

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ЛИТВИНЧУК ДМИТРО АНДРІЙОВИЧ

УДК 631.5

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОТКА
КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ Литвинчук Д.А.

Керівник роботи

Білецький В.Р.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Литвинчук Дмитро Андрійович. Обґрунтування параметрів котка картоплезбиральної машини. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

В кваліфікаційній роботі проведений аналіз відомих науково-технічних джерел продемонстрував значну кількість праць, присвячених коткам картоплезбиральних машин. У сучасних умовах значення котків недооцінене. Встановлено, що котки картоплезбиральної машини здатні поліпшити руйнування ґрунтових грудок, тому слід продовжити їхню модернізацію.

Встановлено залежність між навантаженням і деформацією ґрунту (глибиною колії) з урахуванням геометричних параметрів котка та фізико-механічних властивостей ґрунту. Аналіз залежності показав, що зі збільшенням навантаження на коток і зменшенням кількості кілець на котку збільшується вплив на ґрунтові грудки.

В роботі встановлено, що для того, щоб ефективність сепарації не була нижчою за 79%, а величина ушкоджень картоплі не більшою за 1,3% остаточної висоту кільця приймаємо 8 мм за кількості кілець 3 штуки. Експериментально визначено, що найменша кількість ґрунтових грудок $U_{\text{кк}} = 24,17\%$ досягається за встановлення 3 кілець на циліндричній частині котка та вологості ґрунту 16%.

Встановлено зниження кількості ґрунтових грудок у 1,60 рази за роботи ККР-2М і в 1,57 рази за роботи GRIMME SE 150-60-M.

Ключові слова: каток, картоплезбиральна машина, сепарація, ґрунту, навантаження.

ANNOTATION

Dmytro Andriyovych Lytvynchuk. Substantiation of the parameters of a potato harvester roller. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2023.

In the qualification work, the analysis of well-known scientific and technical sources showed a significant number of works devoted to the rollers of potato harvesters. In modern conditions, the importance of rollers is underestimated. It has been established that potato harvester rollers can improve the destruction of soil clods, so their modernisation should be continued.

The relationship between load and soil deformation (track depth) was established, taking into account the geometric parameters of the roller and the physical and mechanical properties of the soil. The analysis of the dependence showed that with an increase in the load on the roller and a decrease in the number of rings on the roller, the impact on soil clods increases.

It was found that in order to ensure that the separation efficiency was not lower than 79% and the amount of damage to potatoes was not more than 1.3%, the final ring height was 8 mm with the number of rings being 3. Experimentally, it was determined that the lowest number of soil clods, $U_{kk} = 24.17\%$, was achieved when 3 rings were installed on the cylindrical part of the roller and soil moisture was 16%.

A 1.60-fold decrease in the number of soil clods was found for the KKR-2M and a 1.57-fold decrease for the GRIMME SE 150-60-M.

Keywords: roller, potato harvester, separation, soil, load.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ І КЛАСИФІКАЦІЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ДЛЯ РУЙНУВАННЯ ҐРУНТОВИХ ҐРУДОК.....	8
РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА КОТКА ДЛЯ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ.....	13
РОЗДІЛ 3. АГРОТЕХНІЧНА ОЦІНКА РОБОТИ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ВИКОРИСТАННЯ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН МЕТОДОМ ЕКСПЕРТНИХ ОЦІНОК...23	
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	32
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	33

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Картоплезбиральні машини безперервно змінюються в бік зменшення витрат людської праці та збільшення кількості автоматизованих процесів, що супроводжуються комбінуванням технічних засобів. Як правило, під час механізованого збирання картоплі на суглинкових ґрунтах під час висихання після опадів утворюються ґрунтова кірка, яка під час руйнування дає грудки розмірами з бульбу. Через те, що дані ґрунтові грудки не відсіваються під час сепарації, то потрапляючи в бункер засмічують картопляний ворох, тому руйнування ґрунтових грудок є актуальним під час збирання картоплезбиральними машинами.

Багаторічними дослідженнями авторів встановлено, що за таких умов найефективнішою є конструкція передньої частини комбайна з грудкоруйнівними котками, які копіюють грядку, тому необхідно проводити дослідження в цій області з розробкою їхніх нових конструкцій, що дасть змогу підвищити техніко-економічний ефект використання картоплезбиральних машин.

Мета і завдання дослідження. Мета проєкту: руйнування ґрунтових грудок і поліпшення сепарації в картоплезбиральній машині.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити основні завдання:

- провести аналіз досліджень застосування котків на картоплезбиральних машинах;
- уточнити параметри котка картоплезбиральної машини.

Об'єкт дослідження: процес руйнування ґрунтових грудок котком.

Предмет дослідження: закономірності процесу руйнування ґрунтових грудок котком.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Білецький В.Р., Литвинчук Д.А. Огляд досліджень і класифікація робочих органів для руйнування ґрунтових грудок. *Наукові читання–2023:*

матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 19 квітня 2023 р. Житомир : Поліський національний університет, 2023. Т. 3. С. 7-10.

2. Білецький В.Р., Литвинчук Д.А. Конструктивно-технологічна схема катка для картоплезбиральної машини. *Збірник матеріалів ІХ Міжнародної науково-практичної конференції „Інноваційні технології в АПК”. 7-8 червня 2023 року, м. Луцьк. С.*

Практичне значення проєкту полягає у розробці нової конструкції катка для картоплезбиральної машини.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 15 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 34 сторінки комп'ютерного тексту, містить 12 рисунків та 3 таблиця.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ І КЛАСИФІКАЦІЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ДЛЯ РУЙНУВАННЯ ҐРУНТОВИХ ҐРУДОК

Вивчення науково-дослідних робіт за технологіями та засобами збирання картоплі й інших коренебульбоплодів дало змогу дійти висновку, що кількість праць, які присвячують ґрудкоруйнівним робочим органам, є достатньою й здебільшого це роботи ХХ століття. У сучасних умовах значення котків недооцінене, оскільки оптимальна конструкція цього елемента сприяє руйнуванню ґрунтової кірки, зниженню кількості земляних ґрудок, що потрапляють на сепаратор.

Великий внесок у вивчення та вдосконалення технологій і засобів збирання коренебульбоплодів здійснив А.В. Сибіреєв.

Процес руйнування котками ґрунтових ґрудок у ґрядці досліджували Г.Д. Петров, А.А. Сорокін, М.Г. Байбобоев, Л.П. Безрукий, П.К. Белєвіч, О.І. Бойко, С.М. Боричев, О.П. Дорохов, Т.Т. Кусов, М.М. Марченко, М.М. Юлдашев та ін.

У своїй роботі Байбобоев Н.Г. посилається на дослідження з опресовування ґребнів ґрядки картоплі профільними котками, результати яких наведено в табл. 1.1.

Дані таблиці показують, що опорні котки ефективно руйнують ґрунтові ґрудки за навантаження 3,5 кН.

У 1958 р. А.А. Сорокін, як вказує Байбобоев Н.Г., досліджував процес руйнування котками ґрунтових ґрудок у ґрядці. У польових умовах перевіряли два типи ковзанок: із прутковим і суцільним (зі сталевого листа діаметром у середній частині – 240 мм, по краях – 340 мм) поверхнею. Як показують дослідження, котки у 2-3 рази зменшують кількість ґрудок, що надходять після підкопу ґрядок на сепаруючі органи картоплезбиральних машин.

Таблиця 1.1 – Ефективність руйнування ґрунтового шару картопляної грядки котком діаметра 250 мм залежно від навантаження.

Розмір фракції, мм	Фракційний склад ґрунту (%) при навантаженні (Н)		
	117	235	352
1...10	29,7/37,7	36,5/52,4	42,6/58,8
10...15	2,5/4,3	3,7/6,1	6,9/6,7
15...20	5,1/5,7	6,2/6,8	7,4/7,8
20...25	7,9/8,1	9,7/9,7	9,3/9,8
25...50	7,7/7,4	7,8/9,3	12,1/8,1
50...100	49,2/37,7	33,4/16,7	22,4/4,6

Дослідженнями ґратчастого котка встановлено, що в процесі роботи провітри між прутками швидко забиваються ґрунтом і надалі процес протікає, як у котків із суцільною поверхнею.

