

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО
СЕРВІСУ ІМ. ПРОФ. ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА**

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «Магістр»

на тему: **„ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОМБІНОВАНОГО СЕ-
ПАРАТОРА ДВОРЯДНОГО КАРТОПЛЕКОПАЧА”**

Виконав: студент 6 курсу групи Аін-62

спеціальності 208 „Агроінженерія”
(шифр і назва)

Залужний Олег Степанович
(прізвище та ініціали)

Керівник: _____ к.т.н., доц. Семен Я.В.
(прізвище та ініціали)

Рецензенти: _____ к.т.н., доц. Миронюк О.С.
(прізвище та ініціали)

(прізвище та ініціали)

Дубляни 2024

УДК 631.338:632.21

Обґрунтування параметрів комбінованого сепаратора дворядного картоплекопача. Залужний Олег Степанович. Дипломна робота. Кафедра агроінженерії та технічного сервісу ім. проф. Олександра Семковича. –Дубляни, Львівський НУП, 2024.

57с. текст. част., 15рис., 2табл., 26 джерел.

Проаналізовано існуючі способи та засоби для збирання картоплі й обґрунтовано можливу конструкцію малогабаритного дворядного картоплекопача з комбінованим сепаратором.

Розроблена гіпотеза щодо роботоздатності дворядного малогабаритного картоплекопача з комбінованим сепаратором під час збирання картоплі. Отримані аналітичні залежності для визначення основних конструктивно-технологічних параметрів сепаратора картоплекопача.

Наведено методики й результати експериментальних досліджень з визначення середньої швидкості переміщення ґрунтово-картопляного вороху сепарувальними робочими поверхнями дворядного картоплекопача та ступеня сепарації бульб на них з проведенням двофакторного експерименту.

Розроблена карта умов праці на малогабаритному дворядному картоплекопачі з комбінованим сепаратором та логіко-імітаційна модель процесу виникнення травм.

Виконане економічне обґрунтування використання малогабаритного дворядного картоплекопача з комбінованим сепаратором.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ	8
1.1 Огляд способів збирання картоплі.....	8
1.2 Огляд засобів для збирання картоплі.....	8
1.3 Огляд сепарувальних робочих органів машин для збирання картоплі	15
Висновки.....	18
2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОМБІНОВАНОГО СЕПАРАТОРА КАРТОПЛЕКОПАЧА	19
2.1 Обґрунтування робочого процесу збирання картоплі.....	19
2.2 Обґрунтування кінематичних параметрів роботи ротора.....	21
2.3 Обґрунтування кінематичних параметрів роботи вібраційного сита.....	26
Висновки.....	30
3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	31
3.1 Мета і програма експериментальних досліджень.....	31
3.2 Методика визначення швидкості переміщення грунтово-картопляного пласта сепарувальними робочими органами картоплекопача.....	31
3.3 Методика визначення якісних показників роботи комбінованого сепаратора.....	34
4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	35
4.1 Середня швидкість переміщення бульбоносного пласта коливним ситом картоплекопача.....	35
4.2 Коефіцієнт сепарації грунтово-картопляного вороху	38
Висновки.....	40
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	41
5.1 Складання карти умов праці під час механізованого збирання	

картоплі.....	41
5.2 Оцінка рівня виникнення небезпеки аварій і травм.....	44
6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ	
КАРТОПЛЕКОПАЧА	49
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	55

ВСТУП

Під час збирання врожаю картоплі механізованим способом затрачаються значні енергетичні, матеріально-грошові та трудові ресурси. Особливістю збирання картоплі є те, що одночасно із самим врожаєм бульб викопується доволі значна частка ґрунту, оскільки робочі органи картоплезбиральних машин підкопують рядки картоплі в середньому на глибину до 20см.

Саме такий принцип поставлений в основу роботи усіх сучасних картоплезбиральних машин (комбайнів) не залежно від способів збирання картоплі, наявності техніки й ґрунтово-кліматичних умов [6, 13, 20].

Рівень ефективності використання картоплезбиральних машин оцінюється передовсім якістю та кількістю зібраного врожаю без надмірного його пошкодження, особливо насінневої картоплі.

В цілому, комбайновий (або частково-механізований) спосіб збирання залишаються в системі вирощування картоплі найбільш перспективним. Щоб підвищити якість та ефективність їх використання доцільно обладнати їх комбінованими робочими органами, які зможуть не тільки ефективно підкопувати бульбоносний шар, але й здійснити сепарацію бульб без надмірного їх пошкодження.

