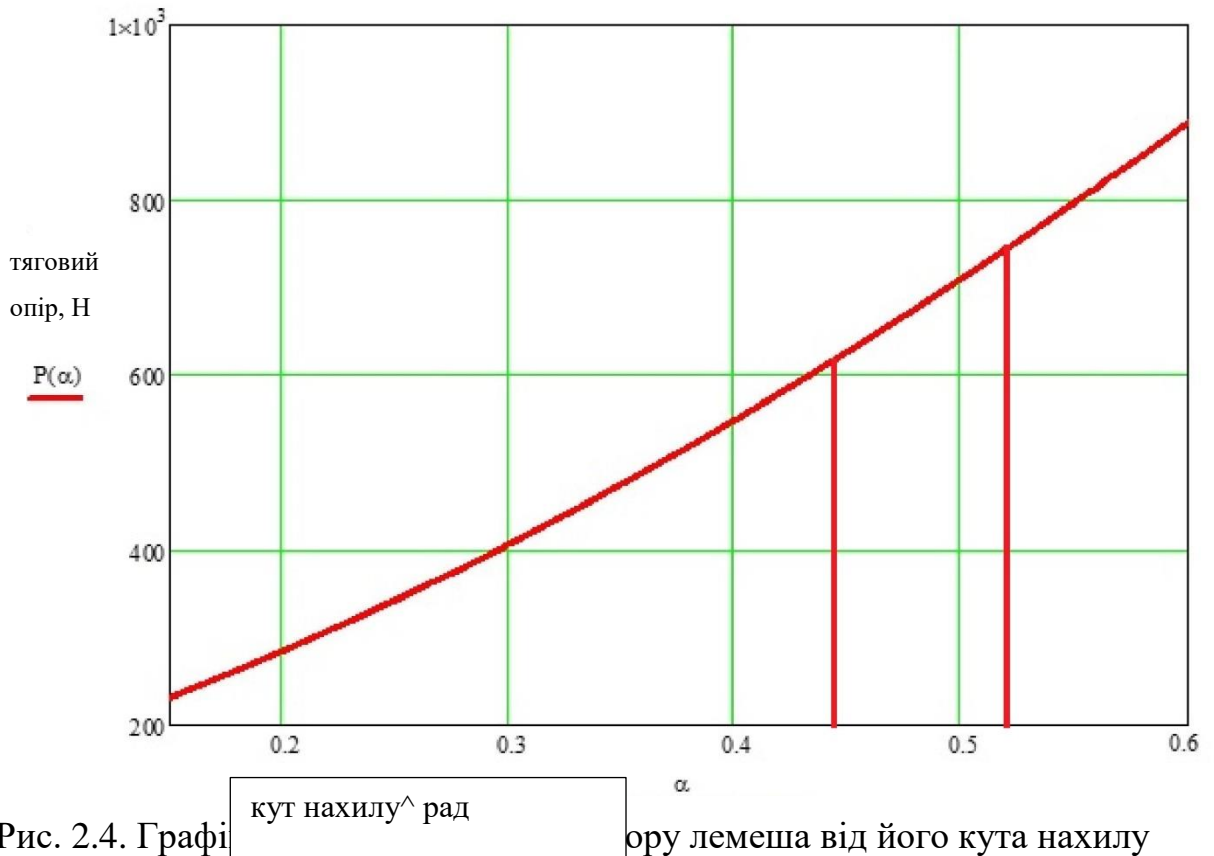
$$D = 2kabv_a^2 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right), \quad (2.18)$$

де  $k$ - питомий коефіцієнт опору ґрунту, Н/м .

Тяговий опір:

$$P = D \frac{\sin(\varphi + \alpha)}{\cos\left(\varphi + \frac{\alpha}{2}\right)}. \quad (2.19)$$

Проаналізувавши значення цих сил при зміні кута нахилу  $\alpha$ , розрахунки проводили в програмі MathCAD.



Аналізуючи цей графік можна помітити, що із збільшенням кута нахилу лемеша зростає тяговий опір, причому залежність буде параболічною. Слід зазначити, що найбільший приріст тягового опору спостерігається при кутах нахилу лемеша від  $25^\circ$  до  $30^\circ$ , що відповідає куту в радіанах від 0,44 до 0,52. Тому нами було запропоновано з метою зменшення тягового опору кут нахилу лемеша зробити змінним, залежно від стану ґрунту. Чим важче ґрунт, тим менше кут нахилу.

## 2.4. Теоретичне обґрунтування параметрів пружини лемеша

Змінний кут нахилу лемеша забезпечується за рахунок застосування пружини. Для обґрунтування параметрів пружини, розглянемо силову взаємодію бульбоносного пласта з лемешем. Оскільки рух картоплекопача в сталому режимі здійснюється з постійною швидкістю, розглянемо рівновагу лемеша під дією активних сил. Допущення моделі приведені в розділі 2.3. Силами, діючими на леміш, будуть: реакція підпору пласта  $Q$ , вага пласта  $G$  і нормальна реакція поверхні лемеша  $N$  (рис. 2.5).

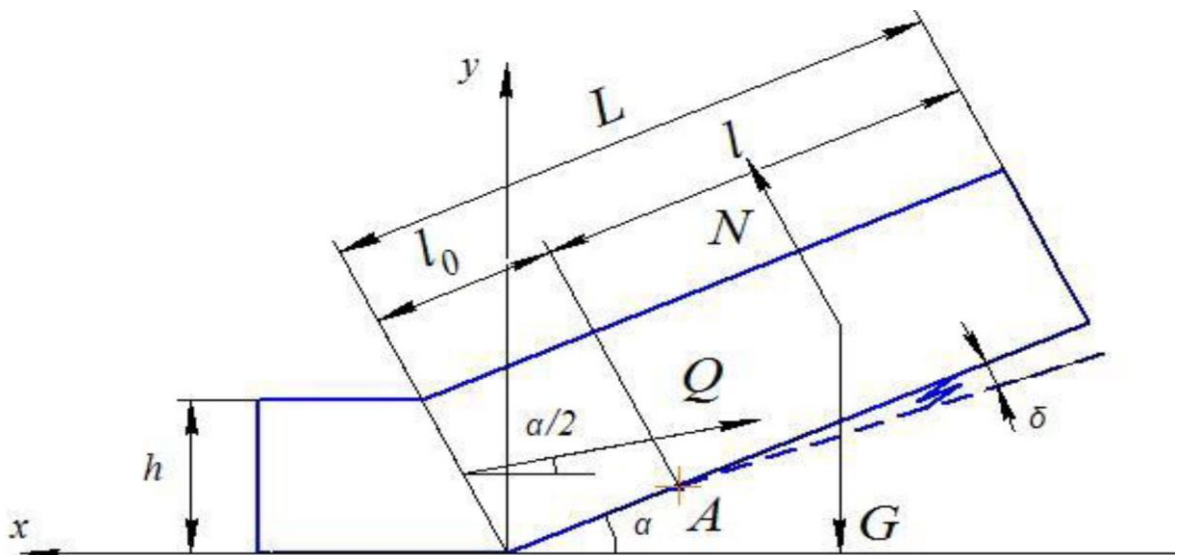


Рис. 2.5. Схема силової взаємодії бульбоносного пласта з лемешем

$N$  - нормальна реакція,  $G$  - сила тяжіння,  $h$  - висота пласта,  $Q$  - реакція підпору,  $L$  - довжина лемеша,  $l_0$  - відстань від носка лемеша до шарніра,  $l$  - довжина шарнірної частини лемеша,  $\delta$  - зміна кута нахилу лемеша,  $\alpha$  - початковий кут установки лемеша,  $\alpha/2$  - кут між реакцією підпору і горизонталлю.

Для знаходження нормальної реакції пласта розглянемо суму моментів відносно шарніра лемеша :

$$\sum M_A = 0$$

$$N(X_c - l_0) - G(X_c - l_0)\sin \alpha - Q\left(\frac{\alpha}{2} - l_0 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}\right) = 0, \quad (2.20)$$

де:

$X_c$  - центр тяжіння лемеша, м

Виразимо нормальну реакцію поверхні лемеша з виразу (2.20) :

$$N = \frac{G(X_c - l_0)\sin \alpha + Q\left(\frac{\alpha}{2} - l_0 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}\right)}{X_c - l_0}, \quad (2.21)$$

Для визначення зусилля пружини розглянемо взаємодію лемеша з пружиною. Величину зусилля стискування пружини можна визначити з рівняння рівноваги - сума моментів відносно шарніра А (рис. 2.6).

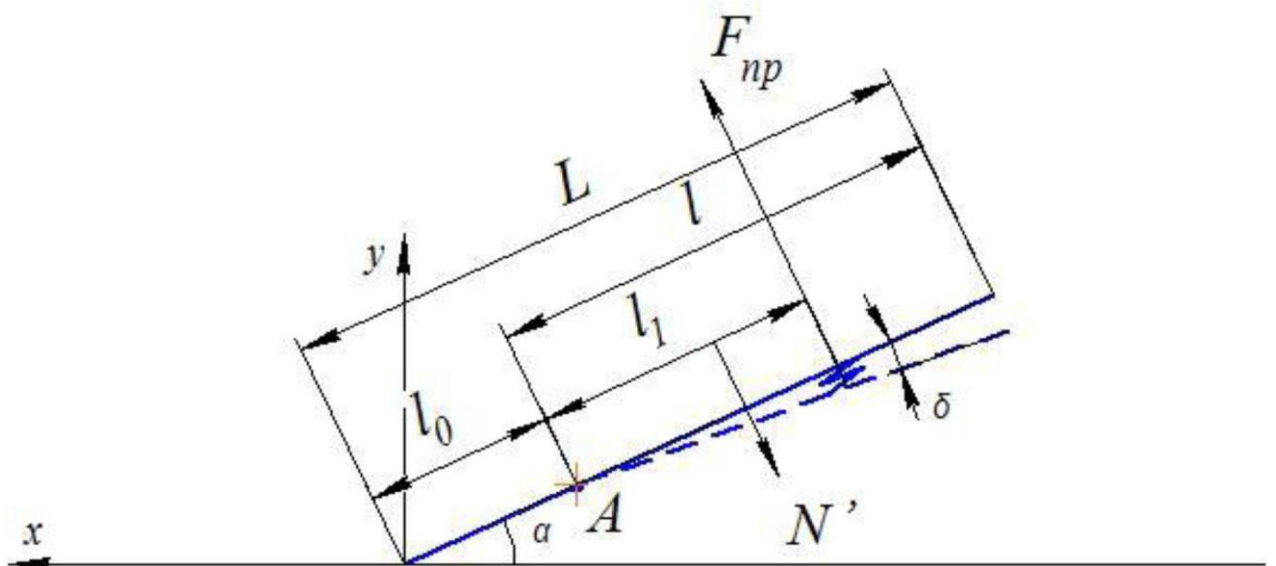


Рис. 2.6. Схема силової взаємодії лемеша з пружиною

$$F_{\text{пр}} l_1 - N'(X_c - l_0) = 0 \quad (2.22)$$

Виразимо з виразу (2.22) величину зусилля стискування пружини :

$$F_{\text{пр}} = \frac{N'(X_c - l_0)}{l_1} \quad (2.23)$$

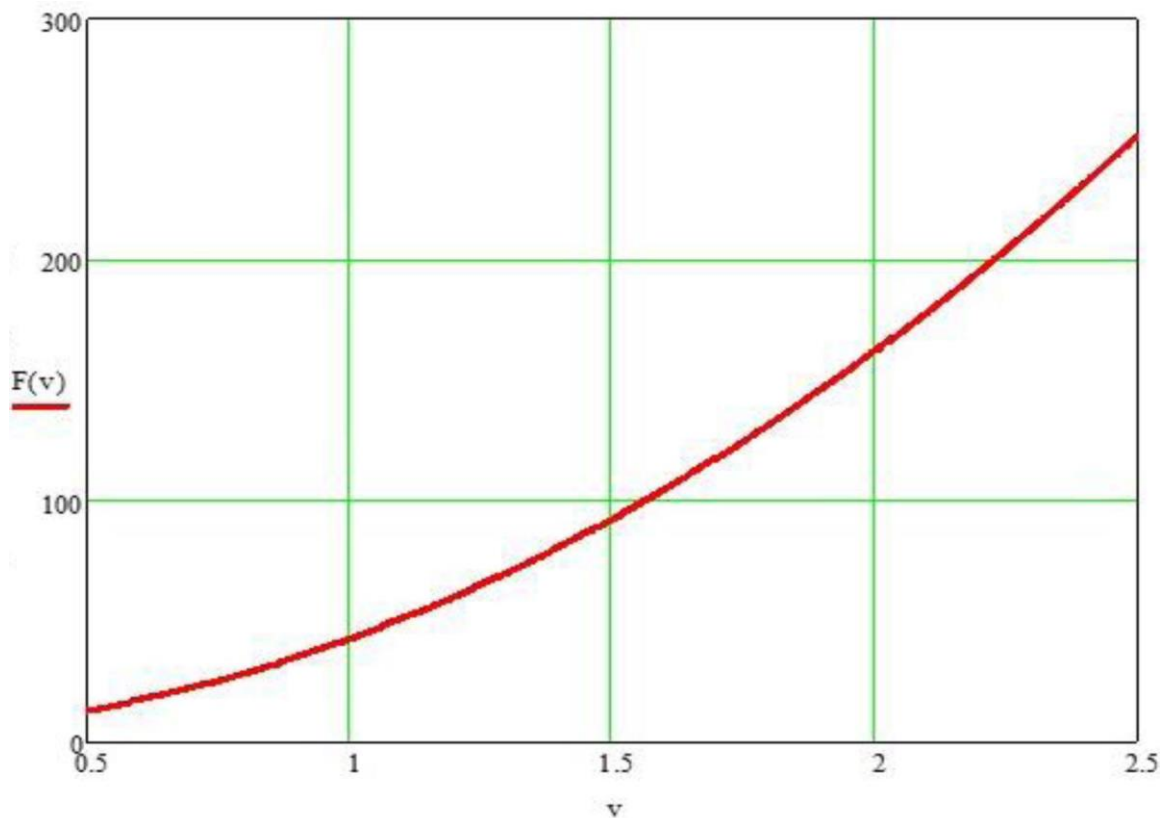
Підставивши значення нормальної реакції N, отримаємо:

$$F_{\text{пр}} = -Gl_1(X_c - l_0)\sin\alpha - Ql_1\left(\frac{\alpha}{2} - l_0\text{tg}\frac{\alpha}{2}\right) \quad (2.24)$$

З урахуванням формул (2.16), (2.17) і (2.18) запишемо остаточне рівняння для розрахунку зусилля пружини :

$$F_{\text{пр}} = -Gl_1(X_c - l_0)\sin\alpha - 2kabv_a^2 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)\text{tg}\left(\varphi + \frac{\alpha}{2}\right)l_1\left(\frac{\alpha}{2} - l_0\text{tg}\frac{\alpha}{2}\right) \quad (2.25)$$

Для аналізу впливу швидкості копача і параметрів збираного бульбоносного пласта проведемо розрахунки в програмі MathCAD :



зусилля стискування пружини, Н

швидкість копача, м/с

Рис. 2.7. Графік впливу швидкості копача на величину зусилля стискування пружини

З представленого графіку видно, що величина зусилля стискування пружини значно залежить від швидкості копача. Із збільшенням швидкості зростає зусилля стискування пружини. Представлені залежності дозволяють здійснити раціональний вибір пружин для конкретних умов роботи картоплезбиральної машини.