Під час використання котків на ґрунтах різної вологості з'ясувалося, що за підвищеної вологості ґрунту доцільно працювати без котків, щоб не ущільнювати грядки.

Котки встановлюють перед підкопуючими лемішами; шарнірно підвішені на коромислі до рами, вони добре підтримують глибину копання і руйнують ґрунтові грудки.

Результати порівняльних випробувань у 1953-1963 рр. комбайна КГП-2 (з грудкоруйнівними котками) з кращими зарубіжними зразками показали, що за повнотою збирання і чистотою КГП-2 перевершує їх. Однак комбайн КГП-2 виявився непрацездатним на ґрунтах підвищеної вологості, що стало наслідком ущільнення ґрунту грудкоруйнівними котками.

Щоб усунути ці недоліки, з 1955 до 1965 рр. у різних спеціалізованих організаціях було розроблено й апробовано кілька зразків грудкоруйнівних копіювальних котків (рис. 1.1).

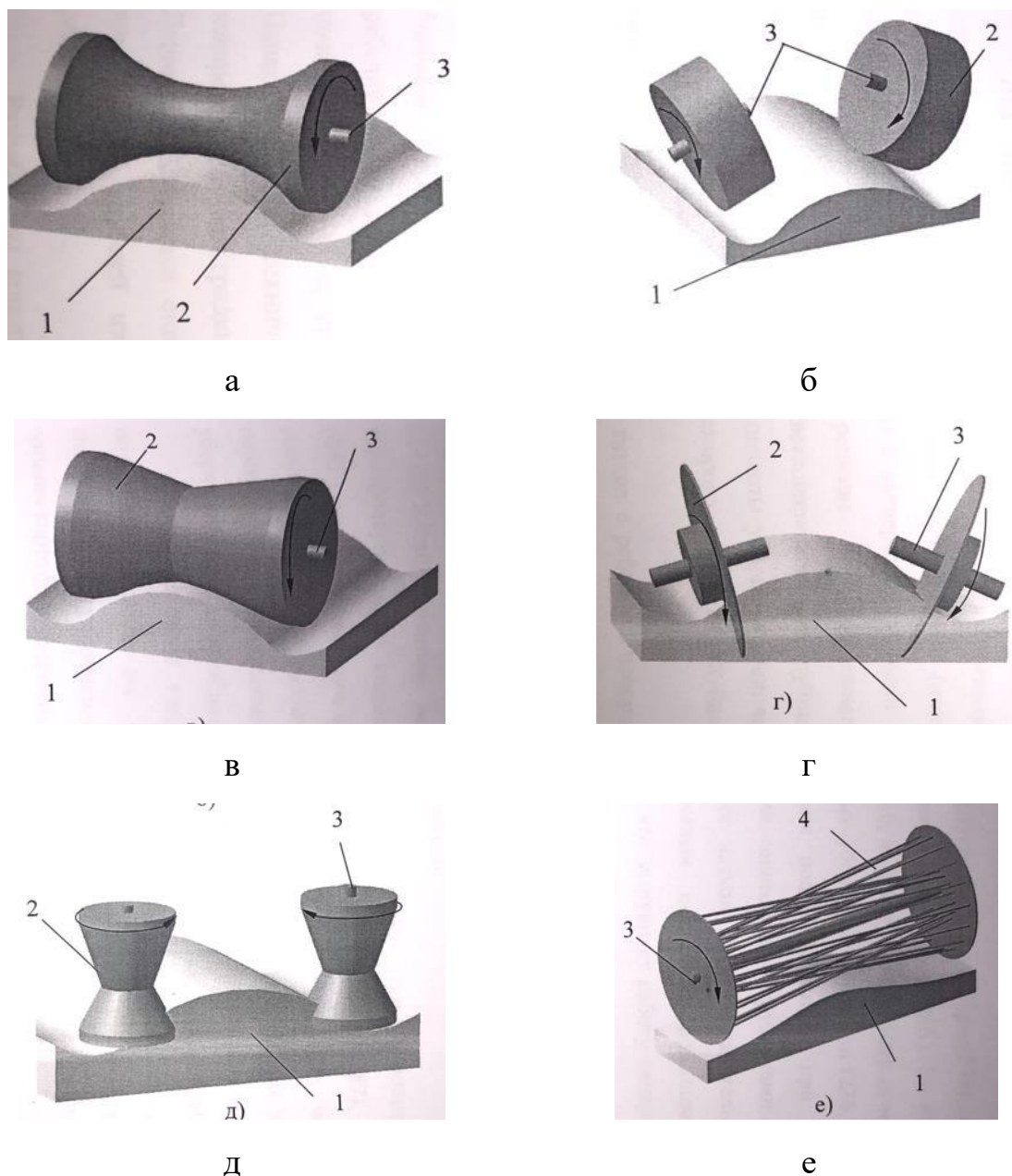


Рис. 1.1. Класифікація грудкоруйнівних копіювальних котків: 1 – грядка; 2 – коток; 3 – вісь ковзанки; 4 – прутки: а – увігнутий; б – циліндричний обпресовувальний; в – із двох зрізаних конусів; г – обпресовувальні котки; д – із бічним обтисненням; е – прутковий коток.

Дослідження циліндричних пресувальних котків показали, що руйнування ґрунтового шару картопляної грядки методом двобічного обпресовування циліндричними котками не забезпечує його достатнього подрібнення, особливо в нижніх шарах грядки. Крім того, циліндричні котки часто згруджують ґрунт, що робить їх малопрацевдатними.

Котковий леміш одночасно з підкопуванням обпресовує грядки з фігурними гладенькими обідками та діючи на них, піддає бульбоносний пласт руйнуванню. Основний недолік грудкоруйнівного котка такого типу – великий відсоток ушкоджень бульб (до 14%), що пояснюється труднощами водіння коткового лемеша по рядку.

Дослідження котка, що складається з двох усічених конусів із жорстким кріпленням на валу вільно, а також котків бокового обтиску проводилися А. П. Дороховим. Виявлено, що завдяки застосуванню передніх котків із найменшим відхиленням від курсу під час копіювання рельєфу поля кількість маси, що надходить, зменшується на 10%, а в котків бічного обтиску, забезпечених лемішами – до 20%. До недоліків робочих органів такого типу слід віднести ущільнення грядки за умови підвищення вологості ґрунту та його згужування.

Відомі котки з примусовим приводом і ґратчастою бічною поверхнею, пневматичні двосекційні, які мають форму усіченого конуса, зверненого меншою основою донизу та утвореного з низки пневматичних балонів, встановлених на одному валу, що мають жорсткість, яка збільшується в напрямку від більшої основи до меншої.

Відомі роботи щодо котків мають переважно експериментальний характер.

Наприкінці 80-их років було оформлено кілька авторських свідоцтв на копіювальний коток картоплезбиральної машини.

Аналізуючи роботи авторів можна скласти таку класифікаційну схему опорних котків (рис. 1.2). Науковим обґрунтуванням застосування опорних котків зайнявся Н.Г. Байбобоев, дослідження якого заклали фундаментальне підґрунтя на підтвердження доцільності та необхідності вдосконалення комкоруйнівних робочих органів картоплезбиральних машин.

Багаторічними дослідженнями авторів встановлено, що за умов нормальної та зниженої вологості ґрунтів ефективнішою є конструкція передньої частини комбайна з копіюючими грядку грудкоруйнівними котками.

Першочерговими завданнями під час механізованого збирання картоплі є: забезпечення високого ступеня сепарації (відокремлення) грудок ґрунту від бульб картоплі, зниження її втрат і пошкоджень.

Сучасні технології та системи робочих органів, що застосовуються під час збирання картоплі, складають єдиний процес і постійно вдосконалюються.