Актуальність теми. Під час механізованого збирання картоплі енергетичні складають 50-60% від загальних затрат, з них біля 35% затрат енергії припадає на підкопувальні, а 55% на сепарувальні робочі органи [7, 24].

Як відомо, в підкопаному лемешами картоплезбиральних машин шарі міститься приблизно 2-3% бульб картоплі від загальної маси. Тому якість кінцевого продукту у великій мірі залежить від роботи переважно сепарувальних робочих органів, які є визначальними у забезпеченні якісних показників роботи картоплезбиральних машин в цілому.

У зв'язку з цим актуальним є дослідження, спрямоване на обґрунтування параметрів сепарувальних робочих органів малогабаритного картоплекопача, здатних за мінімального пошкодження бульб картоплі якісно відділя-

ти їх від рослинних решток, бадилля, каміння та землі за високої продуктивності агрегату в цілому.

Мета досліджень: підвищення ефективності процесу сепарації картопляного вороху шляхом обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів сепарувальних робочих органів дворядного малогабаритного картоплекопача з комбінованим сепаратором.

Задачі дослідження:

1. Проаналізувати патентно-інформаційні джерела з конструкцій засобів для механізованого збирання картоплі та їх робочих органів;
2. Виконати теоретичні дослідження та оптимізувати конструктивно-технологічні параметри комбінованого сепаратора картоплекопача;
3. Провести експериментальні дослідження з визначення середньої швидкості переміщення ґрунтово-картопляного вороху сепарувальними робочими поверхнями дворядного картоплекопача та ступеня сепарації бульб на них з проведенням;
4. Розробити карту умов праці під час механізованого збирання картоплі;
5. Визначити ефективність використання картоплекопача з комбінованим сепаратором.

Об'єкт дослідження: взаємодія роторного та коливного сепараторів картоплекопача з ґрунтово-картопляним ворохом за раціонального режиму їх роботи і забезпечення високої якості процесу збирання картоплі.

Предмет дослідження: закономірність процесу сепарації бульбоносного шару робочими органами картоплекопача з комбінованим сепаратором.

Публікації. За результатами досліджень опубліковані 2 статті у матеріалах і тезах наукових конференцій.

1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Огляд способів збирання картоплі

Під час збирання урожаю картоплі послідовно виконують такі технологічні операції: скошування бадилля; передзбиральне розпушення міжрядь; підкопування гребеня з бульбами з одночасним сепаруванням бульб від ґрунту та укладання їх у валок з наступним підбиранням вручну або нагромадження у бункерах комбайнів чи тракторних причепах.

Збирають картоплю такими способами [4, 6, 15]:

- Комбайновий, який полягає у підкопуванні одного чи двох рядків картоплі з одночасною сепарацією бульб і навантаження їх у тракторні причепа.
- Збирання картоплі одно- чи дворядними картоплекопачами з укладанням викопаних бульб на поверхню з наступним підбиранням переважно вручну;
- Роздільний з використанням картоплекопачів-валкоукладачів, які викопують картоплю і укладають її у валки та картоплезбиральних комбайнів, які підбирають ці валки;
- Комбінований з використанням картоплекопачів-валкоукладачів, які викопують картоплю і укладають її у міжряддя між двома не викопаними рядками та картоплезбиральних комбайнів, які викопують ці рядки та підбирають вже викопані.

Застосовувати комбайновий спосіб найефективніше на легких піщаних і супіщаних ґрунтах, комбінований застосовують не тільки за таких же сприятливих умов, що і за комбайнового способу, але й на важких ґрунтах, а роздільний – в умовах підвищеної вологості ґрунтів.

1.2 Огляд засобів для збирання картоплі

Серед засобів для збирання картоплі виділяють одно-, дворядні картоплекопачі, картоплекопачі-валкоукладачі та картоплезбиральні комбайни [2].

Копачі швириального типу – це однорядні машини, які рухаються вздовж рядка і підрізають його лемешем, який скеровує бульбоносний шар на гребінки ротора, що обертаються перпендикулярно до напрямку руху машини й розкидають бульби на полі половою, ширина якої розтягується до трьох метрів. Розкидані бульби підбирають вручну [4, 6, 14].

Картоплекопачі просіваючого типу підкопують рядок або да рядки картоплі лемешами і скеровують підкопаний бульбоносний пласт на сепарувальні робочі органи (пруткові елеватори або коливні, кулачкові й барабанні грохоти).

Картоплекопач КСТ-1,4А призначений для одночасного викопування двох рядків картоплі на всіх типах ґрунтів, сепарації викопаного ґрунту й укладання відсіяних бульб на поверхню поля у валок з наступним підбиранням їх вручну [4].