## 2.5. Дослідження величини підскоку компонентів бульбоносного пласта

Розглянемо взаємодію прутків елеватора з бульбоносним пластом. При зменшенні кута нахилу підпружиненого лемеша подача бульбоносного пласта може здійснюватися на різній висоті по відношенню до першого валу пруткового елеватора. В цьому випадку інтенсивність і напрям дії прутків на підкопаний



пласт будуть істотною мінятися, причому, чим більше опір картопляного пласта, тим менше кут нахилу підпружиненого лемеша, менше його тяговий опір, і тим інтенсивніше дія пруткового елеватора на бульбоносний пласт.

Для виключення підрізування бульб лемеша між бульбовим гніздом і лезом лемеша залишають технологічний проміжок не менше 2 см Цей прошарок захищатиме бульби картоплі від інтенсивної дії прутків.

Процес дії прутків на бульбоносний пласт складатиметься з двох етапів. На першому етапі відбувається дія прутків основного елеватора на бульбоносний пласт, в результаті якого компоненти отримують певну швидкість. На другому етапі компоненти з отриманою швидкістю рухаються усередині картопляного вороху. Обмеженням цього процесу є умова, при якій компоненти вороху не відкидаються назад на леміш картоплезбиральної машини.

Досліджуємо взаємодію прутків з компонентом картопляного вороху. Введемо наступні допущення:

1. Дія прутків елеватора на бульбоносний пласт веде до його руйнування, внаслідок чого утворюється картопляний ворох з компонентами.
2. Потужність, що витрачається на холостий хід і підйом картопляного вороху мають постійні значення.

Оскільки взаємодія відбувається на протязі досить короткого проміжку часу, скористаємося теоремою про зміну кількості руху [4].

$$m(\bar{V}_2 - \bar{V}_1) = \bar{F}\Delta t \quad (2.26)$$

де  $m$  - маса компонента картопляного вороху, кг;

$V_1$  - швидкість руху компонента до взаємодії з прутком, м/с;

$V_2$  - швидкість руху компонента після взаємодії з прутком елеватора, м/с;

$F$  - середня сила удару за час  $\Delta t$ , Н;

$\Delta t$  - час удару, с.

Оскільки вага прутка елеватора має невелику величину, то інерційна складова прутка буде трохи впливати на силу удару. Тому величину сили виразимо з

потужності, що витрачається на привід основного елеватора. Загальна потужність на привід елеватора складається з наступних складових:

$$P_{заг} = P_{xx} + P_{не} + P_{кр}, \quad (2.27)$$

де  $P_{заг}$  - загальна потужність, що витрачається на привід елеватора, Вт;

$P_{xx}$  - потужність холостого ходу основного елеватора, Вт;

$P_{не}$  - потужність, що витрачається на підйом картопляного вороху, Вт;

$P_{кр}$  - потужність, що витрачається на кришіння бульбоносного пласта

Вт.

Враховуючи, що потужності, що витрачаються на холостий хід і підйом картопляного вороху мають постійні значення, то потужність, що витрачається на кришіння бульбоносного пласта виглядатиме таким чином, :

$$P_{кр} = P_{заг} - P_{xx} - P_{не}. \quad (2.28)$$

Сила удару прутка елеватора по компоненту бульбоносного пласта визначається виразом:

$$F = \frac{P_{кр}}{V_э} = \frac{P_{заг} - P_{xx} - P_{не}}{V_э}, \quad (2.29)$$

де  $V_э$  - швидкість елеватора, м/с.

Інтенсивність взаємодії бульбоносного пласта з основним елеватором залежить від кута  $\nu$ , який визначає напрям дії. У свою чергу кут  $\nu$  залежить від точки подачі пласта до основного елеватора, тобто від кута нахилу лемеша  $\alpha$ .

Розрахункова схема взаємодії прутка основного елеватора з компонентом бульбоносного пласта приведена на рис. 2.8.

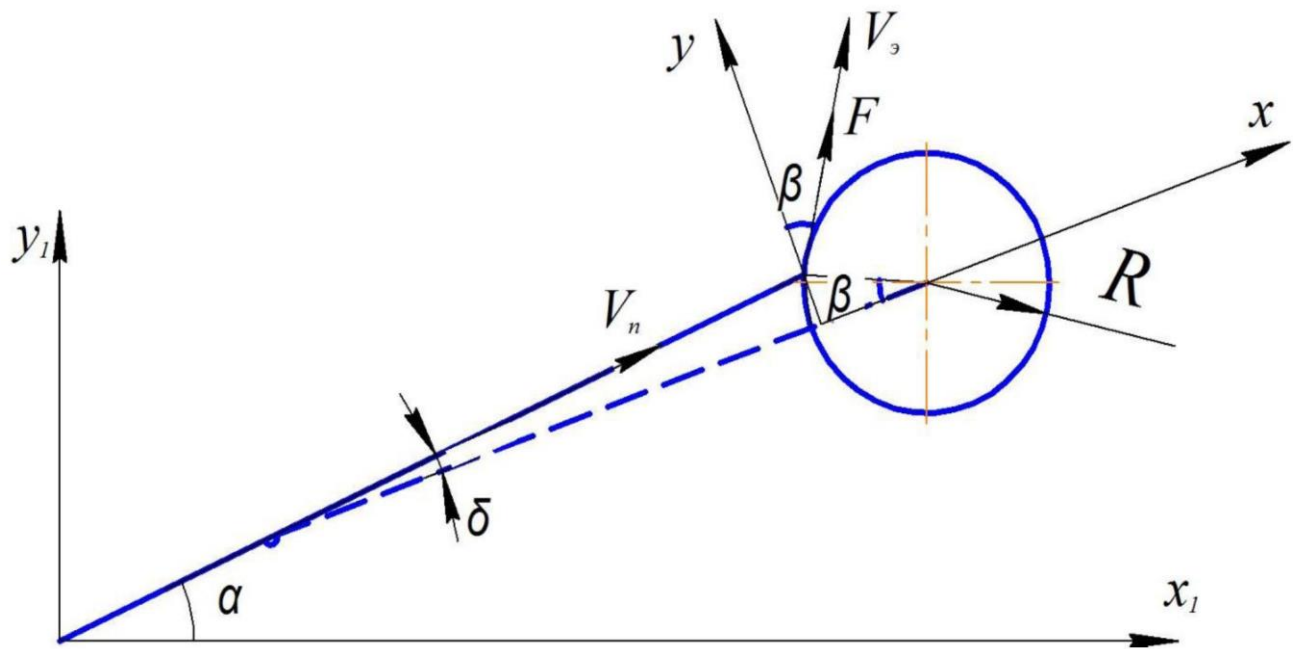


Рис. 2.8. Розрахункова схема взаємодії прутка основного елеватора з компонентом бульбоносного пласта

Спроекуємо швидкість руху пласта по лемешу до взаємодії з прутком. Тоді початкова швидкість руху пласта визначатиметься виразом:

$$V_1 = \frac{V_n \sin \delta}{\cos \beta}, \quad (2.30)$$

де  $V_n$  - швидкість руху пласта по лемешу, м/с.

Знайдемо швидкість руху компонента картопляного вороху після взаємодії з прутком елеватора з формули (2.26) з урахуванням виразу (2.30).

$$V_2 = \frac{F \Delta t}{m} + \frac{V_n \sin \delta}{\cos \beta}, \quad (2.31)$$

Розрахуємо значення швидкості руху компонента картопляного вороху після взаємодії з прутком елеватора на підставі виразу (2.31) і побудуємо графік в програмі MathCAD.

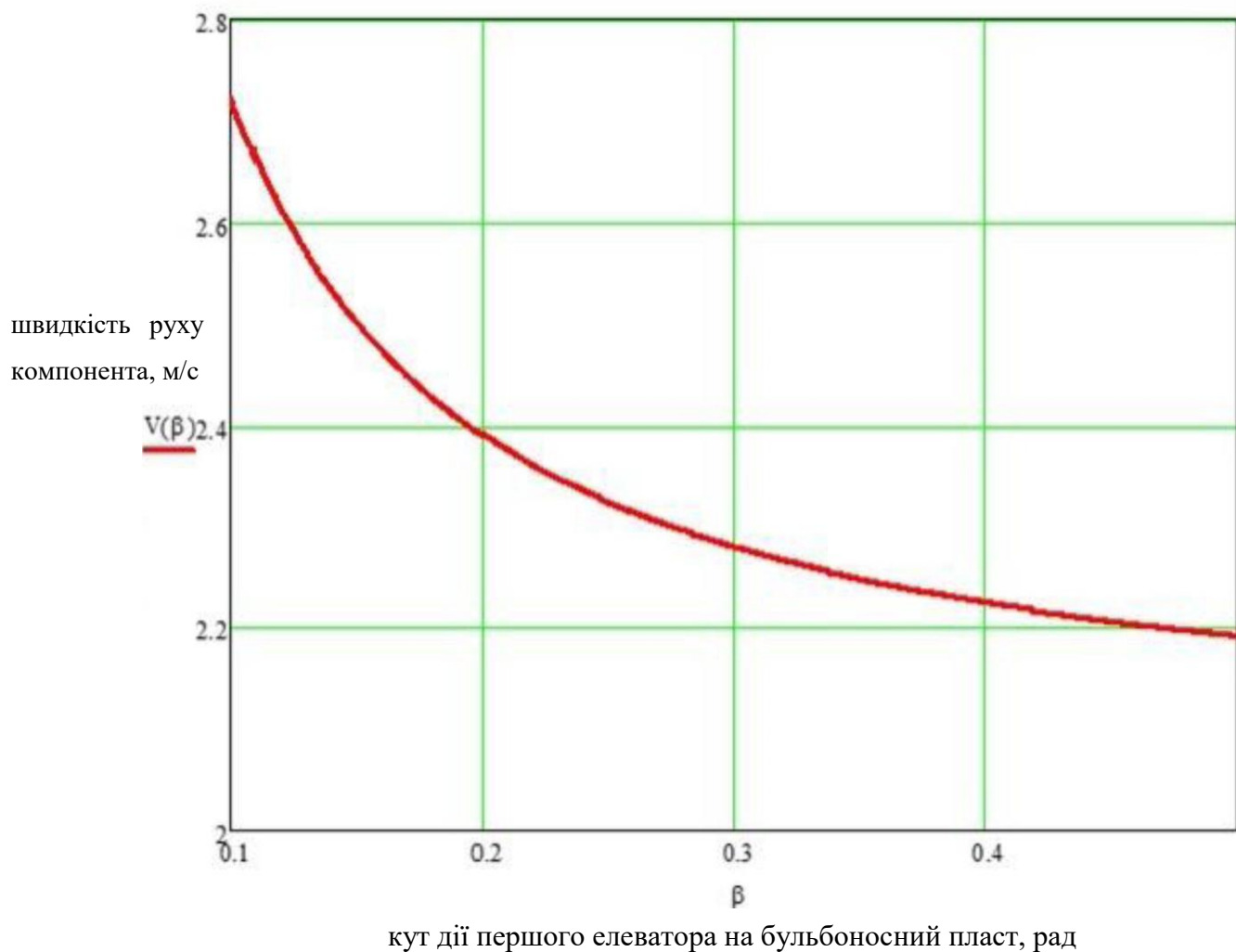


Рис. 2.9. Графік залежності швидкості руху компонента картопляного вороху після взаємодії з робочими органами

Зменшення кута нахилу лемеша веде до зменшення кута дії і збільшення швидкості компонента картопляного вороху. Виходячи з умов неушкодження бульб картоплі, а також можливостей регулювання кута нахилу лемеша, діапазон його змін буде від  $22^\circ$  до  $30^\circ$ .

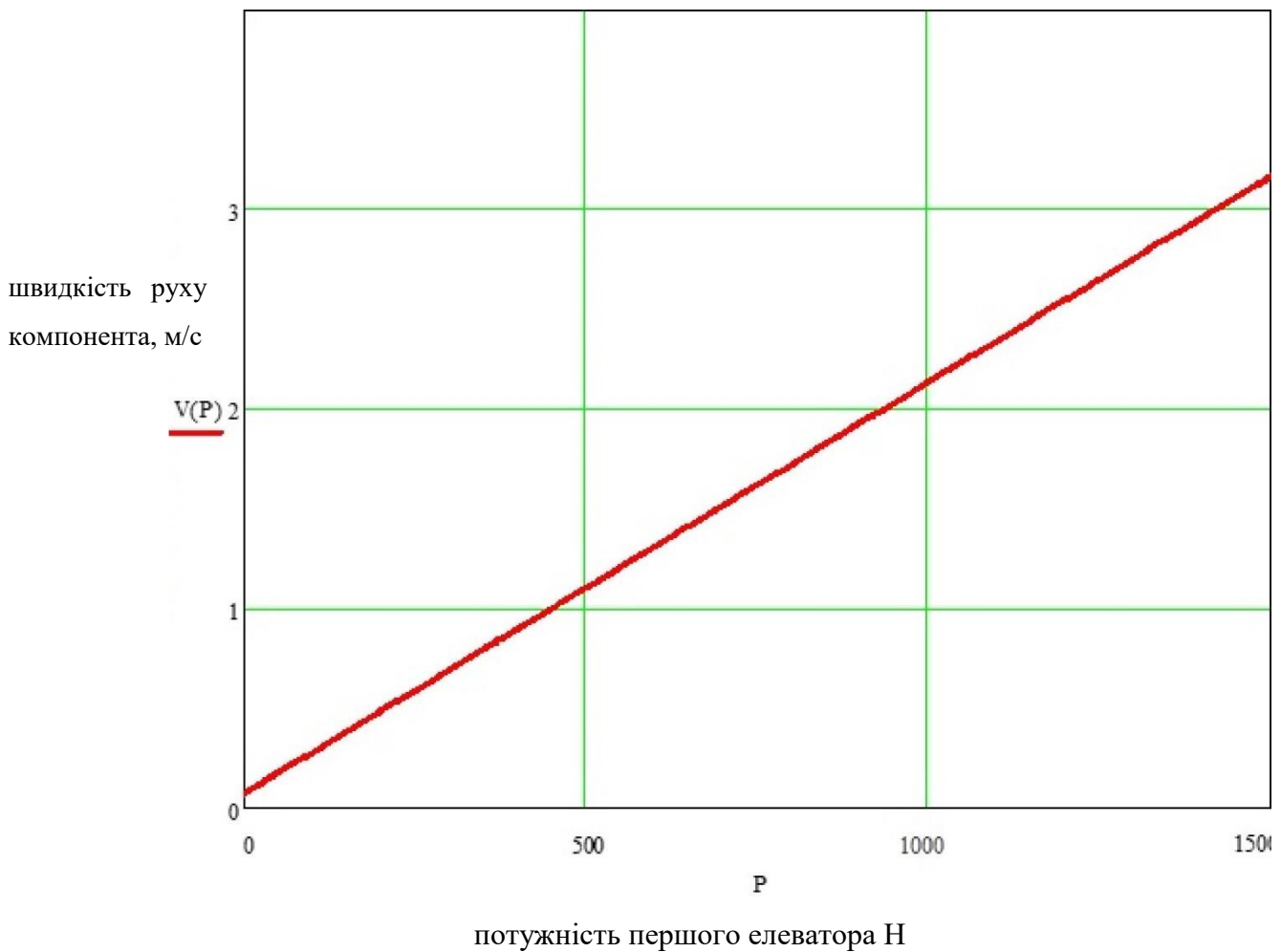


Рис. 2.10. Графік залежності швидкості руху компонента картопляного вороху від потужності, що витрачається на кришіння бульбоносного пласта

З представленого графіку видно, що із збільшенням швидкості руху компонента картопляного вороху після взаємодії з прутком елеватора, підвищується потужність, що витрачається на кришіння бульбоносного пласта. Причому ця залежність лінійна.