Нині промисловістю випускається велика кількість картоплезбиральних комбайнів самохідного та причіпного типу. В даний час основними виробниками картоплезбиральної техніки є такі країни, як Німеччина, Польща та Бельгія.

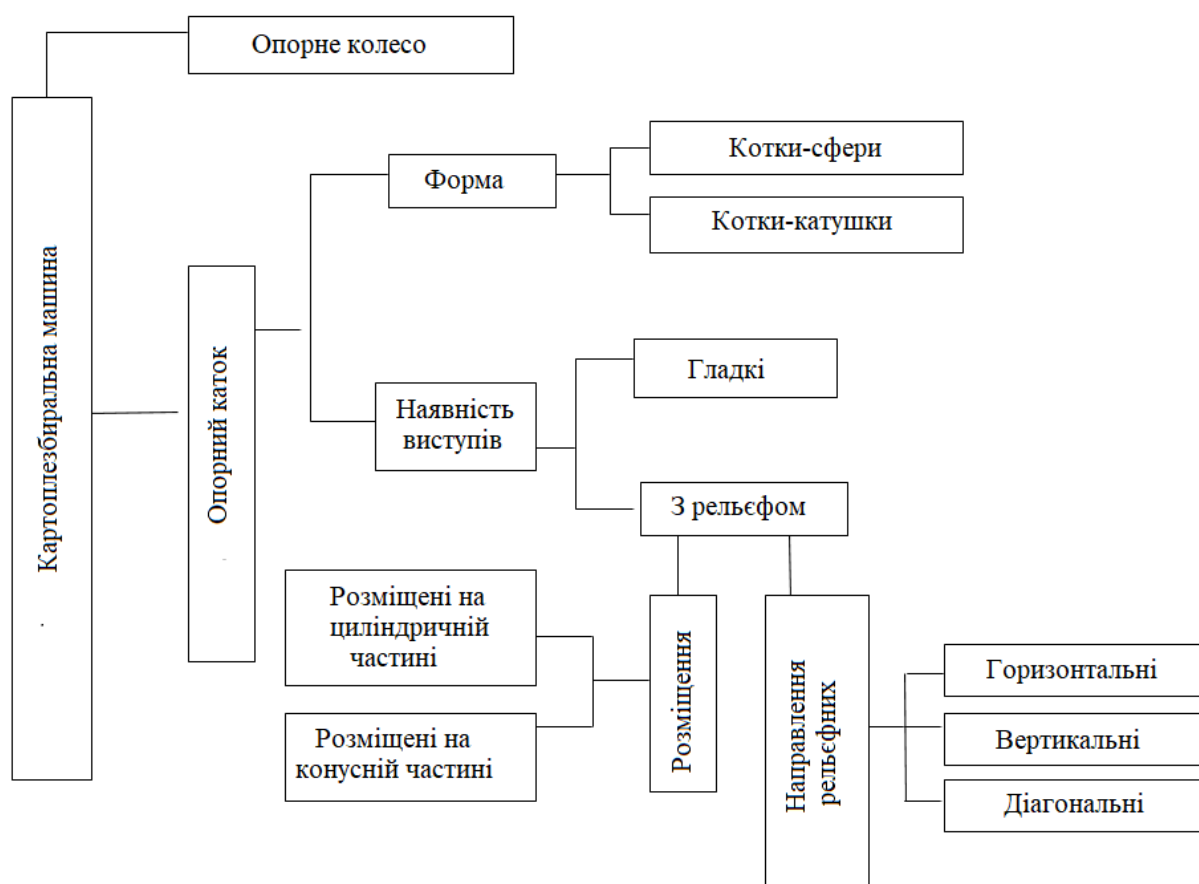


Рис. 1.2. Класифікаційна схема опорних котків

Великий вибір картоплезбиральної техніки надає німецький виробник GRIMME. Це картоплекопачі (WH 200 (навісний), WR 200 (причіпний), причіпні картоплезбиральні комбайни (SE 75-20, SE 140, SE 75-55, SE 260, SE 150-60, EVO 280, EVO 290, SV 260 (з боковим підкопом), GT 170, GT 300 (з центральним підкопом, безбункерні із застосуванням перевантажувальної техніки), самохідні збиральні машини (VARITRON 220 PLATINUM TERRA

TRAC (перевантажувальний бункер, гусеничний ходовий механізм), VARITRON 270 PLATINUM, VARITRON 270 PLATINUM TERRA TRAC (гусеничний ходовий механізм).

РОЗДІЛ 2

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА КОТКА ДЛЯ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ

Механізований обробіток ґрунту на етапі збирання картоплі має сильну залежність від типу ґрунту, так на суглинкових ґрунтах в умовах зниженої вологості відбувається утворення ґрунтової кірки і як результат формування ґрунтових грудок (агрегатів), розмір яких сягає розмірів бульб. Як правило, подібні агрегати в процесі сепарації не відсортовують, з цієї причини можливе їхнє потрапляння на перебірні столи і далі в бункер. У зв'язку з цим підвищується значущість руйнування ґрунтових агрегатів саме в процесі збирання картоплі комбайнами.

Робочим органом, що руйнує ґрунтову кірку та грудки, є опорний каток. З метою покращення результативності роботи опорного котка нами передбачено їх удосконалення шляхом установлення кілець на циліндричну частину.

Каток опорний картоплезбирального комбайна виконано у вигляді барабана, звареного з двох порожнистих усічених конусів і циліндричної частини між ними. На циліндричній частині у вигляді барабана закріплені кільця, виконані з напівкілець. Кожен каток забезпечений чистиками і закріплений на боковинах з підшипниковими опорами. Кожен каток кріпиться до рами за допомогою кронштейнів. Між кронштейном і шарнірною рамкою встановлено гвинтовий механізм, забезпечений рукояткою.

Каток опорний дає змогу точно і легко регулювати глибину підкопування бульбоносного пласта лемешами й утримує задану глибину викопування.

Під час руху картоплезбиральної машини по полю котки дають змогу зберігати задану глибину підкопування бульб і руйнують ґрунтову кірку та ґрунтові грудки в грядці.

Механізм зв'язку рухомої рами з основною рамою комбайна забезпечує копіювання рельєфу ґрунту в поперечному та поздовжньому напрямках.

Призначення опорних ковзанок - це регулювання й утримання заданої глибини підкопування бульбоносного пласта. заданої глибини підкопування бульбоносного пласта, копіювання грядки з метою забезпечення попереднього подрібнення поверхневої кірки та грудок ґрунту та руйнування зв'язку бульб із землею всередині грядки.

Кожен копіювальний каток виконано у вигляді барабана, зв'язаного з двох порожнистих усічених конусів і циліндричної частини між ними. Обидва котки закріплені на одному валу, пов'язаному з рухомою рамою двома механізмами для регулювання глибини викопування, кожен з яких виконаний у вигляді телескопічно пов'язаних стійок, з'єднаних гвинтовою парою, що має робочу рукоятку.

Для регулювання глибини підкопування на рухомих стійках опорних котків нанесені риси. Риски означають величину підкопування бульб з урахуванням середньої величини деформації грядки (від тиску на неї підкопуючої секції) і додаткової величини заглиблення, з метою виключення підрізання бульб.

Регулювання глибини проводиться шляхом зміни відстані між двома опорними котками і лемешами за допомогою гвинтових пар закріплених на рамі елеватора.

Рекомендується ручки гвинтових пар обертати одночасно або поперемінно за кілька прийомів, що знижує зусилля впливу.

Однак під час роботи комбайна гвинтовий механізм іржавіє, і встановити сошники на потрібну глибину підкопування проблематично.

Зайва глибина підкопування бульбоносного пласта лемешами погіршує якість роботи комбайна і перевантажує робочі органи. Встановлення глибини на 1 см більше означає, що з гектара доводиться піднімати приблизно 70 т ґрунту більше. Тому потрібен механізм регулювання глибини підкопування бульбоносного пласта зручніший і точніший, ніж у комбайнів, прийнятих за аналог і прототип.