Картоплекопач КСТ-1,4А має два лемеші 2 (рисунок 1.1) активного типу, швидкісний 3, основний 5 та каскадний 7 конвеєри та звужувальний щиток 8, які змонтовані на рамі 4, що опирається на два колеса 6. У передній частині рами змонтовано причіпний пристрій 10 та копіювальне колесо 1. Робочі органи картоплекопача приводяться в дію карданною передачею 11 [6].

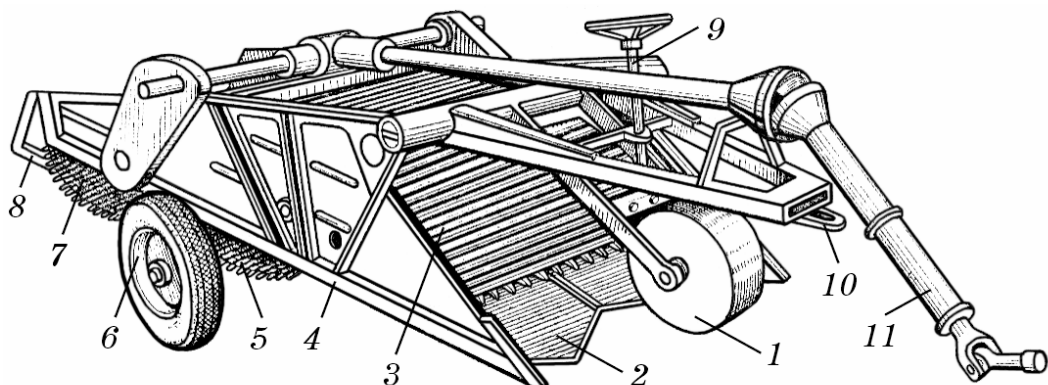


Рисунок 1.1 – Картоплекопач КСТ-1,4А:

1 – копіювальне колесо; 2 – леміш; 3, 5 і 7 – відповідно швидкісний, основний і каскадний конвеєри; 4 – рама; 6 – ходове колесо; 8 – звужувальний щиток; 9, 10 і 11 – відповідно механізми регулювання глибини ходу лемешів, причіпного пристрою і приводу робочих органів.

Лемеші 2 мають трапецієподібну форму і шарнірно з'єднані з рамою 4. В задній частині кожного лемеша встановлені відкидні клапани, які забезпечують лемеші від пошкоджень у випадку захоплення каміння вітками швидкісного конвеєра.

Швидкісний конвеєр 3 пруткового типу. Він розпушує, руйнує і сепарує викопаний шар ґрунту, що потрапляє до нього від лемешів та подає його на подібний до нього основний конвеєр 5, де ґрунт інтенсивно просіюється крізь прутки конвеєра, а бульби картоплі потрапляють на каскадний конвеєр 7, де відбувається остаточна сепарація викопаного вороху картоплі і скидання його на поверхню викопаного поля у валок за допомогою звужувальних щитків 8.

Начіпний картоплекопач КТН-2В має аналогічне призначення, що і машина КСТ-1,4А. Проте, ефективно він працює під час збирання картоплі на легких і середніх ґрунтах, вологість яких не перевищує 27%.

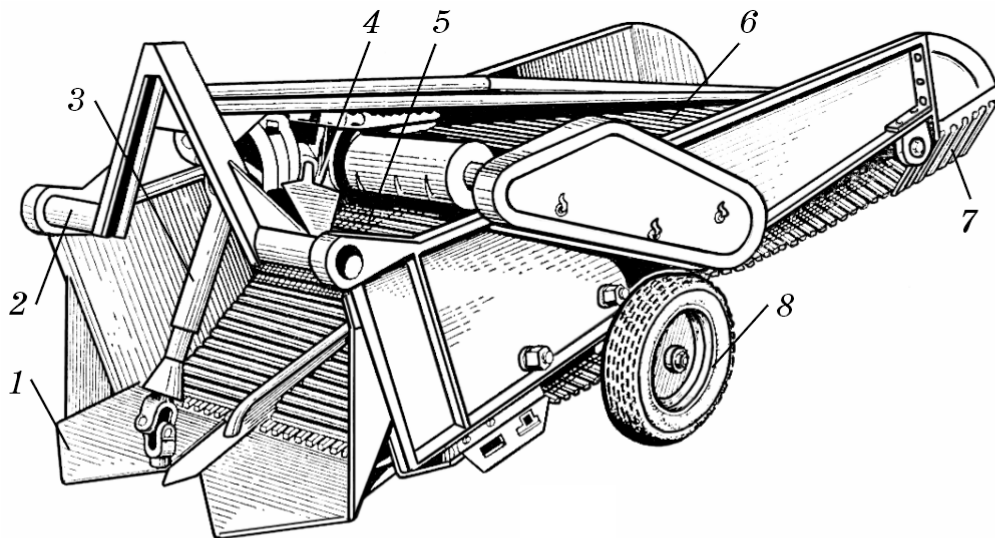


Рисунок 1.2 – Картоплекопач КТН-2В:

1 – леміш; 2 – рама; 3 – карданна передача; 4 – редуктор; 5 – основний конвеєр; 6 – каскадний конвеєр; 7 – звужувальна решітка; 8 – опорне колесо.