Рух компонента картопляного вороху після взаємодії з прутком елеватора відбувається за рахунок інерції руху компонента по лемешу і взаємодії з прутком основного елеватора. При цьому напрям руху уздовж лемеша характеризуватиме поточний кут нахилу лемеша  $\alpha$ , а напрям удару кут  $\beta$ . В результаті абсолютна швидкість часток компонента визначатиметься за правилом паралелограма (рис. 2.11), а кут напрямку руху в залежатиме від величини і напрямку складових швидкостей :

$$V_p = V_{abc} = \sqrt{V_{e3}^2 + V_n^2 - 2V_{e3}V_n \cos\theta}, \quad (2.32)$$

де  $V_{e3}=V_2$  - швидкість руху компонента після взаємодії з прутком елеватора, м/с;

$V_n$  - швидкість руху пласта по лемешу, м/с.

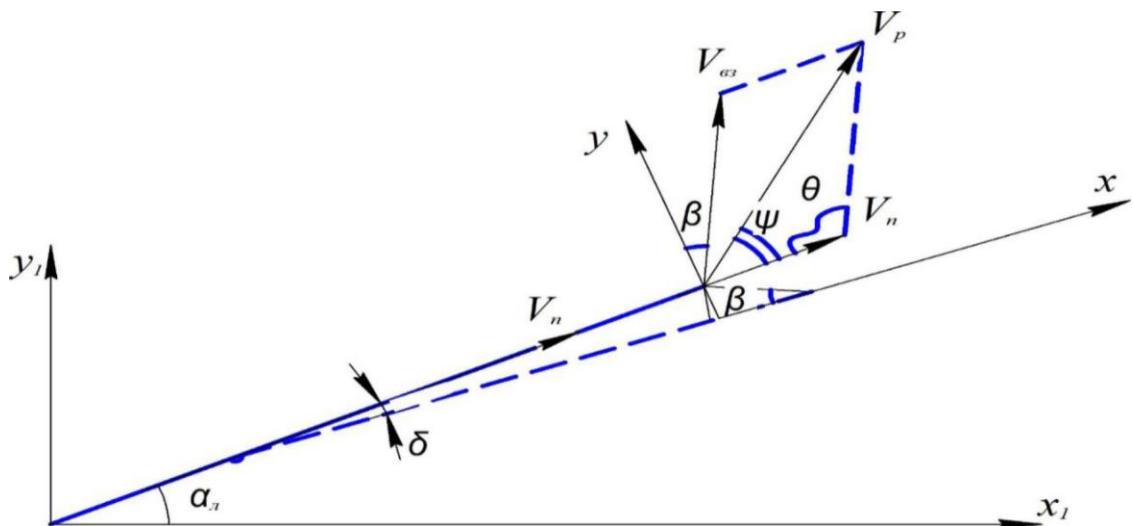


Рис. 2.11. Схема для визначення взаємозв'язку кутів лемеша і основного елеватора при їх взаємодії з компонентом бульбоносного пласта

З рис. 2.11, видно, що кут  $\theta$  розташований між швидкістю компонента картопляного вороху і швидкістю компонента разом з пластом по лемешу.

$$\theta = 180^\circ - \delta - (90^\circ - \beta) = 90^\circ + \beta - \delta. \quad (2.33)$$

Кут напрямку результуючої швидкості після взаємодії з прутками основного елеватора знайдемо по теоремі синусів :

$$\frac{\sin\theta}{V_p} = \frac{\sin\psi}{V_{e3}}. \quad (2.34)$$

З виразу (2.34) визначимо величину кута  $\psi$ :

$$\psi = \arcsin\left(\frac{V_{e3} \sin\theta}{V_p}\right). \quad (2.35)$$

Введемо допущення:

1. Компоненти картопляного вороху можуть переміщатися один відносно одного.
2. Сили опору, що виникають при відносному русі компонентів пропорційні їх швидкості.

З урахуванням встановлених закономірностей запишемо рівняння руху компонента усередині картопляного вороху у вигляді диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x}{dt^2} = -G \sin \alpha_n - F_{\text{сопр}} \cos \psi \\ m \frac{d^2 y}{dt^2} = -G \cos \alpha_n - F_{\text{сопр}} \sin \psi \end{cases} \quad (2.36)$$

де  $G$  - вага компонента, кг;

$F_{\text{сопр}}$  - сила опору усередині картопляного вороху, Н.

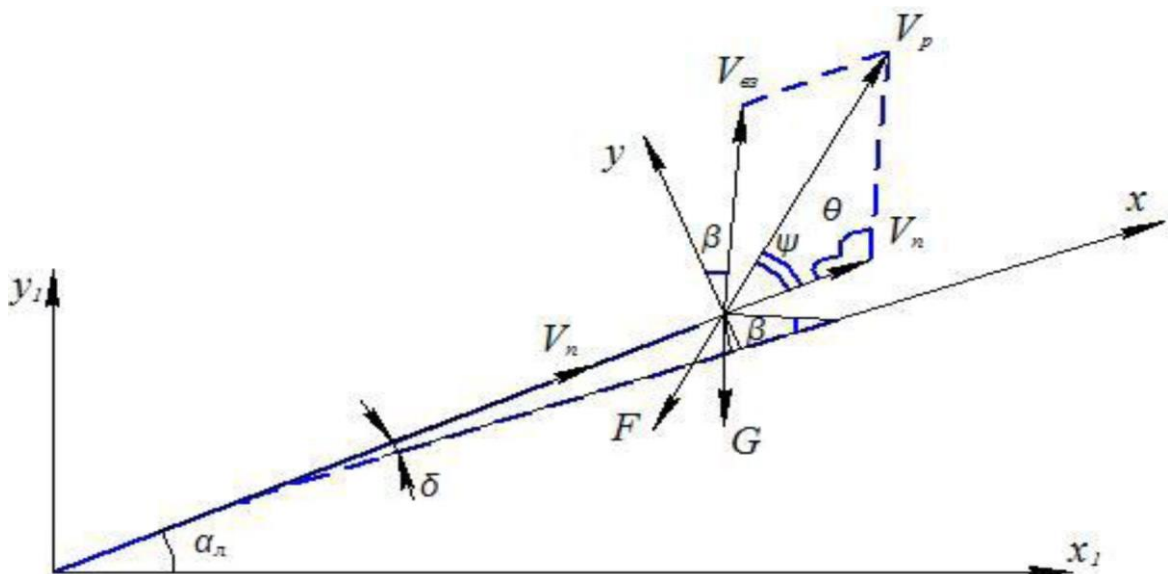


Рис. 2.12. Розрахункова схема дослідження руху компонента бульбоносного пласта після дії основного елеватора

З рис. 2.12, видно, що сила опору усередині картопляного вороху пропорційна швидкості руху компонента і визначається виразом:

$$F_{\text{сопр}} = v \frac{dx}{dt}, \quad (2.37)$$

де  $v$  - коефіцієнт опору руху компонента картопляного вороху, Н/(м/с).

Перетворимо вираз (2.36) з урахуванням виразу (2.37) :

$$\begin{cases} \frac{d^2 x}{dt^2} = -g \cdot \sin \alpha_n - \frac{v}{m} \cdot \frac{dx}{dt} \cos \psi \\ \frac{d^2 y}{dt^2} = -g \cdot \cos \alpha_n - \frac{v}{m} \cdot \frac{dx}{dt} \sin \psi \end{cases}, \quad (2.38)$$

Вирішимо систему рівнянь, для чого розглянемо кожне рівняння системи окремо:

$$1) \frac{d^2 x}{dt^2} = -g \cdot \sin \alpha_n - \left( \frac{v}{m} \cdot \cos \psi \right) \cdot \frac{dx}{dt}, \quad (2.39)$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{v}{m} \cdot \cos \psi \cdot \frac{dx}{dt} = -g \cdot \sin \alpha_n, \quad (2.40)$$

Спочатку знайдемо загальне рішення ЛОДУ :

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{v}{m} \cdot \cos \psi \cdot \frac{dx}{dt} = 0. \quad (2.41)$$

Складемо характеристичне рівняння і знайдемо його рішення:

$$\lambda^2 + \frac{v}{m} \cdot \cos \psi \cdot \lambda = 0, \quad (2.42)$$

$$\lambda \cdot \left( \lambda + \frac{v}{m} \cdot \cos \psi \right) = 0, \quad (2.43)$$

$$\lambda = 0 \text{ или } \lambda = -\frac{v}{m} \cdot \cos \psi, \quad (2.44)$$

Це рівняння має 2 різні корені, означає загальне рішення ЛОДУ набере вигляду:

$$\bar{x} = c_1 \cdot e^{\lambda_1 t} + c_2 \cdot e^{\lambda_2 t}, \quad (2.45)$$

$$\bar{x} = c_1 \cdot e^{0t} + c_2 \cdot e^{-\frac{v}{m} \cdot \cos \psi \cdot t} = c_1 + c_2 \cdot e^{-\frac{v}{m} \cdot \cos \psi \cdot t}, \quad (2.46)$$

Знайдемо часткове рішення ЛНДУ по виду правій частині:

$$f(x) = -g \cdot \sin \alpha_n. \quad (2.47)$$

Знайдемо корінь характеристичного рівняння :

$$k + j \cdot i = 0, \quad (2.48)$$

де  $k$  і  $j$  - деякі довільні числа.

$$r = 1, \quad (2.49)$$

де  $r$  - кратність числа  $k + j \cdot i$  як корінь характеристичного рівняння.



Тоді часткове рішення ЛНДУ набере вигляду:

$$\tilde{x} = e^{\alpha t} \cdot (A \cdot \cos \beta x + B \cdot \sin \beta x) \cdot t^r = e^{0t} \cdot (A \cdot \cos 0 + B \cdot \sin 0) \cdot t^1 = A \cdot t \quad (2.50)$$

де  $A$  і  $B$  - невизначені коефіцієнти. Знайдемо невизначений коефіцієнт  $A$ :

$$\tilde{x}' = A, \quad (2.51)$$

$$\tilde{x}'' = 0, \quad (2.52)$$

$$0 + \left( \frac{\nu}{m} \cdot \cos \psi \right) \cdot A = -g \cdot \sin \alpha_n, \quad (2.53)$$

$$A = -\frac{m \cdot g \cdot \sin \alpha_n}{\nu \cdot \cos \psi}, \quad (2.54)$$

Підставимо значення невизначеного коефіцієнта  $A$  в  $x$  і визначимо часткове рішення ЛНДУ :

$$\tilde{x} = -\frac{m \cdot g \cdot \sin \alpha_n}{\nu \cdot \cos \psi} \cdot t, \quad (2.55)$$

Загальне рішення ЛНДУ :

$$x = \bar{x} + \tilde{x}, \quad (2.56)$$

$$x = c_1 + c_2 \cdot e^{-\frac{\nu \cdot \cos \psi \cdot t}{m}} - \frac{m \cdot g \cdot \sin \alpha_n}{\nu \cdot \cos \psi} \cdot t, \quad (2.57)$$

Знайдемо коефіцієнти  $c_1$  і  $c_2$  за початкових умов: при  $t = 0$

$$x(0) = 0, \quad (2.58)$$

$$\frac{dx}{dt}(0) = V_p, \quad (2.59)$$

$$0 = c_1 + c_2 \cdot e^0 + 0, \quad (2.60)$$

Отримуємо:

$$c_1 + c_2 = 0, \quad (2.61)$$

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{\nu}{m} \cdot \cos \psi \cdot c_2 \cdot e^{-\frac{\nu \cdot \cos \psi \cdot t}{m}} - \frac{m \cdot g \cdot \sin \alpha_n}{\nu \cdot \cos \psi}, \quad (2.62)$$

$$V_p = -\frac{\nu}{m} \cdot \cos \psi \cdot c_2 \cdot e^0 - \frac{m \cdot g \cdot \sin \alpha_n}{\nu \cdot \cos \psi}, \quad (2.63)$$

Маємо систему:

$$\begin{cases} c_1 + c_2 = 0 \\ V_p = -\frac{v}{m} \cdot \cos \psi \cdot c_2 - \frac{m \cdot g \cdot \sin \alpha_n}{v \cdot \cos \psi} \end{cases} \quad (2.64)$$

$$\begin{cases} c_1 = \frac{m \cdot (V_p \cdot v \cdot \cos \psi + m \cdot g \cdot \sin \alpha_n)}{v^2 \cdot (\cos \psi)^2}, \\ c_2 = -\frac{m \cdot (V_p \cdot v \cdot \cos \psi + m \cdot g \cdot \sin \alpha_n)}{v^2 \cdot (\cos \psi)^2} \end{cases} \quad (2.65)$$

Підставимо знайдені значення коефіцієнтів  $c_1$  і  $c_2$  в загальне рішення ЛНДУ:

$$x = \frac{m \cdot (V_p \cdot v \cdot \cos \psi + m \cdot g \cdot \sin \alpha_n)}{v^2 \cdot (\cos \psi)^2} - \frac{m \cdot (V_p \cdot v \cdot \cos \psi + m \cdot g \cdot \sin \alpha_n)}{v^2 \cdot (\cos \psi)^2} \cdot e^{-\frac{v}{m} \cos \psi \cdot t} - \frac{m \cdot g \cdot \sin \alpha_n}{v \cdot \cos \psi} \cdot t \quad (2.66)$$

$$2) \frac{d^2 y}{dt^2} = -g \cdot \cos \alpha_n - \left( \frac{v}{m} \cdot \sin \psi \right) \cdot \frac{dy}{dt}, \quad (2.67)$$

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{v}{m} \cdot \sin \psi \cdot \frac{dy}{dt} = -g \cdot \cos \alpha_n, \quad (2.68)$$

Спочатку знайдемо загальне рішення ЛОДУ :

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{v}{m} \cdot \sin \psi \cdot \frac{dy}{dt} = 0, \quad (2.69)$$

Складемо характеристичне рівняння і знайдемо його рішення:

$$\lambda^2 + \frac{v}{m} \cdot \sin \psi \cdot \lambda = 0, \quad (2.70)$$

$$\lambda \cdot \left( \lambda + \frac{v}{m} \cdot \sin \psi \right) = 0, \quad (2.71)$$

$$\lambda = 0 \text{ или } \lambda = -\frac{v}{m} \cdot \sin \psi, \quad (2.72)$$

Це рівняння має 2 різні корені, означає загальне рішення ЛОДУ набере вигляду:

$$\bar{y} = c_1 \cdot e^{\lambda_1 t} + c_2 \cdot e^{\lambda_2 t}, \quad (2.73)$$

$$\bar{y} = c_1 \cdot e^{0t} + c_2 \cdot e^{-\frac{v}{m} \sin \psi \cdot t} = c_1 + c_2 \cdot e^{-\frac{v}{m} \sin \psi \cdot t}, \quad (2.74)$$

Знайдемо часткове рішення ЛНДУ по виду правій частині:

$$f(y) = -g \cdot \cos \alpha_n, \quad (2.75)$$

Знайдемо корінь характеристичного рівняння :

$$k + j \cdot i = 0, \quad (2.76)$$

де  $k$  и  $j$  - деякі довільні числа.

$$r = 1, \quad (2.77)$$

де  $r$  - кратність числа  $k + j \cdot i$  як корінь характеристичного рівняння.