На рис. 2.1, 2.2 схематично зображено каток опорний картоплезбирального комбайна

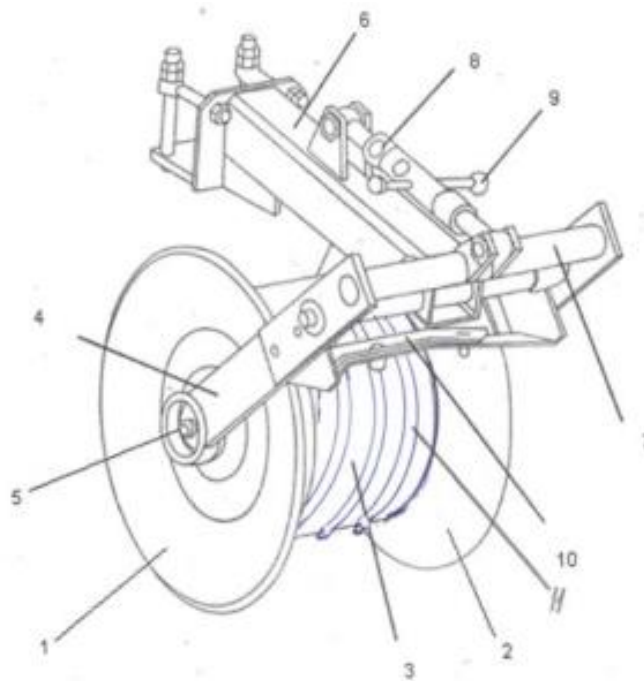


Рис. 2.1. Каток опорний картоплезбирального комбайна ККР-2 (модернізований)

Кожен каток опорний картоплезбирального комбайна виконаний у вигляді барабана, звареного з двох порожнистих усічених конусів 1 і 2 і циліндричної частини у вигляді барабана 3 між ними. Каток опорний закріплений на боковинах 4 з підшипниковими опорами 5. Кожен Каток опорний кріпиться до рами (рама не показана) за допомогою кронштейна 6. Між кронштейном 6 і шарнірною рамкою 7 встановлено механізм 8. Механізм 8 забезпечений рукояткою 9. Кожен каток опорний забезпечений чистиком 10. На циліндричній частині у вигляді барабана 3 (рис. 2.1, 2.2) закріплені кільця 11, що складається з півкільця 12 і 13. Півкільця 12 і 13, що утворюють кільця 11, закріплені на циліндричній частині у вигляді барабана 3 гвинтами 14 і 15.

Під час роботи картоплезбирального комбайна два порожнистих усічених конуси 1 і 2 обтискають бульбоносний пласт і циліндричною частиною у вигляді барабана 3 руйнують ґрунтові грудки. При цьому каток опорний закріплений на боковинах 4 з підшипниковими опорами 5 обертається. Рукояткою 9 механізму

8, встановленого між кронштейном 6 і шарнірною рамкою 7, регулюється глибина підкопування бульбоносного пласта лемешами (лемеші не показані).

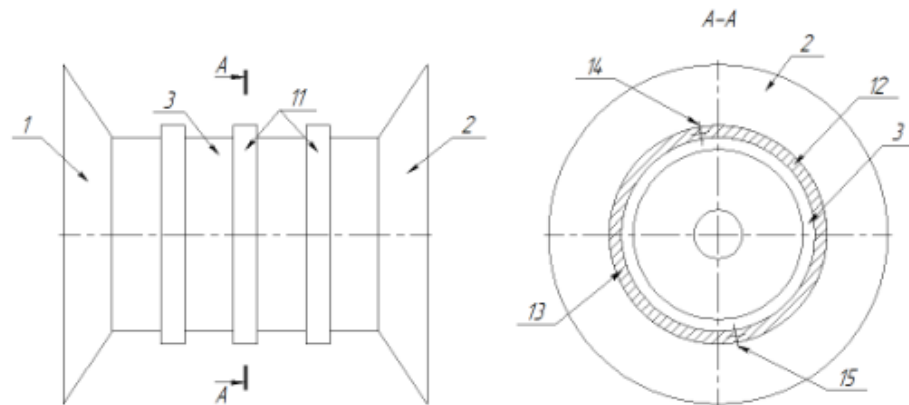


Рис. 2.2. Каток опорний картоплезбирального комбайна ККР- (модернізований) вид спереду та розріз А-А катка опорного.

Ґрунт, який налипає на циліндричну частину у вигляді барабана 3 та усічені конуси 1 і 2, видаляються чистиками 10. Механізмом 8, забезпеченим рукояткою 9, регулюється глибина підкопування бульбоносного пласта. Механізмом 8, встановленим між кронштейном 6 і шарнірною рамкою 7 майже горизонтально, легко регулюється рукояткою 9 точна глибина підкопування бульбоносного шару. Кільця 11, утворені півкільцями 12 і 13, руйнують ґрунтову кірку бульбоносного пласта.

Каток опорний дає змогу точно й легко регулювати глибину підкопування бульбоносного пласта лемешами й утримує задану глибину викопування, руйнує ґрунтову кірку та підвищує ефективність сепарації ґрунту на пруткових елеваторах.

Ефективність роботи серійних картоплезбиральних машин залежить не тільки від їхніх конструктивних особливостей, а й від ґрунтово-кліматичних умов. Вивченню фізико-механічних властивостей ґрунту, що впливають на працездатність картоплезбиральних машин, присвячено багато досліджень.

Неодноразово авторами-дослідниками проводилися експерименти, які встановлювали залежність продуктивності картоплезбиральних машин від агрокліматичних і ґрунтових умов. У підсумку отримано результати, які

встановлюють те, що на процес сепарації найбільше впливають вид ґрунту, його механічний склад і вологість.

Від цих чинників залежать такі властивості ґрунту, які визначають процес його сепарації: пластичність, липкість і міцність грудок. На ефективність сепарації істотно впливають також щільність ґрунтового пласта, коефіцієнт тертя ґрунту по металу, швидкість переміщення пласта по лемешах, решетах та інших поверхнях.

Н.Г. Байбобоев, посилаючись на дані Н.М. Кандаулова, зазначає, що під час знаходження дослідним шляхом статистичної міцності ґрунтових грудок на картопляному полі профіль картопляної грядки за зв'язністю умовно поділено на такі зони:

1. коркова зона товщиною 10-15 мм, руйнівні зусилля для ґрунтових зразків 7,86 - 10,78 Н (0,7-10 кг).

2. Пухкий шар, розташований по всьому периметру під кормовою зоною; руйнується за слабого дотику.

3. Перехідна зона, руйнівні зусилля для ґрунтових зразків 2,94-4,9 Н (2,9-4,9 кг). У зону входить орний шар, розпушений під час боронування і несхильний до деформації від тракторних коліс.

4. Щільна зона (розташована з боків грядки), руйнівні зусилля для зразків 3,88-13,72 Н (0,6-1,4 кг), максимальне зусилля $P_{\max} \approx 2,7...27,46$ Н (2,7-27 кг).

5. Зона міжрядь. Зусилля, необхідні для руйнування ґрунтових зразків 7,86-9,8 Н, $P_{\max} = 10,78$ Н (10 кг).

6. Зона найбільшої щільності. Сюди входять нижні шари грядки. Руйнівні зусилля зразків 12,7 Н - 24,5 Н, $P_{\max} = 49...58,8$ Н (5-6 кг).

Проведемо теоретичний аналіз взаємодії котка з ґрунтом з урахуванням встановлених кілець, що руйнують ґрунтову кору бульбоносного пласта. Для аналізу використовуватимемо розрахункову схему, показану на рис. 2.3, прийняту в роботі.