На відміну від картоплекопача КСТ-1,4А картоплекопач КТН-2В обладнаний лемешами пасивного типу, він не має копіювального колеса та у нього відсутній швидкісний конвеєр та [4, 6, 20].

Картоплекопачі-валкоутворювачі на відміну від звичайних картоплекопачів, як правило, мають додаткові пристрої для знищення (винесення) бадилля за межі машини та поперечні транспортери, що дозволяють укладати бульби у вузький валок х двох, чотирьох або шести рядків.

Картоплекопач-валкоутворювач УКВ-2 призначений для одночасного підкопування двох рядків картоплі під час її збирання комбінованим та роздільним способами з формуванням валка викопаних бульб на поверхні поля.

Картоплекопач-валкоутворювач УКВ-2 має два комбіновані лемеші 3 (рисунок 1.3) з активними боковинами 2, основний конвеєр 4 з струшувачами 5 верхньої його вітки, балони-грудкоподавлювачі 6, двохрешітчастий грохот, ложеутворювач 8, бадилевідокремлювальний пристрій та поперечний конвеєр 10 [6].

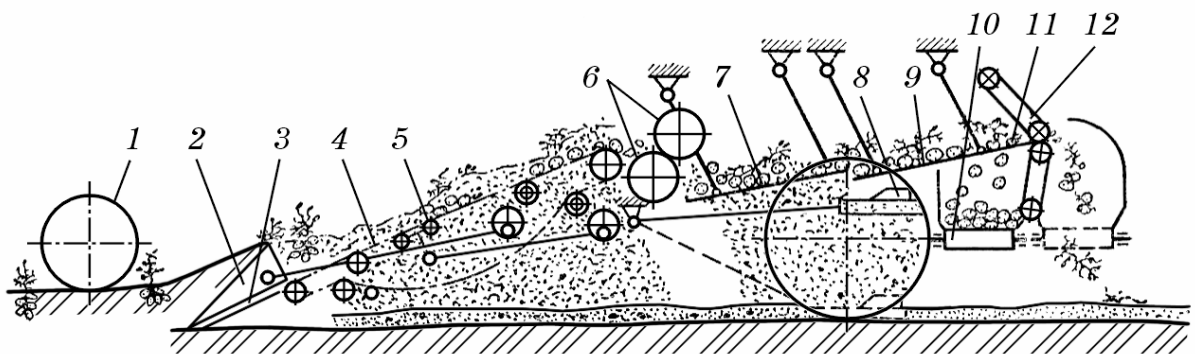


Рисунок 1.3 – Конструктивно-технологічна схема картоплекопача-валкоутворювача УКВ-2:

1 – опorne колесо; 2 – активні боковини; 3 – лемеші; 4 – основний конвеєр; 5 – струшувачі; 6 – балони-грудкоподрібнювачі; 7 – перше решето грохота; 8 – ложеутворювач; 9 – друге решето грохота; 10 – поперечний конвеєр; 11 – бадилевідокремлювальні тростини; 12 – бадилевідокремлювальні гірки.

Лемеші 3 мають плоску п'ятикутну форму, передня частина якої загострена, а в задній шарнірно закріплені клапани для запобігання заклинюванню сторонніх предметів, які можуть потрапити між лемешем 3 та основним конвеєром 4.

Основний конвеєр 4 – це дві вітки ланцюгових конвеєрів перемешкованих прутками, між якими є зазори для просівання ґрунту і дуже дрібної (до

30г) картоплі. Швидкість руху полотна основного конвеєра становить 1,54м/с. [4, 6].

Грудкоподавлювач 6 складається з двох розміщених один над одним циліндричних пневматичних балонів, які обертаються назустріч один одному з різною кутовою швидкістю обертання.

Грохот картоплекопача-валкоутворювача УКВ-2 складається з першого 7 та другого 9 решіт, які в процесі роботи коливаються і відділяють бульби картоплі від дрібних грудочок, які потрапляють на них після балонів-грудкоподавлювачів 6.