Тоді, часткове рішення ЛНДУ набере вигляду:

$$\tilde{y} = e^{\alpha t} \cdot (A \cdot \cos \beta y + B \cdot \sin \beta y) \cdot t^r = e^{0t} \cdot (A \cdot \cos 0 + B \cdot \sin 0) \cdot t^1 = A \cdot t, \quad (2.78)$$

де  $A$  і  $B$  - невизначені коефіцієнти. Знайдемо невизначений коефіцієнт  $A$ :

$$\tilde{y}' = A, \quad (2.79)$$

$$\tilde{y}'' = 0, \quad (2.80)$$

$$0 + \left( \frac{\nu}{m} \cdot \sin \psi \right) \cdot A = -g \cdot \cos \alpha_n, \quad (2.81)$$

$$A = -\frac{m \cdot g \cdot \cos \alpha_n}{\nu \cdot \sin \psi}, \quad (2.82)$$

Підставимо значення невизначеного коефіцієнта  $A$  в  $y$  і визначимо часткове рішення ЛНДУ :

$$\tilde{y} = -\frac{m \cdot g \cdot \cos \alpha_n}{\nu \cdot \sin \psi} \cdot t, \quad (2.83)$$

Загальне рішення ЛНДУ

$$y = \bar{y} + \tilde{y}, \quad (2.84)$$

$$y = c_1 + c_2 \cdot e^{-\frac{\nu \cdot \sin \psi \cdot t}{m}} - \frac{m \cdot g \cdot \cos \alpha_n}{\nu \cdot \sin \psi} \cdot t, \quad (2.85)$$

Знайдемо коефіцієнти  $c_1$  і  $c_2$  за початкових умов:

при  $t = 0$

$$y(0) = 0, \quad (2.86)$$

$$\frac{dy}{dt}(0) = V_p \quad (2.87)$$

$$0 = c_1 + c_2 \cdot e^0 + 0, \quad (2.88)$$

Отримуємо:

$$c_1 + c_2 = 0, \quad (2.89)$$

$$\frac{dy}{dt} = -\frac{v}{m} \cdot \sin \psi \cdot c_2 \cdot e^{-\frac{v}{m} \sin \psi \cdot t} - \frac{m \cdot g \cdot \cos \alpha_n}{v \cdot \sin \psi}, \quad (2.90)$$

$$V_p = -\frac{v}{m} \cdot \sin \psi \cdot c_2 \cdot e^0 - \frac{m \cdot g \cdot \cos \alpha_n}{v \cdot \sin \psi}, \quad (2.91)$$

Маємо систему:

$$\begin{cases} c_1 + c_2 = 0 \\ V_p = -\frac{v}{m} \cdot \sin \psi \cdot c_2 - \frac{m \cdot g \cdot \cos \alpha_n}{v \cdot \sin \psi} \end{cases} \quad (2.92)$$

$$\begin{cases} c_1 = \frac{m \cdot (V_p \cdot v \cdot \sin \psi + m \cdot g \cdot \cos \alpha_n)}{v^2 \cdot (\sin \psi)^2} \\ c_2 = -\frac{m \cdot (V_p \cdot v \cdot \sin \psi + m \cdot g \cdot \cos \alpha_n)}{v^2 \cdot (\sin \psi)^2} \end{cases} \quad (2.93)$$

Підставимо знайдені значення коефіцієнтів  $c_1$  і  $c_2$  в загальне рішення ЛНДУ :

$$y = \frac{m \cdot (V_p \cdot v \cdot \sin \psi + m \cdot g \cdot \cos \alpha_n)}{v^2 \cdot (\sin \psi)^2} - \frac{m \cdot (V_p \cdot v \cdot \sin \psi + m \cdot g \cdot \cos \alpha_n)}{v^2 \cdot (\sin \psi)^2} \cdot e^{-\frac{v}{m} \sin \psi \cdot t} - \frac{m \cdot g \cdot \cos \alpha_n}{v \cdot \sin \psi} \cdot t, \quad (2.94)$$

На підставі отриманих рішень виразів (2.66) і (2.94) побудуємо графік в програмі MathCAD.

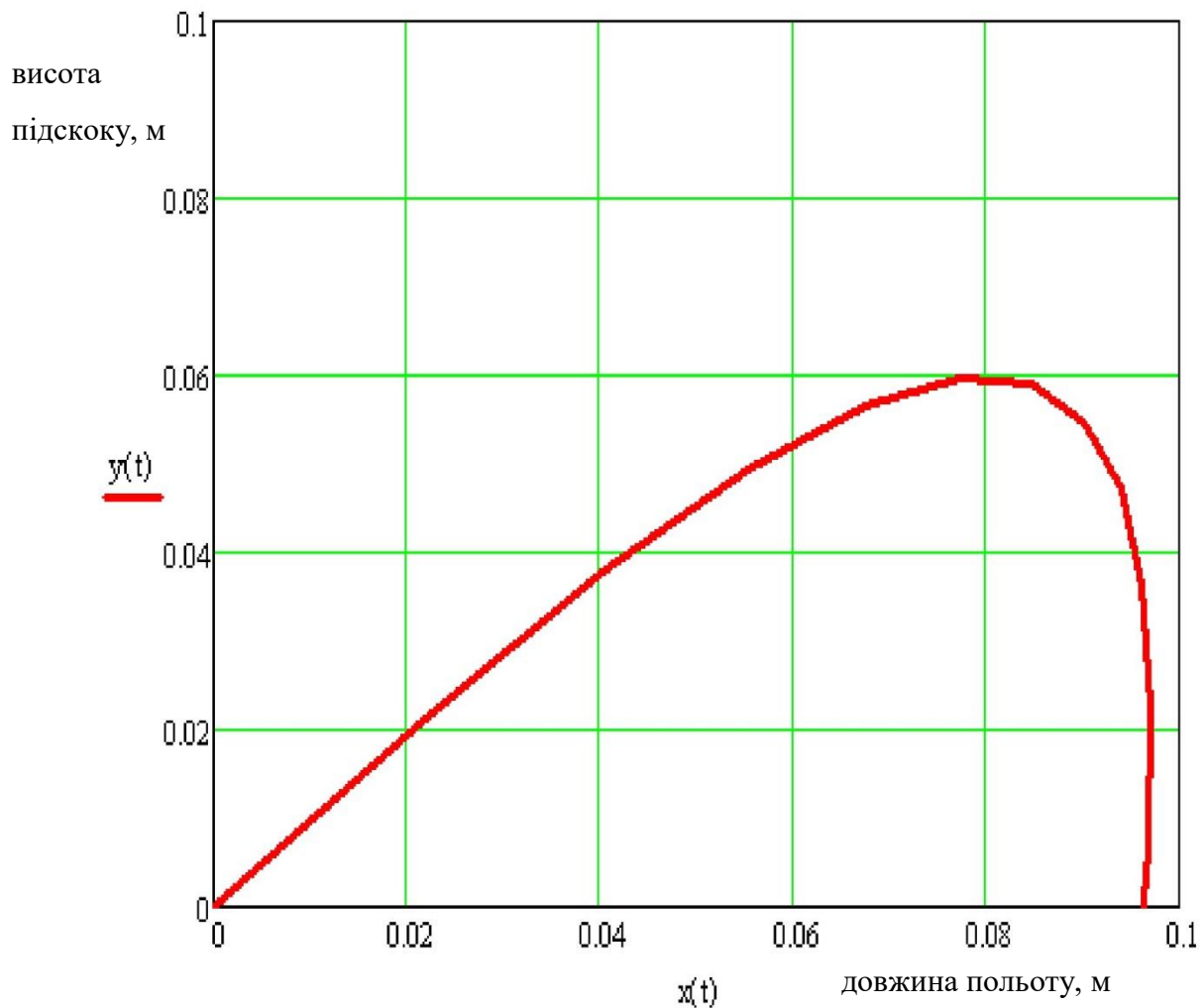


Рис. 2.13. Графік траєкторії руху компонента картопляного вороху після взаємодії з прутком елеватора

Аналізуючи отриманий графік, можна помітити, що траєкторія руху компонента картопляного вороху є параболою і залежить від кута дії першого елеватора на підкопаний пласт  $\beta$  і швидкості руху компонента по лемешу. При прийнятих нами значеннях ( $V=1,2$  м/с,  $m=3,5$  кг,  $\nu=25$  Н/(м/с),  $\alpha=0,3$  рад,  $\psi=0,5$  рад) висота підскоку складає 0,06 м, дальність польоту часток приблизно 0,1 м, що не перевищує значень, що викликають ушкодження бульб [49].

## 2.6. Теоретичні передумови до обґрунтування застосування дільника бульбоносного пласта

В умовах зниженої вологості бульбоносний пласт рухається по лемешу практично не руйнуючись. У цих умовах необхідно інтенсифікувати руйнування пласта на лемеші. Руйнування в подовжньому напрямі по ходу руху пласта на лемеші небажано, оскільки призводитиме до зниження швидкості пласта і звантажуванню бульбоносної маси. Для підвищення навантажень усередині бульбоносного пласта в поперечному напрямі на лемеші монтується дільник, який сприяє виникненню напруги стискування уздовж твірної дільника виконаного у вигляді гіперболічного конуса(додаток А). Так як зусилля дії дільника зростає поступово у міру просування пласта, то збільшення напруги можна регулювати кутом твірної конуса. Причому руйнівна напруга усередині бульбоносного пласта повинна досягатися у момент передачі пласта на елеватор. Поверхня дільника виконана у вигляді гіперболічного конуса описуваного рівнянням [24]:

$$\frac{(Y-Y_0)^2}{b^2} - \frac{Z^2}{a^2} = 1, \quad (2.95)$$

де:  $a$ ,  $b$ ,  $Y_0$  - постійні величини.

Визначимо параметри гіперболічного конуса на висоті  $X = h$

$$\frac{x-0}{h-0} = \frac{y-0}{Y-0} = \frac{z-0}{Z-0}, \quad (2.96)$$

де:  $x$ ,  $y$ ,  $z$  - змінні величини;

$h$  - висота, м

Звідси:

$$\frac{x}{h} = \frac{y}{Y} = \frac{z}{Z}, \quad (2.97)$$

Виразимо значення  $Z$  і  $Y$  :

$$Z = \frac{zh}{x}, \quad (2.98)$$

$$Y = \frac{yh}{x}, \quad (2.99)$$

Підставимо набутих значень у формулу (2.95) і отримаємо рівняння гіперболічного конуса, за умови, що площина гіперболи перпендикулярна осі ОХ (рис. 2.14) :

$$\frac{\left(\frac{hy - Y_0}{x}\right)^2}{b^2} - \frac{h^2 z^2}{a^2} = 1, \quad (2.100)$$

Перетворимо отримане рівняння:

$$\frac{\left(y - \frac{xY_0}{h}\right)^2}{b^2} - \frac{z^2}{a^2} = \frac{x^2}{h^2}, \quad (2.101)$$

$$\left(y - \frac{xY_0}{h}\right)^2 = b^2 \left(\frac{x^2}{h^2} + \frac{z^2}{a^2}\right), \quad (2.102)$$

$$y - \frac{xY_0}{h} = \pm b \sqrt{\frac{x^2}{h^2} + \frac{z^2}{a^2}}, \quad (2.103)$$

Вибираємо зі знаком "-"

$$y = \frac{xY_0}{h} - b \sqrt{\frac{x^2}{h^2} + \frac{z^2}{a^2}}, \quad (2.104)$$

де -  $a, b, h, Y_0$  постійні,  $x, y, z$  - змінні.

На підставі вироблених обчислень побудуємо графік гіперболічного конуса і розрахуємо область  $D$  (рис. 2.14) :

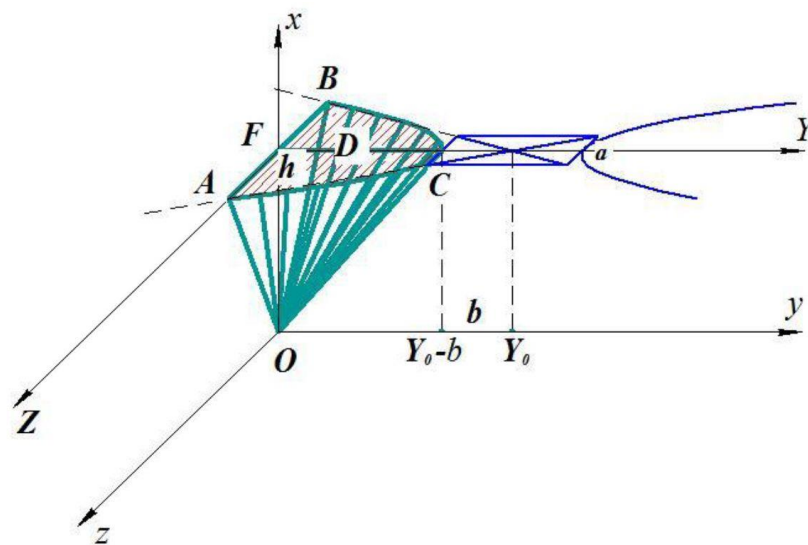


Рис. 2.14. Розрахункова схема до вибору параметрів гіперболічного конуса

Якщо  $y = 0$ , то:

$$\frac{xY_0}{h} = b\sqrt{\frac{x^2}{h^2} + \frac{z^2}{a^2}}, \quad (2.105)$$

Перетворимо отримане виразу:

$$\frac{xY_0}{bh} = \sqrt{\frac{x^2}{h^2} + \frac{z^2}{a^2}}, \quad (2.106)$$

Зведемо обидві частини рівняння в квадрат:

$$\frac{x^2Y_0^2}{b^2h^2} = \frac{x^2}{h^2} + \frac{z^2}{a^2}, \quad (2.107)$$

$$\frac{z^2}{a^2} = \frac{x^2}{h^2} \cdot \left( \frac{Y_0^2}{b^2} - 1 \right), \quad (2.108)$$

Визначимо значення "z":

$$z = \pm \frac{ax}{h} \sqrt{\frac{Y_0^2 - b^2}{b^2}}, \quad (2.109)$$

$$z = \pm \frac{ax}{bh} \sqrt{Y_0^2 - b^2}, \quad (2.110)$$

Отже, якщо  $x = h$ , то:

$$z = \pm \frac{a}{b} \sqrt{Y_0^2 - b^2}, \quad (2.111)$$

Область D задається наступною системою:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 \leq x \leq h \\ -\frac{ax}{bh} \sqrt{Y_0^2 - b^2} \leq z \leq \frac{ax}{bh} \sqrt{Y_0^2 - b^2} \end{array} \right\}, \quad (2.112)$$

Перейдемо безпосередньо до геометричних розмірів гіперболічного конуса.