Як показують дослідження, зусилля, яке необхідно докласти до центру котка для його рівномірного кочення, з урахуванням сил тертя визначається за формулою:

$$P = 2kBr^2(1 - \cos\theta_{max})^2 = 2kh^2B, \quad (2.1)$$

де B -ширина котка; м

h -глибина колії; м

θ_{max} - максимальний кут контакту котка з ґрунтом по всій глибині колії

r -радіус котка; м

k -коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту, Н/м³

Крім зусилля P на коток діє і вертикальне навантаження Q , яке також визначено з урахуванням сил тертя за формулою.

$$Q = kBr^2(1 - \cos\theta_{max})\sin\theta_{max} = kBh\sqrt{2rh - h^2}, \quad (2.2)$$

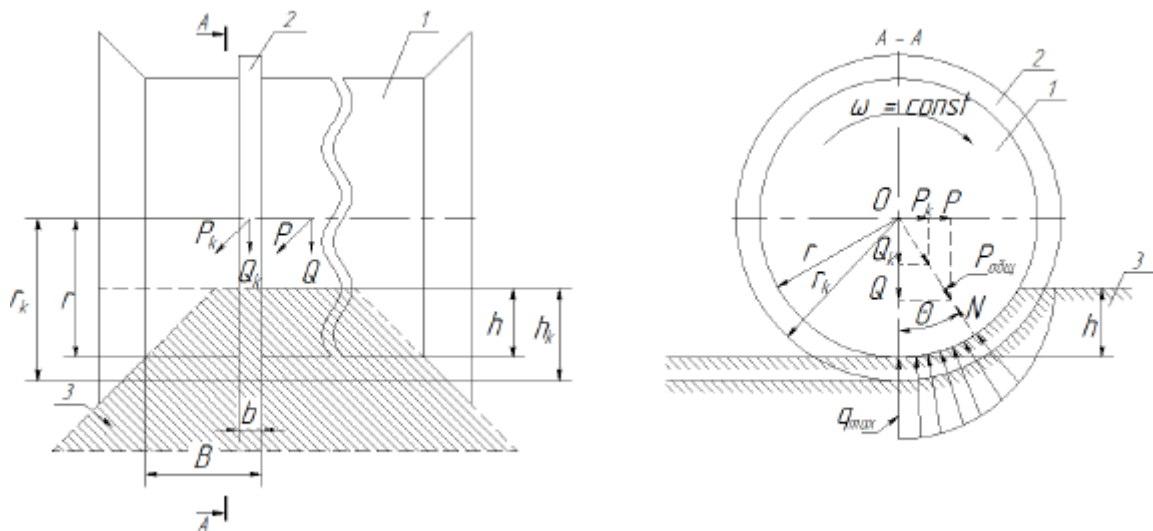


Рис. 2. 3. Розрахункова схема котка на ґрунті: Q – вертикальне зусилля; Q_k – вертикальне зусилля кільця котка; P – горизонтальне зусилля; P_k – горизонтальне зусилля кільця котка; $P_{заг}$ – загальне зусилля котка на ґрунт; N – сила нормального тиску ґрунту; r – радіус котка; r_k – радіус котка з кільцем; h – глибина колії; h_k – глибина колії від котка з кільцем; θ – кут прикладання навантаження; q_{max} – питома навантаження; ω – питома швидкість, 1 – циліндрична частина; 2 – кільце; 3 – ґрунтовий канал

Установлення кілець на опорний коток дає змогу розбити його поверхню на окремі секції, відповідно, на кожну секцію припадатиме зусилля, що визначається за формулами (2.1) і (2.2).

Тоді загальне зусилля, що діє на опорний коток, можна представити:

$$P = \sum_{i=1}^n 2kh^2 B_i, \quad (2.3)$$

де n - кількість секцій; шт.

B_j - ширина j -ої секції, м

Вертикальне навантаження:

$$Q = \sum_{i=1}^m i = \sum_{i=1}^n kB_i h \sqrt{2rh - h^2} \quad (2.4)$$

Аналогічно на поверхні катка з установкою кільця, діють зусилля:

$$P_k = \sum_{i=1}^m P_{ki} = \sum_{i=1}^m 2kb_i r_i^2 (1 - \cos \theta_{max})^2 = \sum_{i=1}^m 2kh_i^2 b_i \quad (2.5)$$

де m - кількість кілець, шт

h_j - глибина кілець, з урахуванням кільця, м

r_1 - радіус кільця, м

b_j - ширина кільця, м

$$Q_k = \sum_{i=1}^m Q_{ki} = \sum_{i=1}^m kb_i r_i^2 (1 - \cos \theta_{max}) \sin \theta_{max} = kb_i h_i \sqrt{2r_i h_i - h_i^2} \quad (2.6)$$

З урахуванням перерахованих вище залежностей, визначаємо сумарне зусилля, що діє на конструкцію опорного котка.

$$P_{сум} = P + P_k = \sum_{i=1}^n P_i + \sum_{i=1}^m P_{ki} = \sum_{i=1}^n 2kh^2 B_i + \sum_{i=1}^m 2kh_i^2 b_i \quad (2.7)$$

Також встановлення кількості кілець збільшує кількість секцій на одиницю, приведемо всі параметри до однієї величини, розділивши залежність (2.7) на h_j і B_j .

$$P_{сум} = 2kh^2 (1 + \alpha^2) (m + 1) B_i (1 + \beta) \quad (2.8)$$

$$\text{де } \alpha = \frac{h_i}{h} \quad \beta = \frac{b_i}{B_i}$$

Аналогічно визначимо вертикальне зусилля:

$$Q_{\text{сум}} = Q + Q_n = \sum_{i=1}^n Q_i + \sum_{i=1}^m Q_{ki} =$$

$$\sum_{i=1}^n k B_i h \sqrt{2rh - h^2} + \sum_{i=1}^m k b_i h_i \sqrt{2r_i h_i - h_i^2} = kh \sqrt{2rh - h^2} (\gamma + 1) (m + 1) B_i (1 + \beta) \quad (2.9)$$

$$\partial e \gamma = \frac{h_i \sqrt{2r_i h_i - h_i^2}}{h \sqrt{2rh - h^2}}$$

Використовуючи спільно вирази (2.8) і (2.9) та формулу Горячкіна-Грандвуане, визначаємо формули для:

А) глибини колії:

$$H = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{k^2 B_i^2 (1 + \beta) D (1 + \epsilon) (m + 1)}} \quad (2.10)$$

де $D = 2r$ - діаметр котка, м;

$\epsilon = \frac{D_i}{D}$ - співвідношення діаметрів кільця і катка;

$D_i = 2r_i$ - діаметр кільця.

На підставі формули 2.10 у програмі MathCAD проведемо дослідження глибини колії котка від вертикального зусилля та кількості встановлених кілець (рис. 2.4).

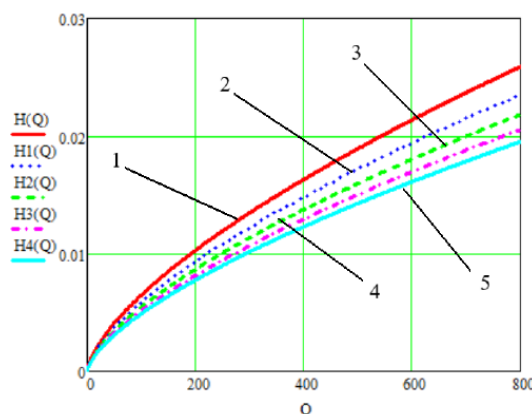


Рис. 2.4. Залежність глибини колії котка від вертикального зусилля та кількості встановлених кілець: 1 – кіль кість кілець на катку 2; 2 – кількість кілець на катку 3; 3 – кількість кілець на катку 4; 4 – кількість кілець на катку 5; 5 – кількість кілець на катку 6.

Аналіз залежності показує, що зі збільшенням навантаження на коток і зменшенням кількості кілець на котку збільшується колія (вдавлювання котка в ґрунт) і вплив на ґрунтову кірку. З огляду на те, що глибина залягання верхніх бульб становить близько 0,02 м, кількість кілець на котку має бути не менше ніж 3 з умови неушкодження бульб картоплі.