Картоплезбиральний комбайн КПК-3 (рисунок 1.4) призначений для одночасного підкопування трьох рядків картоплі, посаженої з міжряддям 70см, під час однофазного способу збирання врожаю. Від може працювати на легких, середніх та важких ґрунтах підвищеної вологості, на яких картоплю посаджено гребневим способом [11].

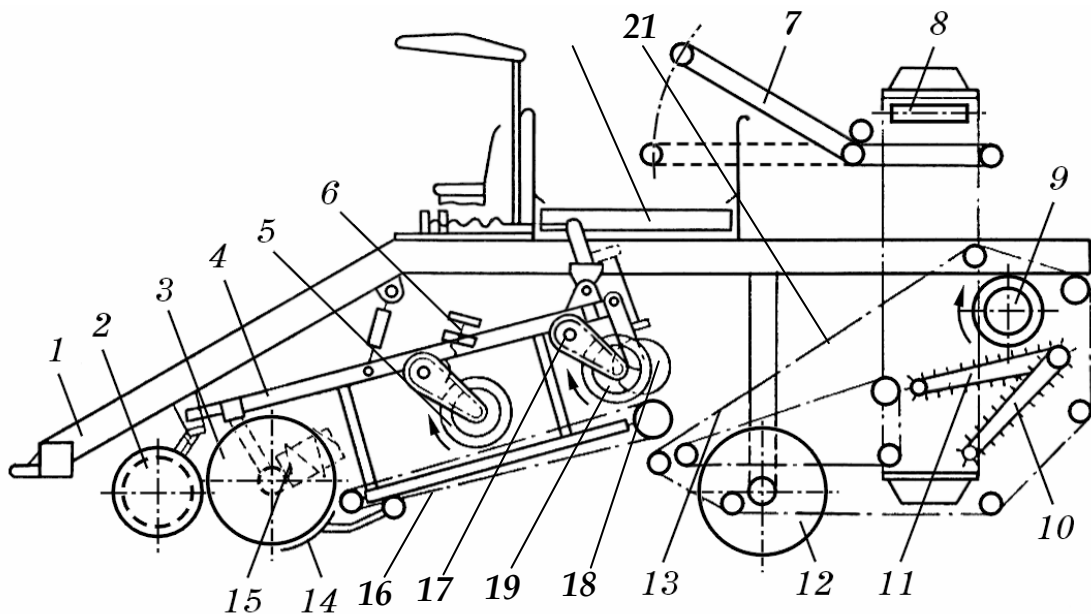


Рисунок 1.4 – Конструктивна схема комбайна КПК-3:

1 – рама; 2 – копіювальний коток; 3 – викопувальні диски; 4 – рухома частина рами; 5, 9 і 19 – середній, задній та бокові шнеки; 6 і 17 – регулювальні механізми; 7 – конвеєр завантаження бункера; 8 – конвеєр; 10 і 11 – вузька та основна пальчасті гірки; 12 – ходові колеса; 13 – рідкопрутковий конвеєр; 14 – леміш; 15 – поздовжній шнек; 16 і 21 – перший і другий сепарувальні конвеєри; 18 – грудкоподрібнювач; 20 – бункер.

Комбайн КПК-3 має копіювальний коток 2, три викопувачі у вигляді лемешів 14 та викопувальних дисків 3, перший 16 і другий 21 сепарувальні конвеєри з системою шнеків, пальчасті гірки 10 та 11, ківшевий конвеєр, перебиральний стіл та завантажувальний конвеєр 7.

Опорні котки переміщуються поверхнею гребеня і обертаються завдяки зчепленню з ґрунтом. Вони виготовлені у вигляді порожнистих циліндрів, які утримують на заданій глибині підкопувальні робочі органи.

Перший (основний) та другий сепарувальні конвеєри подібні за будовою, але різняться кількістю полотен. Обидва вони пруткового типу, над якими встановлено один нижній центральний 5 та два бокових верхніх шнеки 9 та 19, виконані у вигляді пустотілих циліндрів з навитими на них гумовими спіральними лопатями.

Гідросистема картоплезбирального комбайна КПК-3 складається з гідророзподільника, гідрокомунікацій, гідродвигуна конвеєра бункера та гідроциліндрів керування положенням рухомої рами та рухомої стінки вивантажувального елеватора.

Картоплезбиральні комбайни Lockwood (США) викопують бульби картоплі, очищують їх від землі, бадилля й рослинних решток, нагромаджують їх у бункер з подальшим вивантаженням транспортні засоби. Особливістю їх конструкції є здатність одночасно викопувати картоплю з чотирьох рядків, посаджених з міжряддям 70см. Комбайн марки Lockwood може працювати в різних природно-кліматичних та погодних умовах, рельєфу місцевості та вологості ґрунту.