Для цього розглянемо відрізки AB і FC :

$$AB = \frac{2a}{b} \sqrt{Y_0^2 - b^2}, \quad (2.113)$$

$$FC = Y_0 - b, \quad (2.114)$$

Причому  $FC > AB$

Означає:

$$Y_0 - b > \frac{2a}{b} \sqrt{Y_0^2 - b^2}, \quad (2.115)$$



Перетворимо і вирішимо отриману нерівність:

$$Y_0^2 - 2Y_0b + b^2 > \frac{4a^2}{b^2} \cdot (Y_0^2 - b^2), \quad (2.116)$$

$$Y_0^2 \left(1 - \frac{4a^2}{b^2}\right) - 2Y_0b + b^2 + 4a^2 > 0, \quad (2.117)$$

$$Y_0^2 > 0 \text{ или } 1 - \frac{4a^2}{b^2} > 0, \quad (2.118)$$

$$Y_0 > 0 \text{ или } b^2 - 4a^2 > 0, \quad (2.119)$$

$$b^2 > 4a^2, \quad (2.120)$$

$$b > 2a, \quad (2.121)$$

$$Y_0^2 \left(1 - \frac{4a^2}{b^2}\right) - 2Y_0b + b^2 + 4a^2 > 0, \quad (2.122)$$

$$D = b^2 - 4ac = (-2b)^2 - 4 \cdot (b^2 + 4a^2) \cdot \left(1 - \frac{4a^2}{b^2}\right) = 4b^2 - 4 \cdot \left(b^2 - 4a^2 + 4a^2 - \frac{16a^4}{b^2}\right) = \frac{64a^4}{b^2} > 0, \quad (2.123)$$

$$Y_{01} = \frac{2b + 8\frac{a^2}{b}}{1 - \frac{4a^2}{b^2}} = \frac{2b^3 + 8a^2b}{b^2 - 4a^2}, \quad (2.124)$$

$$Y_{02} = \frac{2b - 8\frac{a^2}{b}}{1 - \frac{4a^2}{b^2}} = \frac{2b^3 - 8a^2b}{b^2 - 4a^2}, \quad (2.125)$$

На підставі отриманих рішень виразу (2.95) побудуємо графік в програмі MathCAD.

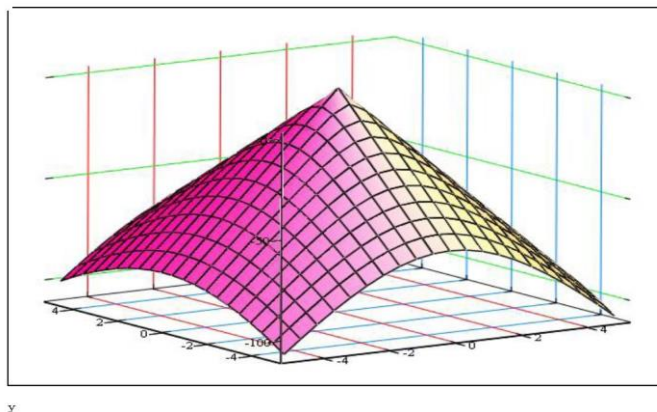


Рис. 2.15. Графік поверхні дільника, виконаного у вигляді гіперболічного конуса

Величина напруги в бульбоносному пласті залежатиме від висоти підйому твірної над лемешем. Враховуючи, що частина ґрунту при підйомі по дільникові обсипатиметься, критична висота підйому визначатиметься формулою:

$$H_{кр} = H_{кон} - H_{поч}, \quad (2.126)$$

де:

$H_{кр}$  - критична висота підйому (м);

$H_{кон}$  - висота конуса (м);

$H_{поч}$  - висота підйому ґрунту (м).

Підставивши значення критичної висоти конуса, визначимо його геометричні параметри і місце установки на лемеші (рис. 2.16).

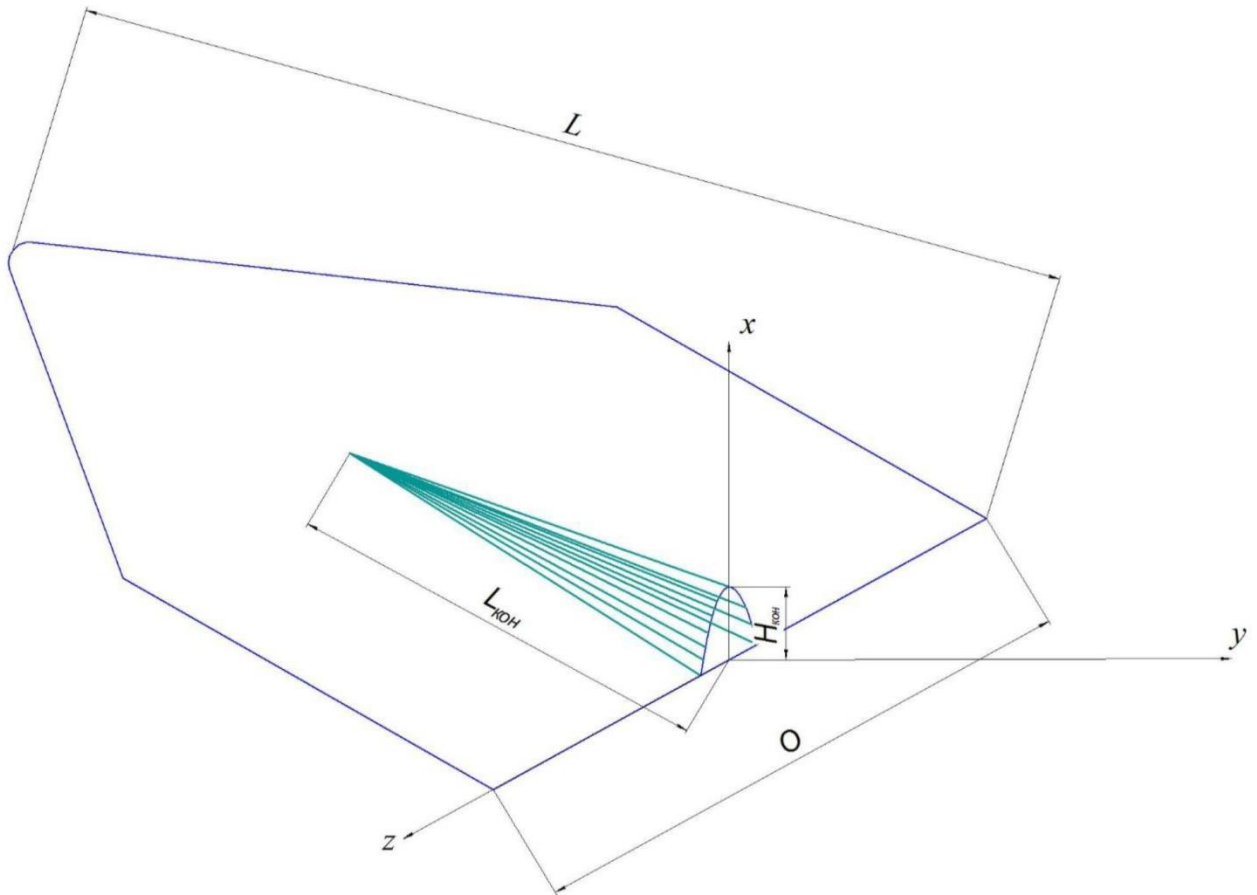


Рис. 2.16. Місце установки на лемеші ділянка, виконаного у вигляді гіперболічного конуса

Теоретичні дослідження показали, що раціональними параметрами ділянка, виконаного у вигляді гіперболічного конуса являються висота 0,025 м, довжина - 0,16 м

#### Висновки до глави 2

1. Запропонований модернізований підкопуючий пристрій в конструкції картоплекопача КТН-2В, що дозволяє змінювати кут  $\alpha$  нахилу лемеша до горизонту при підкопуванні картоплі на різних типах ґрунтів в різних ґрунтово-кліматичних умовах. Внаслідок нерівномірного опору ґрунту на леміш діють змінні сили, які примушують леміш змінювати своє положення, тобто кут  $\alpha$  нахилу лемеша до горизонту. Пласт ґрунту при цьому випробовує дію лемеша, що забезпечує хороше кришіння бульбоносного пласта, зменшення залипання ґрунтом і виключення звантажування бульбоносної маси перед прутковим

елеватором, а також зниження тягового опору збиральної машини при роботі на різних типах ґрунтів.

2. Досліджена геометрія підпружиненого лемеша і отримана залежність між геометричними параметрами кутів установки лемеша. Встановлено, що із збільшенням кута нахилу лемеша зростає тяговий опір, причому залежність буде параболічною. Слід зазначити, що найбільший приріст тягового опору спостерігається при кутах нахилу лемеша від  $25^\circ$  до  $30^\circ$ . Тому нами було запропоновано з метою зменшення тягового опору кут нахилу лемеша зробити змінним, залежно від стану ґрунту. Чим важче ґрунт, тим менше кут нахилу. Для кращого кришіння ґрунту основну дію на підкопаний бульбоносний пласт чинитиме передня частина елеватора.

3. Розглянута силова взаємодія бульбоносного пласта з лемешем для теоретичного обґрунтування параметрів пружини, внаслідок чого був отриманий графік впливу швидкості копача і параметрів прибираного пласта на величину зусилля стискування пружини. Встановлено, що величина зусилля стискування пружини значно залежить від швидкості копача.

4. Проведено дослідження дії робочих органів на компоненти бульбоносного пласта при переході з лемеша на прутковий елеватор. При отриманих нами значеннях ( $V=1,2$  м/с,  $m=3,5$  кг,  $v=25$  Н/(м/с),  $\alpha=0,3$  рад,  $\psi=0,5$  рад) висота підскоку складає  $0,06$  м, дальність польоту часток приблизно  $0,1$  м. Зменшення кута нахилу лемеша веде до збільшення швидкості компонента картопляного вороху. Виходячи з умов не ушкодження бульб картоплі, а також можливостей регулювання кута нахилу лемеша, діапазон його змін буде від  $18^\circ$  до  $25^\circ$ .

5. При роботі ґрунтах зниженої вологості потрібна додаткова дія на бульбоносний пласт для поліпшення сепарації. Величина напруги в бульбоносному пласту залежить від висоти підйому твірної гіперболічного конуса над лемешем. Теоретичні дослідження показали, що раціональними параметрами гіперболічного конуса є висота  $0,025$  м, довжина -  $0,16$  м

## **Розділ 3. Програма, методика експериментальних досліджень картоплекопача з вдосконаленим підкопуючим робочим органом**

### **3.1. Програма експериментальних досліджень**

З метою оптимізації параметрів вдосконаленого підкопуючого робочого органу, була прийнята наступна програма досліджень :

1. Проведення агротехнічної оцінки умов експериментальних досліджень.
2. Проведення лабораторно-польових досліджень для визначення раціональних параметрів підкопуючого робочого органу.
3. Проведення порівняльних польових досліджень серійного і вдосконаленого картоплекопачів.

### **3.2. Методика агротехнічної оцінки**

Визначення функціональних показників машини для збирання картоплі проводили в оптимальні терміни проведення збиральних робіт для цієї зони при температурі повітря не менше 8°C, оскільки згідно з дослідженнями Верещагіна Н.И [13], Пшеченкова К.А[14], Доспєхова б.А [23], E. Spiess [107] і інших авторів, збирати картоплю необхідно при температурі, не нижче вказаній. Врожайність картоплі, згідно збираного сорту, має бути не менше 10 т/га, глибина залягання бульб в гнізді не більше 22 см, ширина гнізда - до 40 см

Перед лабораторно-польовими дослідженнями ми налаштували картоплекопач КТН-2В згідно з рекомендаціями керівництва по експлуатації машини.

Ділянки вибирали так, щоб на них було можливим проведення усіх робіт, передбачених програмою наших досліджень.

Для визначення функціональних показників, копачів картоплі лабораторно-польові дослідження проводили так, щоб завширшки захоплення машини не потрапляли стикові міжряддя. На наш погляд ділянки із зім'ятими рядками картоплі, зруйнованими бульбовими гніздами для агротехнічної оцінки не придатні.

### 3.2.1. Методика зняття характеристики ділянки випробувань

Перед проведенням досліджень була вибрана ділянка картопляного поля з визначенням типу ґрунту і найменуванням її по механічному складу, рельєфу, вологості і твердості ґрунту, засміченості ділянки смітними рослинами згідно ГОСТ Р 54781-2011 [20].

Температуру повітря і ґрунту на глибині залягання бульб вимірювали на початку, середині і кінці випробувань.

### 3.2.2. Методика досліджень культури картоплі

Характеристику культури визначали на ділянці, відведеній для проведення оцінки функціональних показників машин. По діагоналі ділянки розміщували п'ять ділянок шириною в два ряди, завдовжки 14,3 м, з таким розрахунком, щоб були охоплені усі ряди посадочного агрегату.

Висоту гребеня вимірювали по вертикалі від дна борозни до нижнього обріза вимірювальної рейки, покладеної на два сусідні ряди гребенів. Число вимірів - не менше 10 на одному з рядів кожної ділянки.

Для виявлення параметрів гнізда обережно підкопували кожен другий кущ в одному ряду ділянки. Потім вимірювали лінійкою відстань між зовнішніми точками крайніх бульб щоб визначити ширину гнізда. Глибину залягання нижньої (верхньої) бульби визначали виміром відстані від нижнього обріза рейки, покладеної на гребінь, до верхньої точки нижньої (верхньої) бульби.

Викопані з кожної облікової ділянки бульби перемішували і відбирали середню пробу в кількості не менше 100 шт, потім у кожній бульби вимірювали

довжину, ширину, товщину і масу, для визначення розмірно-масової характеристики бульб.

### **3.3. Методика визначення раціональних параметрів вдосконаленого підкопуючого робочого органу**

На підставі теоретичних досліджень була розроблена конструкція підкопуючої частини (рис. 3.1). Вдосконалений підкопуючий пристрій обладнаний підпружиненим лемешем, механізм якого вказаний на рис. 3.2.



Рис. 3.1. Загальний вигляд вдосконаленого підкопуючого пристрою

Зусилля стискування пружини змінювалося попереднім натягненням пружини за допомогою гайки. При стискуванні пружини відбувається зміна кута нахилу підпружиненого лемеша, зусилля стискування визначають за середньою величиною стискування тарованих пружин, встановлених між лемешем і основою.