Графік отримано за таких значень: $k = 5000000 \text{ Н/м}^3$; $B = 0,02 \text{ м}$; $D = 0,4 \text{ м}$; $m_1 = 3 \text{ шт}$; $m_2 = 4 \text{ шт}$; $m_3 = 5 \text{ шт}$; $m_4 = 6 \text{ шт}$; $\varepsilon = 1,05$; $\beta = 0,5$.

$$H_1(Q) = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{k^2 \cdot B^2 \cdot (1 + \beta) \cdot D \cdot (1 + \varepsilon) \cdot (m_1 + 1)}}$$

$$H_2(Q) = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{k^2 \cdot B^2 \cdot (1 + \beta) \cdot D \cdot (1 + \varepsilon) \cdot (m_2 + 1)}}$$

$$H_3(Q) = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{k^2 \cdot B^2 \cdot (1 + \beta) \cdot D \cdot (1 + \varepsilon) \cdot (m_3 + 1)}}$$

$$H_4(Q) = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{k^2 \cdot B^2 \cdot (1 + \beta) \cdot D \cdot (1 + \varepsilon) \cdot (m_4 + 1)}}$$

Б) тягове зусилля:

$$P = 2 \sqrt[3]{\frac{Q^4}{kB(1+\beta)D^2(1+\varepsilon)(m+1)}} \quad (2.11)$$

В) кількість встановлених кілець:

$$m = n - 1 = \frac{9P^3 kB(1+\beta)D^2(1+\varepsilon)}{Q^4} - 1 \quad (2.12)$$

Формула (2.10) виражає залежність між навантаженням і деформацією ґрунту (глибини колії) та враховує параметри робочого органа і фізико-механічних властивостей ґрунту. Формула (2.12) встановлює залежності між навантаженням, геометричними параметрами конструкції та фізико-механічними властивостями ґрунту.

Висновки з розділу

Під час механізованого збирання картоплі утворюються ґрунтові грудки сумірні з розмірами бульб. Такі грудки не відсіваються під час сепарації, далі потрапляють на перебиральну плиту, ускладнюючи роботу перебиральникам, а потім у бункер, знижуючи чистоту картоплі в бункері. Удосконалені копіювальні котки призначені для регулювання й утримання заданої глибини викопування, а також для обтиску грядки з метою забезпечення попереднього руйнування поверхневих грудок ґрунту та зв'язку бульб із землею всередині грядки. Теоретичними дослідженнями встановлено залежності між навантаженням і деформацією ґрунту (глибини колії) з урахуванням геометричних параметрів робочого органа та фізико-механічних властивостей ґрунту.

Аналіз залежності показує, що зі збільшенням навантаження на коток і зменшенням кількості кілець на котку збільшуються колія (вдавлювання котка в ґрунт) і вплив на ґрунтові грудки. Кількість кілець на котку має бути не меншою, ніж 3, з умови неушкодження бульб картоплі.

РОЗДІЛ 3

АГРОТЕХНІЧНА ОЦІНКА РОБОТИ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ВИКОРИСТАННЯ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН МЕТОДОМ ЕКСПЕРТНИХ ОЦІНОК

Наступним етапом проводимо дослідження функціонування картоплезбирального комбайна, оснащеного вдосконаленим котком із кільцями (рис. 3.1). Якість роботи картоплезбиральних комбайнів оцінюють за чотирма показниками: втратами та пошкодженнями бульб, наявністю різаних бульб і чистотою зібраних комбайном бульб. До втрат включають тільки бульби, залишені на поверхні ґрунту і не повністю засипані просіяною землею. Агрегаткування даної машини здійснюється за допомогою трактора МТЗ Беларус-82.1.



Рис. 3.1. Загальний вигляд серійного напівнавісного картоплезбирального комбайна ККР-2

Випробування напівнавісного картоплезбирального комбайна ККР-2 і GRIMME SE 150-60 проводили з метою перевірки ефективності роботи

вдосконаленого опорного котка з кільцями порівняно із серійною комплектацією (рис. 3.2., 3.3.).



Рис. 3.2. Загальний вигляд серійного та вдосконаленого котка з кільцями комбайна ККР – 2

Агротехнічна оцінка роботи картоплезбирального комбайна включала:

- вибір режимів роботи картоплезбирального комбайна;
- визначення показників якості роботи та їх аналіз.



Рис. 3.3. Загальний вигляд серійного та вдосконаленого картоплезбирального комбайна GRIMME SE 150-60

Під час агротехнічної оцінки за якістю роботи комбайна визначали такі показники з різними опорними котками: швидкість руху, км/год; повнота збирання, %; втрати картоплі, %; кількість і характер пошкоджень.

Випробування проводилися на полях із нескошеним бадиллям. Ділянку для випробувань картоплезбиральної машини розбивали на облікові ділянки, межі яких відзначали спеціальними вішками. Розмір облікової ділянки

вибирався з розрахунку того, щоб довжина була не меншою за 10 метрів, ширина дорівнювала ширині захвату випробовуваних машин, тобто 1,50 м за ширини міжрядь 75 см.

Проби на якість роботи картоплезбирального комбайна відбирали з другого суміжного проходу без попереднього очищення робочих органів. Першу ділянку намічали на відстані 50 м від початку гону.

Відбір проб від комбайна проводили з облікових ділянок під час безупинного руху агрегату на сталому режимі.

Після проходу картоплезбирального комбайна на облікових ділянках обліковували:

- бульби, прибрані в тару;
- вільні бульби на поверхні ґрунту;
- бульби на поверхні, але не відірвані від бадилля;
- бульби, залишені в ґрунті (непідкопані та присипані).

Втрати бульб визначали у відсотках від загального врожаю картоплі на обліковій ділянці.

Оцінка складу картопляного вороху та пошкодження бульб є наступним кроком експерименту. Отриманий картопляний ворох сортують на такі складові частини: чисті бульби, ґрунтове каміння, бульби із рештками гички, бадилля, інші домішки. Кожну частину зважували з точністю до 4 г.

Далі для оцінки бульб на пошкодження від кожної повторності чистих бульб відбирали бульби масою понад 50 г. Сортування бульб картоплі здійснювали за двома ознаками: пошкоджена та неушкоджена картопля. Бульби сортувалися на дві групи: неушкоджені бульби та пошкоджені. На пошкоджених бульбах у день випробування враховувалися такі види пошкоджень:

здерта шкірка від 1/4 до 1/2 поверхні; здерта шкірка понад 1/2 поверхні; вириви м'якоті глибиною понад 5 мм; тріщини завдовжки більше ніж 20 мм; розрізи та надрізи; розчавлені бульби.

Маса середньої проби була в межах 15 кг. Види пошкоджень обліковували за кількістю випадків (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Пошкодження картоплі під час збирання картоплезбиральним комбайном ККР-2 з удосконаленим котком

У результаті господарських випробувань визначали такі характеристики картоплі, ґрунту та роботи картоплезбирального комбайна: врожайність, ц/га; вологість ґрунту, %; твердість ґрунту за шириною та глибиною між серединами суміжних грядок, кг/см²; температура навколишнього повітря та ґрунту, °С; повнота збирання бульб та втрати, видимі пошкодження бульб, %; швидкість руху агрегату, км/год; глибина ходу підкопувальних робочих органів, м.

Сучасні умови господарювання та економічні передумови призвели до перерозподілу площ обробітку картоплі, спостерігається тенденція до їх зменшення великими сільськогосподарськими товаровиробниками та збільшення в особистих підсобних господарствах. При цьому споживання картоплі населенням залишається на високому рівні, будучи практично щоденним продуктом харчування. Ситуація, що склалася, створює певні проблеми як великим, так і дрібним картопловиробникам. У великих - парк картоплезбиральної техніки, яка, як правило, застарілий і потребує оновлення. У дрібних - відсутність необхідних агрегатів для збирання картоплі в збільшених

обсягах. У зв'язку з цим у виробників картоплі виникає необхідність придбання картоплезбиральних машин і агрегатів. На сучасному ринку картоплезбиральної техніки конкурують виробники різних країн: німецькі виробники картоплезбиральних комбайнів "Grimme"; польські виробники картоплезбиральних комбайнів "Анна", Volko; американські виробники картоплезбиральних комбайнів "John Deere"; бельгійські виробники картоплезбиральних комбайнів AVR; та інші.