В європейських країнах, де є значні посіви картоплі, доволі поширеними є одно-дворядні комбайни. Особливістю їх конструкції є правостороннє за ходом руху агрегату монтування підкопувальних робочих органів та бокове вивантаження бульб з бункера комбайна на транспортний засіб.

Одним з найпоширеніших картоплезбиральних комбайнів є модель SE 75-30 (рисунок 1.5) фірми Grimme (Німеччина). Це напівначіпний агрегат, який агрегується з тракторами, що мають потужність двигуна в межах

150кВт. Компонування на рамі окремих частин, механізмів і систем сприяє якісному технологічному процесу, дозволяє проводити усі регулювання, усунення несправностей та очищення робочих органів від рослинних решток без додаткового монтажу захисних кожухів чи щитів [12].



Рисунок 1.5 – Картоплезбиральний комбайн SE 75-30

Комбайн SE 75-30 має комбіновані підкопувальні робочі органи, що складаються з лемеша і бокових дисків, попереду яких поверхнею гребеня рухається копіювальний коток, який частково руйнує гребінь, відділяючи бульби від ґрунту, що облегшує їх сепарування на двох пруткових конвеєрах, обладнаних активними боковими стержнями. Після сепарації бульби потрапляють на перебиральний стіл, де допоміжні працівники проводять первинне сортування картоплі, відділяючи пошкоджені бульби і рослинність. Регулювання глибини підкопування здійснюється гідравлічною системою навіски енергетичного засобу та додатковим гідроциліндром на причіпному механізмі комбайна.

Подібними за конструктивно-технологічною схемою до SE 75-30 є картоплезбиральні комбайни серії Руга, виробництва Unia Group (Польща), які можуть збирати картоплю, посаджену з міжряддям від 75 до 90см [13].

Дворядний комбайн Руга II (рисунок 1.6) призначений для одночасного викопування картоплі з двох рядів. Він також обладнаний копіювальними котками, встановленими перед комбінованими підкопувальними робочими органами, прутковими сепараторами в яких прутки покриті прогумованими

елементами для запобігання надмірної дії їх на бульби картоплі під час переміщення полотнами сепараторів. Додаткове очищення бульб відбувається на пальцевій гірці, де від них відокремлюються дрібні домішки й грудочки землі.



Рисунок 1.6 –
Картоплезбиральний комбайн
Руга II

Комбайн Руга II обладнаний стрічковим поперечним транспортером з можливістю вивантаження бульб на різну висоту (максимально до 3,2м), перед яким змонтовано бадилевідокремлювальний пристрій.

Копіювальні котки добре копіюють рельєф місцевості й забезпечують задану робочу глибину підкопування. Дискові ножі встановлені по обидві сторони кожного з лемешів відрізають бадилля і рослинні рештки у вертикальній площині, що полегшує процес підкопування і сепарації бульб картоплі.

1.3 Огляд сепарувальних робочих органів машин для збирання картоплі

В сучасних картоплекопачах і комбайнах для сепарування ґрунту застосовують переважно просіваючі робочі органи різних типів, серед яких вирізняються пруткові елеватори (конвеєри) та грохоти з коливним рухом решіт, барабанні, валкові та кулачкові (рисунок 1.7).

Пруткові елеватори (див. рисунок 1.7, б) – це прості за конструкцією та можливістю одночасного сепарування й транспортування бульбоносного шару вгору за кута нахилу полотна 20-25град й можливістю працювати на схилах, або ділянках поля з складним рельєфом місцевості [4, 6, 20].