Рис. 3.2. Загальний вигляд пружинного механізму вдосконаленого підкопуючого робочого органу

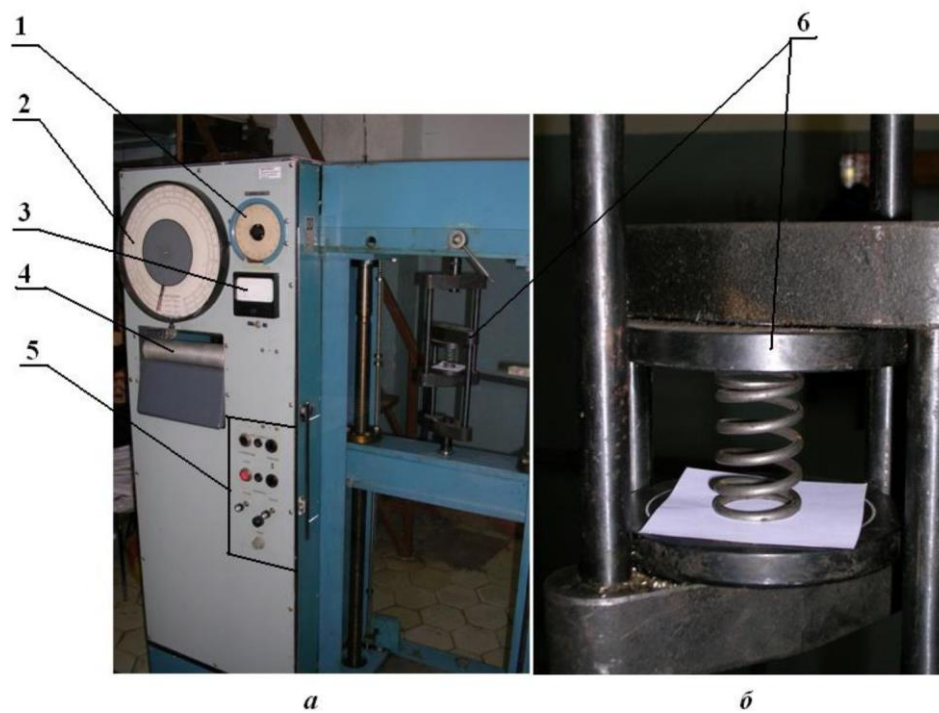


Рис. 3.3. Загальний вигляд розривного стенду Р5

а - стенд Р5; б - пружина, встановлена на пристосуванні;

1 - шкала деформації; 2 - манометр для визначення зусилля; 3 - індикатор навантажень; 4-самописець паперовий; 5 - блок управління установкою; 6 - пристосування.



Величина зусилля визначалася по формулі:

$$F_n = C_n (x_{сж} + a_{пр}), \quad (3.1)$$

де  $F_n$  - зусилля стискування пружини, Н;

$C_n$  - коефіцієнт жорсткості пружини, Н/м;

$a_{пр}$  - попереднє натягнення пружини, м;

$x_{сж}$  - стискування пружини при дії бульбоносного пласта, м

На стенді Р5 проводили тарування пружин (рис. 3.3), знімаючи характеристику з кожної окремо встановленої пружини, при цьому привласнюючи їй номер [22, 45].

В ході лабораторно-польових досліджень картоплекопача з вдосконаленим підкопуючим пристроєм встановлювали залежність висоти підскоку компонентів бульбоносного пласта від зміни кута нахилу лемеша, регульованого зусиллям стискування пружини. Для фіксації підскоку компонентів бульбоносного пласта в місці переходу з лемеша на прутковий елеватор, була наклеєна вимірювальна шкала з кроком 0,05 м (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Загальний вигляд вимірювальної шкали для фіксації висоти підскоку компонентів

Процес підскоку компонентів бульбоносного пласта в місці переходу з лемеша на прутковий елеватор знімали за допомогою камери S9200.

Для проведення досліджень була складена матриця планування експерименту, представлена в табл. 3.1.

Таблиця 3.1.

Матриця планування експерименту

Варійовані параметри експерименту		Функція оптимізації
Попереднє натягнення пружини		
Натуральні значення, м	Кодовані значення	Висота підскоку, м
0	-2	$x_1$
0,005	-1	$x_2$
0,01	0	$x_3$
0,015	+1	$x_4$
0,02	+2	$x_5$
Інтервал варіювання 0,005		

Експериментальні дослідження проводилися з трьох кратною повторністю, перевірка достовірності проводилася за допомогою критерію Фішера.

### 3.4. Методика проведення порівняльних польових досліджень серійного і вдосконаленого картоплекопачів

Початок і кінець досліду визначали сигналом, що подається на початку і у кінці облікової ділянки. Тривалість досліду фіксували секундоміром, для визначення швидкості руху машини, м/с, застосовували формулу:

$$V_{\text{двиг}} = L_{\text{уч.д}} / t_{\text{прох}}, \quad (3.2)$$

де  $L_{\text{уч.д}}$  - довжина облікової ділянки, м;

$t_{\text{прох}}$  - час проходження облікової ділянки, с.

Установочну глибину ходу підкопуючих робочих органів регулювали на глибину до 2 см зверху максимальної глибини залягання бульб, узяті з характеристики культури.

Фактичну глибину ходу підкопуючих робочих органів визначали після проходу машиною облікової ділянки за допомогою лінійки і рейки, укладеної на вершину гребеня.

Повноту збирання і втрати бульб визначали на облікових ділянках після проходу машини. При цьому враховували:

- вільні бульби на поверхні ґрунту;
- бульби на поверхні ґрунту, але не відірвані від бадилля;
- бульби, залишені в ґрунті (засипані і непідкопані).

При визначенні втрат бульб (засипаних і непідкопаних) ділянки перекопували вручну лопатою на глибину, що перевищує на 3 см залягання нижньої бульби, після чого збирали в тару по видам і зважували.

За результатами зважування обчислювали масову долю кожного виду втрат від загальної маси бульб на обліковій ділянці. Бульби масою менше 20 г (завтовшки до 28 мм) до втрат не відносили.

Для визначення ушкоджень відбирали бульби масою більше 50 г для подальшого аналізу. При аналізі бульби ділили на дві групи: цілі і пошкоджені.

На пошкоджених бульбах в день відбору проб враховували наступні види ушкоджень (по числу випадків) :

- зідрана шкірка від 1/4 до 1/2 поверхні бульби;
- зідрана шкірка більше 1/2 поверхні бульби;
- вириви м'якуші завглибшки більше 5 мм;
- тріщини завдовжки більше 20 мм;
- розрізи і надрізи;
- роздавлена бульба.

Якщо на бульбі було декілька однотипних ушкоджень, то враховували кожне з них.

Потім цілі і пошкоджені бульби зважували і підраховували їх число, після чого закладали на десятиденне зберігання [84].

Після зберігання визначали потемніння м'якуша бульб. Для цього бульби розрізають перпендикулярно подовжній осі на часточки завтовшки 5 мм :

- при різанні бульб з партії пошкоджених враховують тільки число вогнищ з потемнінням м'якуша на глибину більше 5 мм;

Перелік показників, які враховувалися в день відбору проб, :

- врожайність бульб, ц/га;
- вологість ґрунту, %;
- твердість ґрунту по ширині і глибині між серединами суміжних рядків  $\text{кг/см}^2$ ;
- температура навколишнього повітря і ґрунту,  $^{\circ}\text{C}$ ;
- повнота збирання бульб і їх втрати, %;
- видимі ушкодження бульб, %;
- швидкість руху експериментального копача,  $\text{км/ч}$ ;
- глибина ходу робочих органів агрегату, м

Для визначення функціональних показників використовувалися різні засоби вимірювання і устаткування :

Алюмінієві бюкси;

Шафа сушильна з точністю  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ;

Термометри ртутні з точністю  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ;

Ваги з похибкою вимірів  $\pm 10$  міліграм,  $\pm 1,0$  г і  $\pm 40$  г;

Лінійка металева 500 мм з точністю  $\pm 1$  мм по ГОСТ 427;

Рулетки 3, 10 м з точністю  $\pm 1$  мм по ГОСТ 7502;

Координатна рейка з точністю  $\pm 1$  см;

Кілочки від 0,3 до 0,5 м; Мішечки для зберігання проб;

Плівка полімерна 10x3 м;

Секундомір з точністю  $\pm 1$  с;

Твердомер ґрунтовий з точністю  $\pm 5\%$ .

### **Висновки до розділу 3**

1. При проведенні експериментальних досліджень використовувалися як стандартна методика, так і методики, розроблені на їх основі. Перед лабораторно-польовими дослідженнями вдосконалений картоплекопач КТН-2В був налагоджений згідно з рекомендаціями керівництва по експлуатації машини.

2. Для визначення раціональних параметрів вдосконаленого підкопуючого пристрою виконували фіксацію підскоку компонентів бульбоносного пласта за допомогою камери S9200 і вимірної шкали з кроком 0,05 м. Зусилля стискування пружини змінювалося попереднім її натягом.

3. В процесі лабораторно-польових і виробничих досліджень передбачалося проведення агротехнічної оцінки ділянки і визначення експлуатаційних і якісних показників роботи збирального агрегату.

## **Розділ 4. Результати експериментальних досліджень картоплекопача з вдосконаленим підкопуючим робочим органом**

### **4.1. Результати агротехнічної оцінки**

В процесі досліджень визначили характеристику ділянки випробувань : типу ґрунту, вологості і твердості ґрунту, засміченості ділянки бур'янами рослинами і каменями, а також дослідженням профілю грядки.

Зняли характеристику культури картоплі з визначенням врожайності, маси і розмірів бульб, стану бадилля, висоти гребенів і характеристики гнізда.

Провели лабораторно-польові і господарські випробування серійного і вдосконаленого картоплекопача КТН-2В, оснащеного підкопуючим пристроєм, виконаного у вигляді підпружиненого лемеша з дільником.

Визначили повноту збирання , втрати і ушкодження бульб картоплі.

#### **4.1.1. Характеристика ділянки випробувань**

Перед проведенням польових досліджень була вибрана ділянка картопляного поля. В період збирання картоплі з вересня по жовтень 2020 року була знята його характеристика.

Вологість ґрунту визначалася щодня під час експерименту, проби на вологість бралися на глибині 0-25 см з інтервалом кожні 2 см в триразовій повторності. Вологість проби визначалася ваговим методом.

Усі показники визначали згідно ГОСТ 54781-2011 [20]. Результати вимірів заносилися в табл. 4.1.

Таблиця 4.1.

## Характеристика ділянки випробувань

Найменування показників	Значення показників
Дата зняття характеристики	вересень-жовтень 2016
Тип ґрунту	темно-сіра лісова
Найменування ґрунту по механічному складу	середній суглинок
Вологість ґрунту, %	19,5 - 23,3
Твердість ґрунту, МПа	0,42
Спосіб посадки	рядовий
Ширина міжрядь, см	70
Засміченість ділянки бур'янами, т/га	1,5
Фактичний урожай бульб, т/га	16,7
Стан бадилля	Напівсуха / скошена
Кількість кущів, тис. шт/га	36,9
Висота гребенів, см	19,5



Рис. 4.1. Проби вологості ґрунту

Вологість ґрунту обчислювали за формулою:

$$W = \frac{c_{вл.н} - a_{сух.н}}{a_{сух.н}} 100\%, \quad (4.1)$$

де  $c_{вл.н}$  - маса вологої навіски ґрунту, г;

$a_{сух.н}$  - маса сухого навішування ґрунту, г.



Твердість ґрунту визначалася твердоміром Ревякіна, на глибину 0-25 см з інтервалом через кожні 5 см, повторність вимірів триразова.

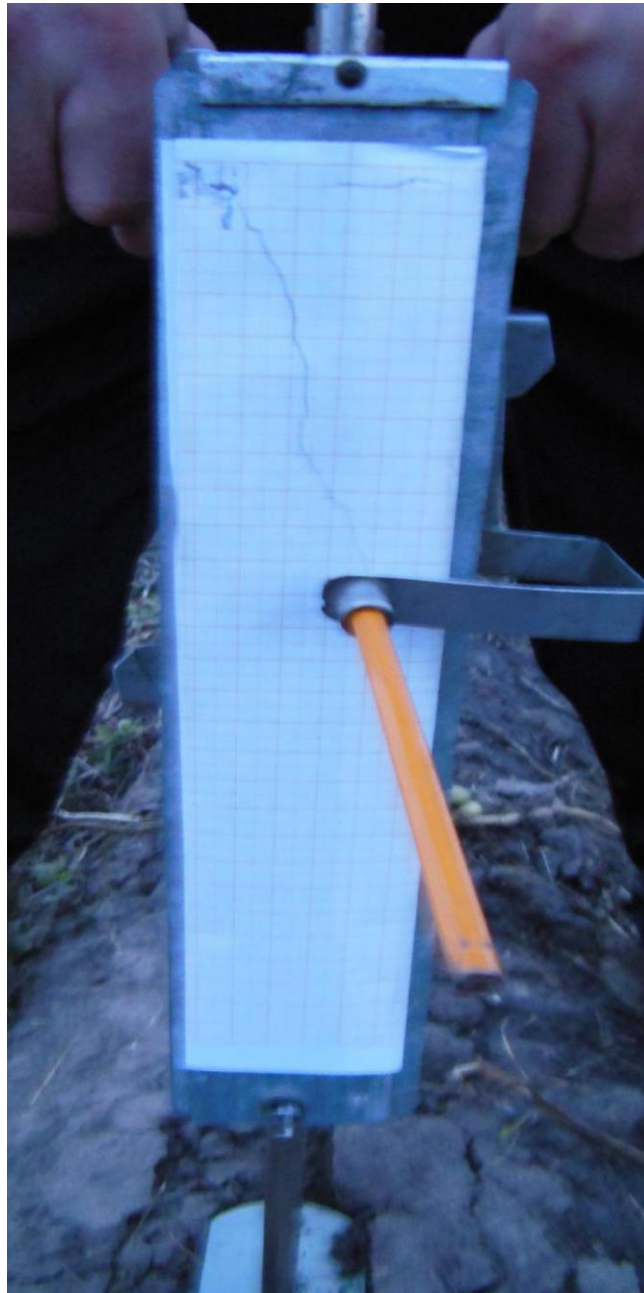


Рис. 4.2. Вимірювання твердості ґрунту твердоміром Ревякіна

## 4.1.2. Результати зняття характеристики культури картоплі

Таблиця 4.2.

## Характеристика культури картоплі

Найменування показників	Значення показників
Дата зняття характеристики	вересень - жовтень 2016
Сорт картоплі	"Латону"
Фактичний урожай бульб, т/га	16,7
Кількість кущів, тис. шт/га	36,9
Середня кількість бульб на кущі, шт	11,9
Середня маса бульби, г	95,7
Середня маса бульб на кущі, г	1139,2
Середні розміри бульб :	
Довжина, мм	66,3
Ширина, мм	50,2
Товщина, мм	41,6
Висота гребенів, см	19,5
Характеристика гнізда :	
Ширина гнізда, см	18,1
Глибина залягання нижньої бульби, см	15,5

## **4.2. Результати визначення раціональних параметрів вдосконаленого підкопуючого робочого органу**

Лабораторно-польові дослідження агрегату у складі трактора МТЗ- 82 і картоплекопача КТН-2В з вдосконаленим підкопуючим органом проводили збирання на 2 передачі. Налаштування робочих органів картоплекопача здійснювалося з урахуванням агротехнічних вимог до якості збирання картоплі. Потім на заздалегідь налагодженому картоплекопачі здійснювали зміни натягу пружин лемеша, тим самим регулюючи кут нахилу і місце подачі бульбоносного пласта на елеватор. Жорсткість пружини складала 10,3 Н/мм. Експериментальні дослідження проводилися згідно розробленої методики і матриці планування експерименту. Результати експерименту приведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3.

Результати однофакторного експерименту, проведеного на картоплекопачі КТН-2В з вдосконаленим підкопуючим органом.