Картоплезбиральний комбайн - багатофункціональний технічний комплекс, призначений для механізованого збирання картоплі, що вирощується за інтенсивною технологією, відокремлення бульб від бадилля картоплі, рослинних та інших домішок, з накопиченням бульб картоплі в бункері та вивантаженням їх у транспортний засіб. Поряд із картоплезбиральними комбайнами під час збирання врожаю досі застосовуються картоплекопачі. Картоплекопач - це технічне пристосування, що механізує працю з обробітку картопляних полів для викопування врожаю та очищення його від налиплої землі. На ринку картоплезбиральної техніки найбільший попит мають такі марки: картоплекопач КТН-2В, причіпний комбайн ККР-2, причіпний комбайн Grimme SE 150-60, причіпний комбайн AVR 220BK Variant, які братимуть участь у виборі картоплезбиральної машини за допомогою математичного апарату. В умовах експлуатації удосконалення окремих робочих органів картоплезбиральних машин має важливе значення для поліпшення агротехнічних показників їхньої роботи. Найбільший інтерес викликають підкопувальні робочі органи: коток копіювальний, диски, леміш, тому що від якості їхньої роботи безпосередньо залежить продуктивність машини в цілому. Важливе значення відводиться котку, який забезпечує задану глибину підкопування грядки і ефективно руйнує поверхневі грудки ґрунту, оскільки саме він першим вступає в збиральний процес. Наявні конструкції котків не враховують особливості їхнього використання в мінливих агроландшафтних умовах, мають високий рівень уніфікації. До недоліків конструкції котків можна

віднести: - наявні способи очищення від налипання ґрунту, особливо на перезволожених ґрунтах; - значну металоємність; - використання лише механічного впливу статичним навантаженням; - недостатню кількість досліджень з обґрунтування форми робочої поверхні котків.

У зв'язку з цим розширимо перелік досліджуваних машин модернізованим причіпним комбайном ККР-2М з удосконаленим котком, у якого на циліндричній частині у вигляді барабана закріплені кільця, виконані з напівкілець. Кожен коток забезпечений чистиками і закріплений на боковинах із підшипниковими опорами, причому кожен коток кріпиться до рами за допомогою кронштейнів, а між кронштейном і шарнірною рамкою встановлений гвинтовий механізм, забезпечений рукояткою. У ситуації, що склалася, перед підприємствами стоїть проблема вибору картоплезбиральної техніки: дешево, але низькопродуктивно або дорого, але високотехнологічно. Пріоритетними критеріями вибору техніки для підприємств є:

- технологічність, як комплексна характеристика картоплезбиральної техніки, що визначає сукупність оптимальних технічних і якісних характеристик;

- продуктивність, як показник обсягу виконаної роботи (площа картоплі, що збирається) за одиницю часу з урахуванням конструктивних особливостей, технічної характеристики та виробничої кваліфікації робітників;

- вартість - дешевизна, як мінімально можлива вартість за заданих характеристик техніки.

Співвідношення обраних критеріїв визначає ключові характеристики процесу збирання картоплі: дорого, повільно, втрати.

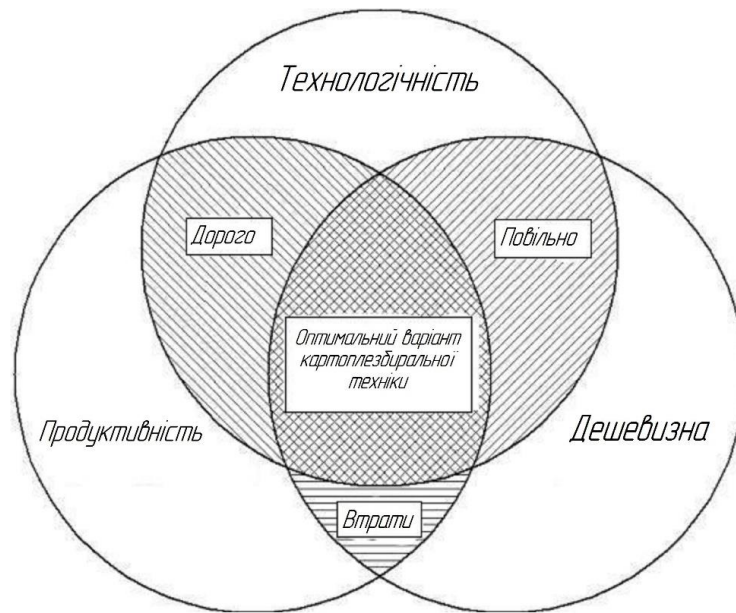


Рис. 3.5. Співвідношення критеріїв вибору картоплезбиральної техніки

Кожен критерій розкривається за допомогою низки технічних характеристик картоплезбиральних машин: технологічність визначається такими показниками:

- кількість рядків, що прибираються, шт.;
- ширина захвату, м;
- глибина підкопування, см;
- кількість обслуговуючого персоналу, чол.;
- місткість бункера, т;
- втрати бульб, %;
- пошкодження бульб, % та ін.
- продуктивність визначається такими показниками:
- продуктивність за годину чистої роботи, га/год;
- робоча швидкість руху агрегату, км/год та ін.
- вартість визначається такими показниками:
- вартість агрегату, грн.;
- витрати на 1 га, грн./га та ін.

Ці технічні характеристики є найбільш суттєвими під час вибору картоплезбиральної машини. Однак, кількість прибраних рядків і глибина підкопування у розглянутих об'єктів збігаються і становлять 2 шт. і 22 см

відповідно. У зв'язку з чим з подальшого зіставлення вибувають. Для порівняння характеристик параметрів картоплезбиральних машин узяті їхні усереднені значення. Для обґрунтування вибору використання машин під час збирання картоплі скористаємося методом експертних оцінок, який передбачає певну послідовність сукупності методів: діагностика проблеми; формування критеріїв оцінювання; розв'язання проблеми методом Черчмена-Акофа; розв'язання проблеми методом "таблиці оцінок"; розв'язання проблеми методом "полігон альтернатив".

Найбільше значення $V_k \cdot P$ відповідає п'ятому варіанту, тобто при виборі альтернативи методом оцінки кодованих одиниць оптимальним типом картоплезбиральних машин є причіпний комбайн ККР-2М. Для наочності рішення доцільним є використання можливостей MS Excel у побудові пелюсткової діаграми, осями якої є кодовані значення критеріїв порівняння (Рис. 3.6). Оскільки як найкращі значення було обрано найбільшу величину кодованих одиниць, то найкращим варіантом розв'язання є багатокутник, що має максимальну площу.