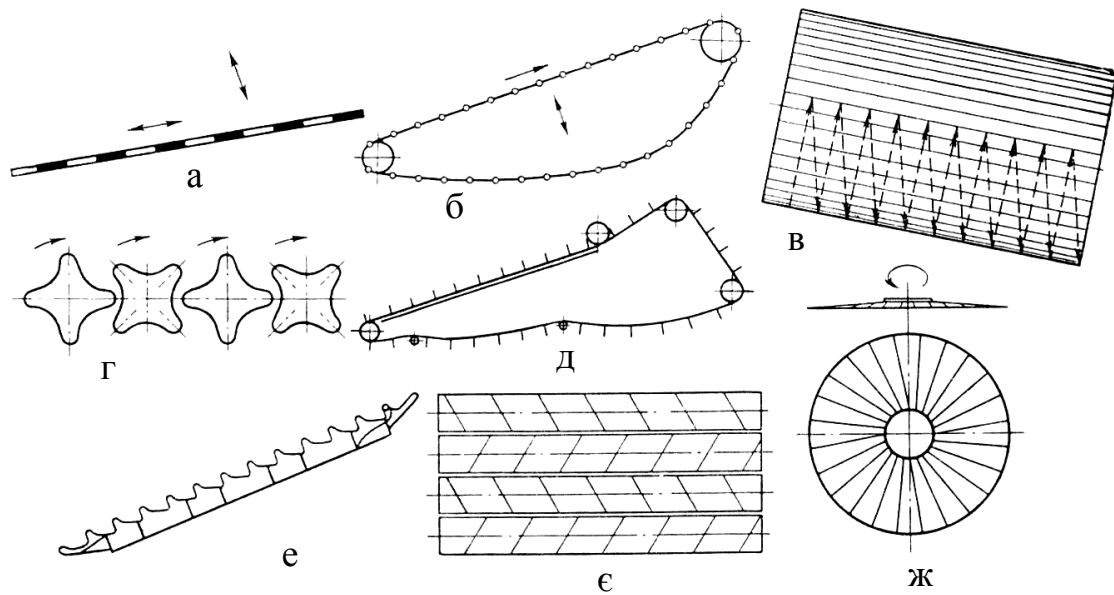


Рисунок 1.7 – Сепарувальні робочі органи просівального типу.

Серед основних недоліків пруткового елеватора можна відзначити таке: наявність великої кількості поверхонь тертя, що призводить до швидкого зношення деталей тертя; перевитрати енергії на привод конвеєра; значна металоємність при порівняно низькому живому січенні; можливе залипання просвітів пруткового полотна рослинними рештками та землею під час роботи [6].

На картоплезбиральній техніці застосовуються також коливні грохоти (див. рисунок 1.7, а). Вони відрізняються жорстким кінематично-визначеним механізмом, в якому всі кінематичні параметри (переміщення, швидкість та прискорення окремих ланок механізмів і робочих органів) визначені за величиною та напрямком.

Перевагою коливних грохотів є можливість у широких межах (від 10 до 200мм) змінювати просвіти між прутками решіт, шляхом їх заміни. Крім того, грохот може виконувати роль активного підкопувально-сепарувального робочого органу, якщо у передній його частині закріпити підкопувальний леміш [6].

Коливні грохоти мають суттєвий недолік – утруднена здатність зрівноваження інерційних сил, які виникають під час зворотно-поступального руху

решіт, а це супроводжується підвищеною вібрацією рами та додатковими напруженнями в елементах її кріплення (болтових, зварних та заклепкових з'єднань).

В картоплезбиральних машинах застосовуються барабанні грохоти (див. рисунок 1.7, в), які сепарують ґрунт від картоплі під час обертання барабана, в який надходить картопляний ворох. У барабанних грохотах відсутні незрівноважені інерційні сили, а картопляний ворох може підніматися на велику висоту. Недоліком барабанних грохотів є часте їх забивання рослинними рештками і вологим ґрунтом, що призводить до зниження його сепарувальної здатності і сильне пошкодження картоплі під час роботи агрегату на кам'янистих ґрунтах.

У однорешітчастих грохотах картоплезбиральних машин приводний ексцентриковий вал може розміщуватися під решетом (рисунок 1.8, а), над решетом (рисунок 1.8, б) та з нижнім розміщенням підвісок (рисунок 1.8, в) [4].