№	Чинник варіювання	Функція оптимізації
	Попереднє натягнення пружини, м	Висота підскоку, м хв]1
1	0	0,05
2	0	0,066
3	0	0,061
4	0,005	0,055
5	0,005	0,065
6	0,005	0,069
7	0,01	0,054
8	0,01	0,057
9	0,01	0,068
10	0,015	0,038
11	0,015	0,047
12	0,015	0,053
13	0,02	0,038
14	0,02	0,039
15	0,02	0,032

Отримані результати були оброблені за допомогою програми STATISTICA V8, що дозволило отримати рівняння регресії :

$$Var2 = 0.0599 + 0.9057 \cdot x_e - 107.619 \cdot x_e^2$$

де  $Var2$  - висота підскоку, Н;

$x_e$  – попередній натяг пружини, м

Аналіз статистичних показників моделі дозволяє говорити про її адекватність, коефіцієнт детермінації складає  $R^2 = 0,73$ . Найбільш значущим коефіцієнтом рівняння регресії є коефіцієнт при останньому членові рівняння рівний 107,619, що підкреслює параболічний характер залежності. На підставі отриманого рівняння регресії був побудований графік впливу натягу пружини на висоту підскоку представлений на малюнку 4.3.

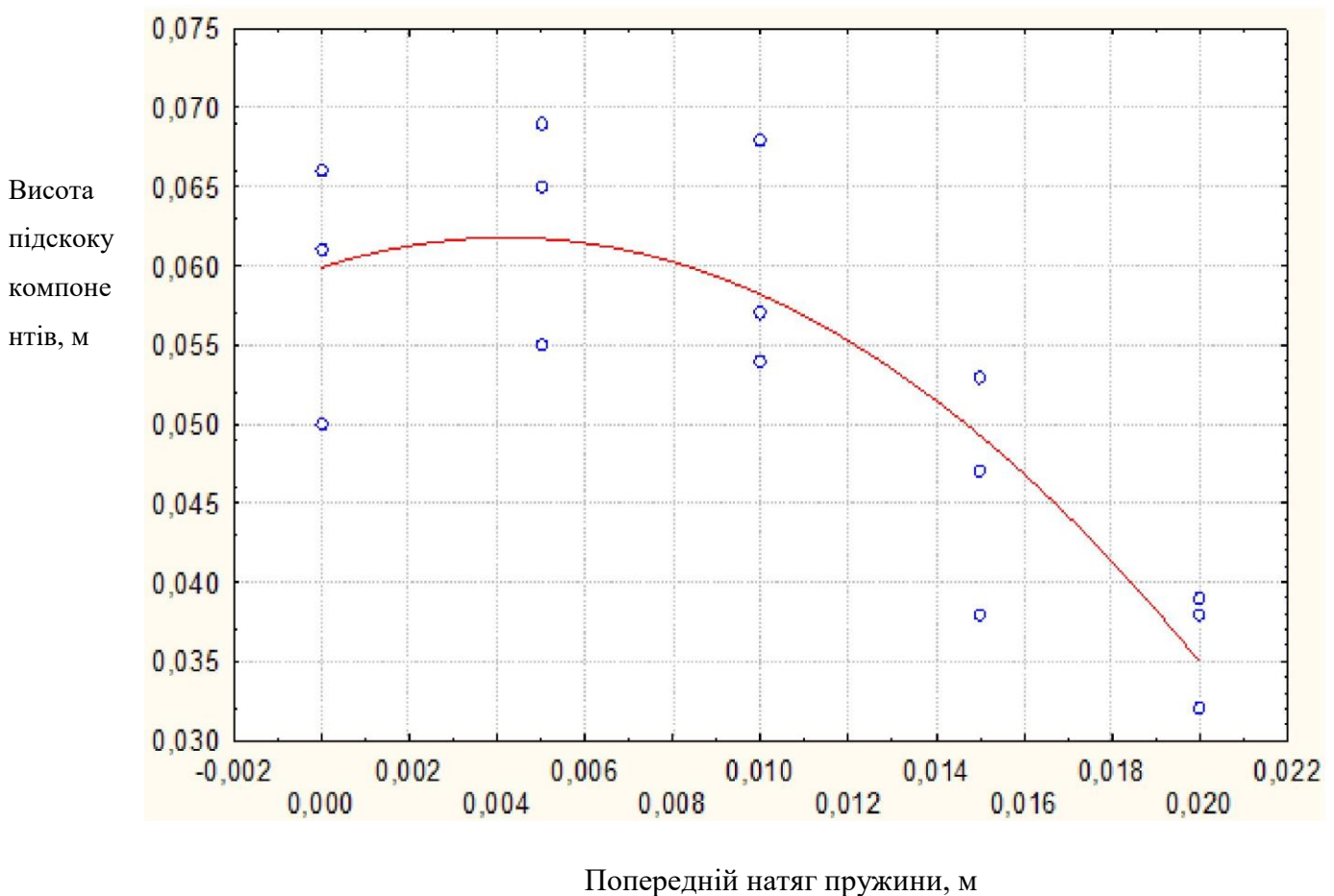


Рис. 4.3. Залежність висоти підскоку компонентів від попереднього натягу пружини

Аналіз графіку показав, що найбільша висота підскоку компонентів картопляного вороху рівна 0,062 м спостерігалася при попередньому натягненні пружини 0,005 м. Слід зазначити, що натягнення пружини сприяє стабільності висоти підскоку. Враховуючи, що висота підскоку пов'язана з інтенсивністю дії на бульбоносний пласт, нами також оцінювалися якісні показники роботи картоплекопача, а саме: кількість бульб на поверхні, залишених в ґрунті, а також різні види ушкодження бульб.

Збільшення дії не істотно підвищує ушкодження, завдяки прошарку ґрунту між картоплею і прутками елеватора, але сприяє збільшенню сепарації.

### **4.3. Результати господарських досліджень серійного і вдосконаленого картоплекопача КТН-2В**

#### **4.3.1. Об'єкт польових досліджень**

На основі теоретичних і лабораторних досліджень був розроблений і виготовлений, на базі картоплекопача КТН-2В, вдосконалений картоплекопач у якого замість серійного підкопуючого органу був встановлений вдосконалений робочий орган, що містить підпружинені лемеші з дільниками бульбоносного пласта у вигляді гіперболічного конуса. При необхідності дільників можна зняти і продовжувати роботу використовуючи підпружинені лемеші, змінюючи частоту коливань і кут нахилу за допомогою зміни жорсткості пружини.

#### **4.3.2. Експериментальні дослідження в польових умовах.**

Порівняльні випробування картоплекопачів проводилися в період масового збирання картоплі з вересня по жовтень згідно з методикою і ГОСТ 54781-2011.

Для отримання порівнянних результатів випробувань, був вибраний картоплекопач КТН-2В, що агрегується з трактором МТЗ- 82, на якому встановлювали серійні і вдосконалені підкопуючі робочі органи.

Випробування картоплезбиральних машин проводили на ділянках із задалегідь скошеним бадиллям. Висота зрізу бадилля була не більше 15 см

Для визначення повноти збирання, втрат і ушкоджень бульб картоплі на досліджуваному картоплекопачі була встановлена вісь, що вільно оберталася, з рулоном плівки завдовжки 10 м. Коли випробовуваний картоплекопач підїжджав до облікової ділянки, кінці плівки закріплювалися на ґрунті. Оскільки довжина рулону плівки була рівною з довжиною облікової ділянки, то в процесі збирання, ворох, що зійшов з елеватора, зсипався на плівку, до закінчення облікової ділянки. У кінці облікової ділянки машину зупиняли і вимикали усі приводи робочих органів і технологічних ліній.



Рис. 4.4. Вдосконалений картоплекопач КТН-2В під час визначення повноти збирання (вигляд ззаду)

Результати порівняльних випробувань картоплекопачів приведені в таблиці 4.3.

#### 4.4. Визначення повноти збирання, втрат і ушкоджень бульб картоплі

Повноту збирання і втрати бульб визначали на облікових ділянках після проходу машини.

Визначення видимих ушкоджень проводились в полі в день випробування картоплезбиральної машини, а для подальшого аналізу, з ділянки брали частину бульб - не менше 15 кг. Інші бульби виключали з проби. Потім бульби ділили на дві групи: цілі і пошкоджені і закладали на десятиденне зберігання, згідно ГОСТ 54781-2011 [20], після цього проводився другий огляд для визначення потемніння м'якуша бульб. Для цього бульби розрізали перпендикулярно подовжній осі на часточки завтовшки 5 мм, причому при різанні, враховували тільки число осередків з потемнінням м'якуша на глибину більше 5 мм.



Рис. 4.5. Повторний огляд після десятиденного зберігання бульб

Аналіз на наявність усіх видів ушкоджень бульб проводили згідно ГОСТ 54781-2011 [20], результати заносили в табл. 4.4.

При обробці даних для отримання показника міри ушкоджень бульб робився перерахунок кількості ушкоджень що доводяться на 100 штук картоплі, по формулі:



$$P = \frac{m_{нов} \cdot 100}{n_{кл}}, шт \quad (4.2)$$

де  $P$  - кількість ушкоджень, що доводяться на 100 штук бульб;

$m_{нов}$  - кількість випадків того або іншого виду ушкоджень;

$n_{кл}$  - кількість бульб в пробі, шт.

100 - кількість бульб, по якій проводиться перерахунок. при перерахунку потемнінь м'якуша на 100 бульб, кількість осередків, виявлених в групі цілих і пошкоджених - підсумовувалася.

Таблиця 4.4.

Результати польових випробувань серійного і вдосконаленого картоплекопача КТН-2В

Найменування даних	Картоплекопач КТН-2В	
	Серійний	Вдосконалений
1. Терміни проведення випробувань	вересень - жовтень.	
2. Температура повітря, °С	13	
3. Температура ґрунту на глибині залягання бульб, °С	8	
4. Попередня обробка	видалення бадилля (машина КИР-1,5Б)	
5. Робоча швидкість агрегату, км/ч	3,4	3,9
6. Якість виконання технологічного процесу, %:		
6.1. Кількість бульб на поверхні	92,4	95,3
6.2. Залишено в ґрунті	0,8	0,8
6.3 Присипано ґрунтом	6,8	3,9
6.4. Всього втрат	-	-
7. Ушкодження бульб, усього по масі, %:	7,6	4,7
7.1. Зідрана шкірка від 1/4 до 1/2 поверхні бульби	4,08	4,19
7.2. Зідрана шкірка більше 1/2 поверхні бульби	0,58	0,62
7.3. Вириви м'якуша завглибшки більше 5 мм	-	-
7.4. Тріщини завдовжки більше 20 мм	1,25	1,29
7.5. Роздавлені бульби	0,3	0,25
7.6. Різані бульби	0,2	0,2
7.7. Потемніння м'якуша від удару завглибшки більше 5 мм	1,75	1,83

Аналіз табл. 4.4 показав переваги і незначні недоліки в роботі вдосконаленого картоплекопача з модернізованим підкопуючим органом в порівнянні з серійним:

- при роботі вдосконаленого картоплекопача КТН-2В втрати бульб знижуються на 2,9% порівняно з серійним, за рахунок зменшення кількості бульб, присипаних ґрунтом;
- застосування модернізованого підкопуючого органу в конструкції картоплекопача КТН-2В трохи підвищує ушкодження бульб на 0,11%.
- при роботі вдосконаленого картоплекопача КТН-2В встановлено, що збільшення дії на бульбоносний пласт на початку технологічного процесу сприяє поліпшенню сепарації ґрунту, це дозволило збільшити робочу швидкість агрегату до 3,9 км/год.

#### **Висновки до розділу 4**

1. Знята характеристика ділянки випробувань з визначенням: типу ґрунту, вологості і твердості ґрунту, засміченості ділянки смітними рослинами і каменями, а також дослідженням профілю грядки;

2. Знята характеристика культури картоплі з визначенням врожайності, розмірно-масових характеристик бульб, стану бадилля, висоти гребенів і характеристики гнізда;

3. Лабораторно-польові дослідження показали, що найбільша висота підскоку компонентів картопляного вороху в зоні передніх опор основного елеватора дорівнює 0,062 м. Вона спостерігалася при попередньому натягненні пружини 0,005 м жорсткістю 10,3 Н/м. Слід зазначити, що натягнення пружини сприяє стабільності висоти підскоку.

4. Господарські випробування серійного і вдосконаленого картоплекопача КТН-2В показали:

- при роботі вдосконаленого картоплекопача КТН-2В втрати бульб знижуються на 2,9% порівняно з серійним, за рахунок зменшення кількості бульб, присипаних ґрунтом;
- застосування модернізованого підкопуючого органу в конструкції картоплекопача КТН-2В трохи підвищує ушкодження бульб на 0,11%.
- при роботі вдосконаленого картоплекопача КТН-2В встановлено що, збільшення дії на бульбоносний пласт на початку технологічного процесу сприяє поліпшенню сепарації ґрунту. Це дозволило збільшити робочу швидкість агрегату до 3,9 км/ч.

## Література

1. И.А.Долгов Уборочные сельскохозяйственные машины (конструкция, теория, расчет). Ростов-на-Дону, 2003. 706 с.
2. Ryall, L.A. and J.M. Lipton (1983). Handling , transportation and storage of fruits and vegetables. A VI publishing company. INC. Westport, Connecticut. V. second edition vegetables and melons.
3. Smith, O.(1977). Potatoes; production, storing, processing. The AVI pub. Co., INC. Westport, Connecticut.
4. Ismail Z.E., (1991). Potato cultivar, cultivation, harvesting, handling and storage. Dar EL mearef publisher - Alexandria : p. 23 - 57.
5. Jamrocik E. (2007).Maszyny i narz^dzia rolnicze. Maszyny do zbioru i sortowania ziemniakow. UTP Bydgoszcz: p. 188-204;
6. Гевко Р.Б. Підвищення техніко-економічних показників машин для збирання картоплі. Український журнал прикладної економіки. 2016. Том 1. № 1. С. 39-49.
7. Д.Г. Войтюк. Сільськогосподарські та меліоративні машини. Київ : «Вища освіта», 2004. 544 с.
8. Д.В. Александров. Картофелеуборочные машины. М.: ВИСХОМ, 1936. 118 с.
9. Збирання картоплі: Коли? Як? Чим?. - Режим доступу: <http://www.agro-business.com.ua/>
10. Пономарев А.Г. Техничко-экономическое обоснование направлений совершенствования машинных технологий возделывания картофеля и овощей [Текст]. Система технологий и машин для инновационного развития АПК России: Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 145-летию со дня рождения основоположника земледельческой механики В.П. Горячкина, Москва, ВИМ, 17-18 сентября 2013 г. Ч. 2. М.: ВИМ, 2013. С. 241-244.