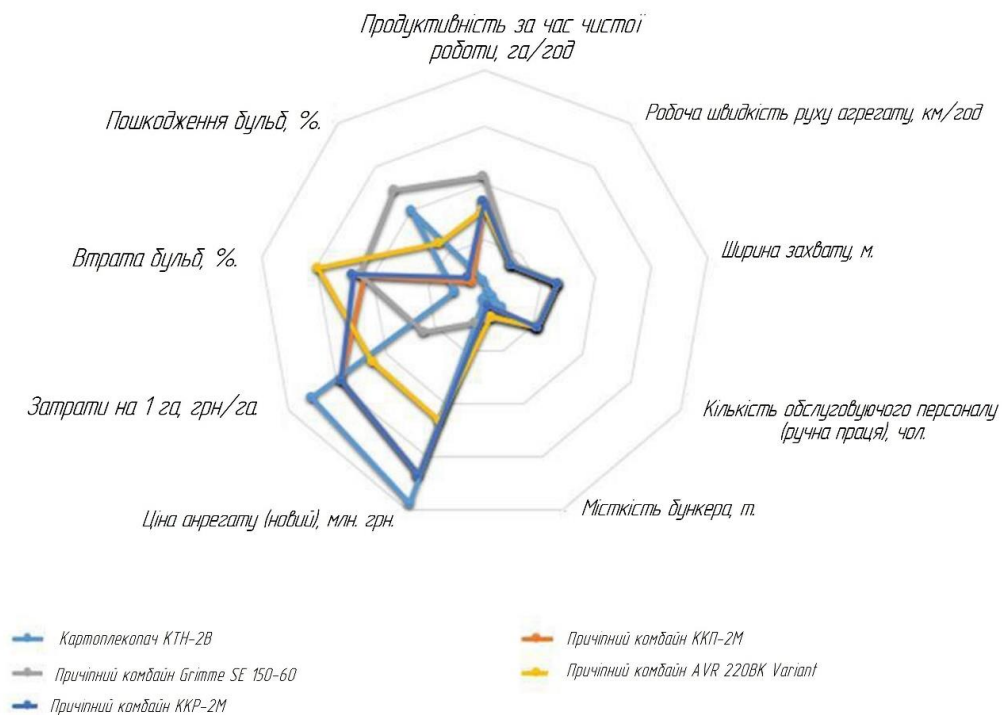


Рис. 3.6. Пелюсткова діаграма вибору типу картоплезбиральної техніки

Пелюсткова діаграма наочно відображає характеристики 5 порівнюваних варіантів картоплезбиральної техніки, при цьому максимальна площа багатокутника відповідає п'ятому варіанту. Для підтвердження графічного рішення доцільно здійснити розрахунок площі багатокутників за формулою: $S_{\text{заг.}}=S1+S2+S3+S4+S5+S6+S7+S8+S9$, де $S_n=1/2*A*B*\sin 40^\circ$ ($40^\circ = 360/9$ - кут між осями).

Висновки по розділу

Неможливість математичної формалізації процесу обґрунтування вибору використання картоплезбиральних машин зажадало вдаватися до допомоги методу експертних оцінок, який дає змогу здійснити вибір серед безлічі альтернатив, кожна з яких має різні переваги. Оцінка проблеми вибору картоплезбиральної техніки відбувалася на основі думки фахівців (експертів) з метою подальшого прийняття рішення. Використання математичного апарату дало змогу провести порівняння за критеріями, непорівнянними у фізичних одиницях, за рахунок їх приведення до безрозмірної шкали. У результаті дослідження найпоширеніших причіпних картоплезбиральних комбайнів за критеріями: годинної продуктивності, робочої швидкості, вартості агрегату, втрат і пошкоджень бульби та ін., оптимальними співвідношеннями володіє причіпний комбайн ККР-2М. Хороші технічні характеристики причіпного комбайна Grimme SE 150-60 перекриваються його високою ціною, що не дає змоги вийти на лідируючі позиції порівняно з вітчизняними комбайнами.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведений аналіз відомих науково-технічних джерел продемонстрував значну кількість праць, присвячених коткам картоплезбиральних машин. У сучасних умовах значення котків недооцінене. Встановлено, що котки картоплезбиральної машини здатні поліпшити руйнування ґрунтових грудок, тому слід продовжити їхню модернізацію.

Встановлено залежність між навантаженням і деформацією ґрунту (глибиною колії) з урахуванням геометричних параметрів котка та фізико-механічних властивостей ґрунту. Аналіз залежності показав, що зі збільшенням навантаження на коток і зменшенням кількості кілець на котку збільшується вплив на ґрунтові грудки.

В роботі встановлено, що для того, щоб ефективність сепарації не була нижчою за 79%, а величина ушкоджень картоплі не більшою за 1,3% остаточної висоту кільця приймаємо 8 мм за кількості кілець 3 штуки. Експериментально визначено, що найменша кількість ґрунтових грудок $U_{\text{кк}} = 24,17\%$ досягається за встановлення 3 кілець на циліндричній частині котка та вологості ґрунту 16%.

Встановлено зниження кількості ґрунтових грудок у 1,60 раза за роботи ККР-2М і в 1,57 раза за роботи GRIMME SE 150-60-M.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Налобіна О.О., Шимко А.В. Аналіз розвитку галузі картоплярства та огляд картоплезбиральної техніки. Сільськогосподарські машини : зб.наук.ст. Луцьк: ЛНТУ, 2015. Вип. №31. С.106-113.

2. Шимко А.В. Удосконалення підкопуючих робочих органів корнеклубнезбиральних машин. Вісник національного університету водного господарства та природокористування : зб.наук.праць Рівне: НУВГП, 2015 Вип. №2(70). С.165-171.

3. Налобіна О.О., Грушецька М.Г., Шимко А.В. Системний аналіз підкопуючих робочих органів картоплезбиральних машин. Сільськогосподарські машини : зб.наук.ст. Луцьк: ЛНТУ, 2015. Вип. №32. С.134-138.

4. Аналіз впливу лемішної частини підкопуючого робочого органа на напрям змін властивостей ґрунту / А. Шимко, О. Налобіна. European Cooperation. Warszawa, 2018. Scientific Approaches and Applied Technologies. No 6 (37). P.21-35.

5. Шимко А.В. Дослідження коефіцієнтів тертя кочення та ковзання бульб картоплі. Сільськогосподарські машини : зб.наук.ст. Луцьк: ЛНТУ, 2016. Вип. №34. С.124-129 .

6. Налобіна О.О., Шимко А.В. Дослідження взаємодії модернізованого підкопуючого робочого органа картоплезбиральної машини з бульбою. Вісник Житомирського національного агроекологічного університету : науковотеоретичний зб. Житомир: ЖНАУ, 2017. Вип. №1(58).Т.1. С.279-283 .

7. Шимко А.В., Серілко Л.С. Визначення раціональної частоти обертання ротору очисного пристрою. Сільськогосподарські машини: зб.наук.ст. Луцьк: ЛНТУ, 2017. Вип. №37. С.106-111.

8. Шимко А.В. Дослідження коефіцієнтів кочення та ковзання бульб картоплі. «Vedecký rokrok na prelomu tysyuachalety»: зб. тез доп. XII Міжн. наук.-практ. конф., Прага, 27 травня – 05 червня 2016 року. Прага, 2016. С. 68-69.

9. Налобіна О.О., Шимко А.В. Дослідження взаємодії валика модернізованого підкопуючого робочого органа картоплезбиральної машини з бульбою. Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь: зб. тез доп. III Всеукраїнської наук.-практ. конф., Житомир, 29-30 березня 2017 року. Житомир: ЖНАУ, 2017. С. 196-197.

10. Шимко А.В., Налобіна О.О. Аналіз впливу лемішної частини підкопуючого робочого органа на зміну властивостей ґрунту. «Інженерія та технології: наука, освіта, виробництво»: зб. тез доп. Міжн. наук.-техн. конф., Луцьк, 15-16 листопада 2018 року. Луцьк: ЛНТУ, 2018. С. 277-280.

11. Налобіна О.О., Шимко А.В. Підкопуючий робочий орган бульбозбиральної машини : патент на корисну модель №115204 Україна: № u201610045; заявл. 03.10.2016; опубл. 10.04.2017. Бюл. №7. 5 с.

12. Білецький В.Р., Литвинчук Д.А. Огляд досліджень і класифікація робочих органів для руйнування ґрунтових грудок. *Наукові читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики*. 19 квітня 2023 р. Житомир : Поліський національний університет, 2023. Т. 3. С. 7-10.

13. Білецький В.Р., Литвинчук Д.А. Конструктивно-технологічна схема катка для картоплезбиральної машини. *Збірник матеріалів IX Міжнародної науково-практичної конференції „Інноваційні технології в АПК”*. 7-8 червня 2023 року, м. Луцьк. С.

14. Гевко Р.Б. Підвищення техніко-економічних показників машин для збирання картоплі. Український журнал прикладної економіки. 2016. Том 1. № 1. С. 39-49.

15. Д.Г. Войтюк. Сільськогосподарські та меліоративні машини. Київ : «Вища освіта», 2004. 544 с.