11. Збирання та післязбиральна доробка бульб картоплі. - Режим доступу: <https://propozitsiya.com/>
12. Петров Г. Д. Картофелеуборочные машины. М.: Машиностроение, 1984. 214 с.
13. Hakan Kibar (2012). Design and management of postharvest potato (*Solanum tuberosum* L.) storage structures. *Ordu Univ. J. Sci. Tech* Vol. 2, No, 1, pp. 23-48
14. Misener, G.C., L.P. McMillan (1982). A single-hill potato digger. *American Potato Journal*. Vol. 59, Issue 11, pp 551-553. doi:<https://doi.org/10.1007/BF02852604>
15. R.W.Chase, N.R. Thompson, R.L. Ledebuhr, C.M. Hansen, R.B. Kitchen. (1978). Plot harvester for potatoes. *American Potato Journal*. Vol. 55, Issue 4, pp. 235-237. doi.org/10.1007/BF03044531
16. Misener, G.C., L.P. McMillan (1987). A bulk potato trailer for research plots. *American Potato Journal*. Vol. 64. Pp. 403-407. Retrieved from: <https://doi.org/10.1007/BF02853702>
17. Dagninet Amare, Geta Kidanemariam, Wolelaw Endalew, Seyife Yilma (2015) Potato Harvester for Smallholder Producers. *International Journal of Mechanical Engineering and Applications*. Vol.3, No. 6, 2015, pp. 103-108. doi:10.11648/j.ijmea.20150306.11
18. Луковников Ю.Н., Шведков В.И. Лемех корнеклубнеуборочной машины. А.с. 933026 СССР. № 2966427/30-15; заявл. 01.08.80; опубл. 07.06.82. Бюл. № 21. 2 с.
19. Копосов А.И., Баранов И.В. Подкапывающее устройство корнеклубнеуборочной машины : а.с. 933027 СССР : № 3002529/30-15; заявл. 11.11.80; опубл. 07.06.82. Бюл. № 21. 2 с.
20. Виноградов В.И., Дорохов А.П., Жернаков А.А., Костюченков Н.В. Копатель корнеклубнеплодов : а.с. 1079202 СССР : № 3414301/30-15; заявл. 30.03.82; опубл. 15.03.84. Бюл. № 10. 3 с.

21. Глеков Н.Ф.; Голинский И.М. Подкапывающий орган уборочной машины для уборки корнеклубнеплодов : а.с. 871758 СССР : №2897900/30-15; заявл. 24.03.80; опубл. 15.10.81. Бюл. № 38. 2 с.
22. Махлин Б.Е., Дрейман Р.Г., Сорокин А.А., Петров Г.Д., Г алынский А.Е. Выкапывающий рабочий орган картофелеуборочной машины : а.с. 1376969 СССР : № 3927189/30-15; заявл. 17.07.85; опубл. 29.02.88. Бюл. № 8. 2 с.
23. Сакун В.А., Угланов М.Б., Норчаев Р.Н, Шаров В.В., Лобачевский Я.П., Веселов В.А. Выкапывающий рабочий орган корнеклубнеуборочной машины : а.с. 1055389 СССР : № 3483622/30-15; заявл. 13.08.82; опубл. 23.11.83. Бюл. № 43. 2 с.
24. Благов В.В., Лапин В.И., Карпов В.А., Проскурин Ю.В. Лемех корнеклубнеуборочной машины : а.с. 452299 СССР : № 1894510/30-15; заявл. 16.03.73; опубл. 05.12.74. Бюл. № 45. 2 с.
25. Виноградов Ю.А., Фомин И.М., Мешинев В.А., Лапин В.И. Выкапывающий рабочий орган корнеклубнеуборочной машины : а.с. 858618; СССР : № 3896502/30-15; заявл. 20.03.80; опубл. 30.08.81. Бюл. № 32. 3 с.
26. Новиков В.Г. Режущий рабочий орган корнеклубнеуборочной машины : а.с. 1789105 СССР : № 4874315/15 заявл. 13.08.90; опубл. 23.01.93, Бюл. № 3. 3 с.
27. Лутхов Н.Н., Сорокин А.А., Петров Г.Д., Успенский И.А. Выкапывающий рабочий орган корнеклубнеуборочной машины : а.с. 1674723 СССР : № 4361604/15; заявл. 07.01.88; опубл. 07.09.91. Бюл. № 33. 3 с.
28. Пасаман Б.Ф., Пасаман А.Б. Роторный копач для картоплі та коренеплодів : патент на винахід №44456 Україна : № 2001032015; заяв. 27.03.01; опубл. 15.02.02. Бюл. №2. 4 с.
29. Корнюшин В.М., Насонов В.А. Підкопувально-сепаруючий пристрій коренебульбозбиральної машини : патент на корисну модель Україна : №u200608594; заявл. 31.07.06; опубл. 15.01.07. Бюл. №1. 3 с.

30. Копосов А.И., Варанов И.В. Подкапывающее устройство корнеклубнеуборочной машины : а.с. 1033041 СССР : № 3396748/30-15; заявл. 12.02.82; опубл. 07.08.83. Бюл. № 29. 2 с.
31. Сорокін А.А., Лебошки В.И., Губарев А.М., Сорокіна Л.П., Монахов Н.Г. Подкапывающий рабочий орган корнеклубнеуборочной машины : а.с. 655355 СССР : № 2337996/30-15; заявл. 26.03.76; опубл. 05.04.79. Бюл. № 13. 2 с.
32. Размыслович И.Р., Серхан Н.А., Подскребко М.Д., Кроптов А.П., Углонов М.Б., Дохин И.Е. Ротационный рабочий орган картофелеуборочной машины : а.с. 1207416 СССР : № 3747604/30-15; заявл. 27.03.84; опубл. 30.01.86, Бюл. № 4. 3 с.
33. Александрян К.В., Хачатрян Л.С., Мкртчян Д.Г., Арутюнян К.Г., Косян К.В. Подкапывающе-сепарирующее устройство рабочий орган
34. корнеклубнеуборочной машины : а.с. 1500188 СССР : № 4265234/30-15; заявл. 19.06.87; опубл. 15.08.89, Бюл. № 30. 3 а
35. Корепанов Ю.Г., Сорокін А.А. Выкапывающий рабочий орган корнеуборочной машины : а.с. 1271409 СССР : № 3899603/30-15; заявл. 20.05.85; опубл. 23.11.86, Бюл. № 43. 2 а
36. Кузьмин А.В., Дабалаев Н.А., Цыбиков В.Л., Болохоев В.С. Картофелеуборочная машина : патент на изобретения №2395954 Россия : № 2008152541/12 ; заявл. 29.12.08; опубл. 10.08.10. Бюл. №22. 5 с.
37. Бончик В.С., Федірко П.П., Жук Ю.О. Картоплекопач : патент на корисну модель №88722 Україна : ^01313151; заявл. 12.11.13; опубл. 25.03.14. Бюл. №6. 4 а
38. Кириленко Ю.П., Татаринев М.И., Терентьев Ю.В. Картофелеуборочная машина : патент на изобретения №2286041 Россия : №2005100477/12; заявл. 11.01.05; опубл. 27.10.06. Бюл. №30. 5 с.
- 39.

40. Пасаман Б.Ф., Гунько Ю.Л., Пасаман О.Б. Підкопувально- сепарувальний пристрій картоплекопача : патент на корисну модель №90698 Україна : ^01314527; заявлено 11.12.13; опубліковано 10.06.14. Бюл. №11. 5 а
41. Охоткин Н.Л. Выкапывающий рабочий орган корнеклубнеуборочной машины : а.с. 843820 СССР : №2673693/30-15; заявл. 18.08.78; опубл. 07.07.81. Бюл. № 25. 2 с.
42. Пасаман Б.Ф., Пасаман О.Б. Збірний леміш : патент на корисну модель №19434 Україна : ^00606900; заявл. 20.06.06; опубл. 15.12.06. Бюл. №12. 2 а
43. Горячкин В.П. Земледельческая механика. Собрание сочинений в трех томах. Т.1. М.:Колос, 1965. 714 с.
44. Синеоков Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М: Машиностроение, 1977. 328 с.
45. Гольштейн М.Н. Механические свойства грунтов. Второе издание. М.: Издательство литературы по строительству, 1971. 369 с.
46. Гудков А.Н. Теоретическое положения к выбору новой системы машин для обработки почвы. Земледельческая механика. М.: Машиностроение, 1969. 168 с.
47. Кулен А. Современная земледельческая механика. М.: Агропромиздат, 1986. 349 с.
48. Кушнарёв А.С. Механико-теоретические основы обработки. К.: Урожай, 1989. 144 с.
49. Кушнарёв А.С. Механико-технологические основы процесса воздействия рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий на почву: дис. д.т.н.: 05.02.01. / Кушнарёв Артур Сергеевич. Мелитополь, 1980. 329 с.
50. Дьяков В.П. О почве, как материале воздействия рабочих органов машин технологического комплекса. Земледелие. №28, 2014, С. 13-15. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://cyberleninka.ru>



51. Дьяков В.П. О результатах исследований деформирования почвы рабочими органами машин и орудий технологических комплексов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://cyberleninka.ru>
52. Ветохин В.И. Проектирование рыхлителей почвы на основе метода отображения рациональной деформации пласта. Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1994. №1. С. 21-24.
53. Ветохин В.И. Анализ некоторых аспектов деформации почвы применительно к проектированию энергосберегающих орудий для глубокого рыхления почвы. Научно-технический прогресс в сельскохозяйственному производстве: сборник статей Международной научно-практической конференции к 60 летию образования. ИМСХ АН БССР, Минск, 17-19 октября 2007 г. В.3Г. - Минск: РУП «НПЦ БелНИИМСХ», 2007. Т.1. С.128-133.
54. Osman V.S. The mechanics of soil cutting blades / Osman // Agriculture Engineering. 1964. Res: 313-328
55. Федоровский В.Г. Современные методы описания механических свойств грунтов. Строительство и архитектура. Сер. 8: Строительные конструкции. Вып. 9. М., 1985.
56. Drucker D.C., Prager W. Soil mechanics and plastic analysis or limit design / D.C. Drucker, W. Prager // Quarterly of Applied Mathematics. 1952. Vol.10 #2. P. 61-75.
57. Николаевский В.Н. Механические свойства грунтов и теория пластичности. - Итоги науки и техники. Механика твёрдых тел. Т.6. М., ВНИИТИ, 1972.
58. Schofield A.N., Wroth P. Critical State Soil Mechanics. No Graw-Hill, London, 1968.
59. Roscoe K.H., Burland J.B. Ln “Engineering Plasticity”, Cambridge University Press, Cambridge, 1968, p. 535-609.
60. Bazant Z.P., Krizek R.J. Proc. ASCE, 1976, Vol.102, NEM2, p.225-238.

61. Бажант З.П. Эндохронная теория неупругости и инкрементальная теория пластичности. Сб.: Механика деформируемых твердых телю М., Мир. 1983
62. Valanis K.C. *Archiwum Mech Stosowanej*, 1971, vol.23. p. 517-551.
63. Шеповалов В.Д. Автоматизация уборочных процессов. М.: Колос. 1978. 383с.
64. Костенко М.Ю. Теоретические вопросы применения элеваторов с комбинированными прутками в картофелеуборочных машинах: монография. Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева. Рязань, 2010. 53 с.
65. H.W. Piatt, A.J. Campbell, I. Birt, B. MacKinnon (1990). Modifications of a potato harvester for small plot fiel research. *American Potato Journal*. Vol. 67, Issue 11, pp 799-803. doi.org/10.1007/BF03044531.
66. Самокиш М.І., Бендера І.М., Клевцов М.М., Божок А.М. Системи керування сільськогосподарських енергетичних засобів: Навчальний посібник для студентів вузів. Київ: Урожай. 1999. 304 с.
67. Бончик В.С. Розробка та обґрунтування параметрів ротаційного картоплекопача: автореф. дис. на присв. учен. степ. кан. техн. наук: спец. 05.05.11 «Машини і засоби сільськогосподарського виробництва» / В.С. Бончик. Луцьк, 2001. 18 с.
68. Грушецький С.М. Обґрунтування конструкції і параметрів лемішно - полицевого картоплекопача з барабанним сепаратором картопляного вороху; автореф. дис. на присв. учен. степ. кан. техн. наук: спец. 05.05.11 Машини і засоби сільськогосподарського виробництва / С.М. Грушецький. Вінниця, 2008. 18 с.
69. Пасаман Б.Ф. Обґрунтування параметрів лемішно-роторного картоплекопача; автореф. дис. на здоб. учен. ступ. кан. техн. наук: спец. 05.05.11 Машини і засоби сільськогосподарського виробництва / Б.Ф. Пасаман. Тернопіль, 2006. 15с.

70. Бышов Н. В., Борычев С.Н., Успенский И.А., Бышов Д.Н., Рембалович Г.К., Паршков А.В., Голиков А.А. Теоретические и практические основы применения современных сепарирующих устройств со встархиванием в картофелеуборочных машинах. Научный журнал КубГАУ. Кубань: КубГАУ. 2013; №89(05). С. 729 - 738.
71. Hevko R.B., Tkachenko R.I., Synii S.V., Flonts I.V. Development of design and investigation of operation processes of small-scale root crop and potato harvesters. INMATEH: Agricultural engineering. Bucharest, Romania. 2016. Vol. 49. № 2. pg. 53-60.
72. Hevko R., Brukhanskyi R., Flonts I., Synii S., Klendii O. Advances in methods of cleaning root crops. Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II. Transilvania University Press Brasov, Romania. 2018. Vol. 11(60). № 1. pg. 127-138.
73. Hevko R.B., Tkachenko I.G., Rogatynskyi R.M., Synii S.V., Flonts I.V., Pohrishchuk B.V. Impact of parameters of an after-cleaning conveyor of a root crop harvester on its performance. INMATEH: Agricultural engineering. Bucharest, Romania. 2019. Vol. 59. № 3. pg. 41-48.
74. Смолінський С.В. Аналіз основних показників технічної характеристики сучасних картоплезбиральних машин. Науковий вісник НУБіП України. Серія : Техніка та енергетика АПК : зб.наук.праць Київ: НУБіП, 2018 № 282 (2018). С. 200207.
75. Смолінський С.В. Обґрунтування доцільності застосування спірального очисника в конструкції дворядного картоплекопача. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України : зб.наук.праць Київ: НУБіП, 2017. Вип. 21. С. 88-92.
76. Никулин И.В. Исследование комбинированных подкапывающих рабочих органов картофелеуборочных машин: дис. канд. техн. Наук. М.: 1982. 214с.
77. Кобець А.С., Сокол С.П., Науменко М.М., Кобець О.М., Волик Б.А., Пугач А.М. Викопувальний орган коренезбиральної машини : патент на корисну

- модель № 83230 Україна : Ш01304086; заявл. 27.04.2009; опубл. 25.08.2009. Бюл. №16. 4 с.
78. Кобець А.С., Сокол С.П., Науменко М.М., Кобець, О.М., Волик Б.А., Пугач А.М. Викопувальний орган коренезбиральної машини : патент на корисну модель № 49323 Україна : Ш00911390; заявл. 09.11.2009; опубл. 26.04.2010, Бюл. №8. 3 с.
79. Шапошников А.Н. Способ и устройство для оперативного определения повреждения клубней картофеля при механизированной уборке: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: спец. 05.20.01 Технология и средства механизации сельского хозяйства / А.Н. Шапошников. Рязань, 2004. 24 с.
80. Заводов С.В. Исследование взаимодействия клубней картофеля с рабочими органами сельскохозяйственных машин: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: спец. 05.20.01 Технология и средства механизации сельского хозяйства / С.В. Заводов. Москва, 2002. 15с.
81. Кузьмин А.В. Методы снижения повреждаемости клубней картофеля и совершенствования картофелеуборочных машин: автореф. дис. на соиск. учен. степ. док. техн. наук: спец. 05.20.01 Технология и средства механизации сельского хозяйства / А.В. Кузьмин. Москва, 2005. 38с.
82. Гордеев О.В. Совершенствование рабочих органов машин для уборки и послеуборочной доработки семенного картофеля; автореф.дис. на соиск. учен. степ. док. техн. наук: спец. 05.20.01 Технология и средства механизации сельского хозяйства / О.В. Гордеев. Челябинск, 2014. 44 с.

## Додатки