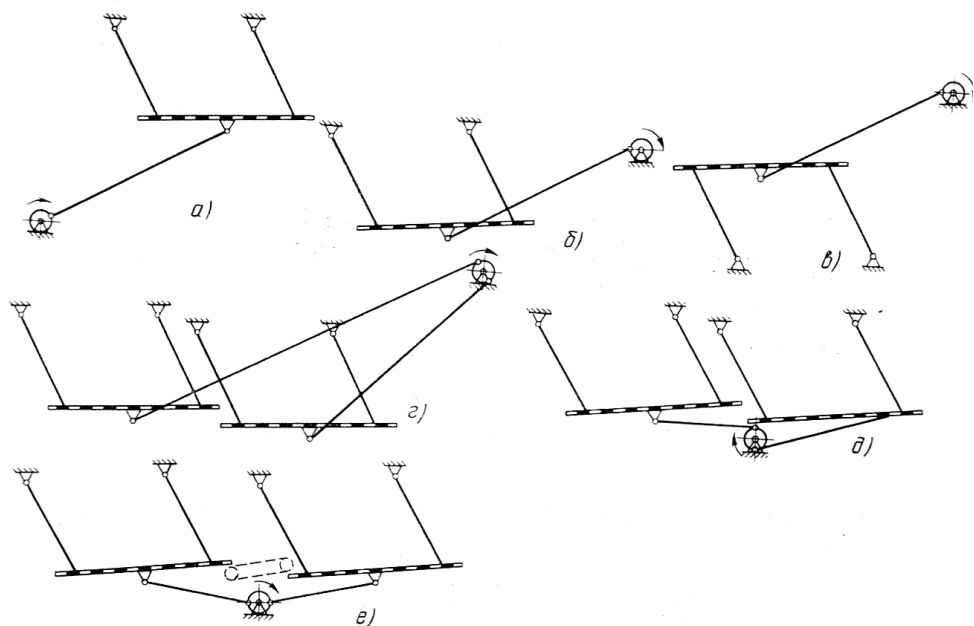


Рисунок 1.8 Схеми грохотів картоплезбиральних машин

Як показує досвід на картоплезбиральних машинах доцільніше застосовувати дворешітчастий коливальний грохот. Це пов'язано з тим, що в дворешітчастих коливних грохотах інерційні сили решіт взаємно зрівноважуються й не передаються на раму, як зображено на рисунку 1.12, г, де дворе-

шітчастий грохот обладнаний ексцентриковим валом, який винесений назад за межі решітного стану. Ефективно зрівноважуються також грохоти, в яких ексцентриковий вал встановлюється між решетами (див. рисунок 1.8, *д, е*).

Із викладеного в даному розділі матеріалу видно, що переважна більшість сепараторів картоплекопачів (картоплезбиральних комбайнів) використовує нераціональні способи дії на підкопаний пласт і картопляний ворох, що не дозволяє регулювати інтенсивність його сепарації.

Висновки

1. Переважне застосування під час збирання картоплі мають комбайновий та механізований (частково механізований) способи, за яких відбувається викопування одного-двох рядків картоплі та їх сепарація.

2. Аналіз конструкцій сепарувальних робочих органів картоплезбиральних машин (комбайнів) показав, що для отримання чистої картоплі слід інтенсифікувати дію на неї робочих органів машин, водночас, таке рішення супроводжується надмірним пошкодженням бульб картоплі.

3. Підвищити ефективність збирання картоплі доцільно створенням малогабаритних картоплекопачів, робочі органи яких матимуть комбіновану дію на ґрунтово- картопляний ворох, інтенсифікуючи процес сепарації вже під час підкопування пласта.

2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОМБІНОВАНОГО СЕПАРАТОРА КАРТОПЛЕКОПАЧА

2.1 Обґрунтування робочого процесу збирання картоплі

Під час механізованого збирання картоплі виконують такі послідовні окремі технологічні операції: попереднє (за 10-14 днів до масового збирання) знищення бадилля; передзбиральне розпушування міжрядь (за необхідності); механізоване збирання картоплі картоплекопачами або комбайнами; транспортування, сортування й закладання у сховища (реалізація). При цьому збирання врожаю картоплі розтягується в часі, особливо якщо бульби після картоплекопачів підбирають вручну [3, 14, 15].

На підставі виконаного огляду конструкцій машин для збирання картоплі вдалося встановити певну закономірність – для отримання якісно очищених від ґрунту й рослинних решток бульб, процес сепарації ґрунту на сепарувальних робочих органах необхідно інтенсифікувати. Але будь-яка інтенсифікація сепарування бульб на робочих органах картоплезбиральних машин неминуче призведе до надмірної дії їх на бульби, спричинивши їх надмірне пошкодження. Окрім того під час такого технологічного процесу зростають енергетичні затрати. Саме тому ставиться завдання обґрунтувати оптимальний варіант збирання картоплі з використанням картоплезбиральних машин.

Враховуючи вищенаведене, було запропоновано збирати картоплю картоплекопачами, укладати бульби у валок і згодом підбирати їх вручну. Таке рішення дозволить збирати врожай високої якості з мінімальними пошкодженнями бульб та з меншими енергозатратами процесу завдяки використанню малогабаритного картоплекопача, агрегатованого з енергетичного засобу класу 0,6.

Запропонований малогабаритний агрегат має відповідати таким вимогам:

- бути максимального пристосованим до збирання картоплі в різних ґрунтово-кліматичних умовах і складного мікрорельєфу місцевості;

- робочі органи картоплекопача повинні забезпечувати режими коливань, необхідні для збирання врожаю картоплі з агротехнічно-допустимими вимогами;
- адаптувати режими роботи робочих органів картоплекопача до фізико-механічних властивостей ґрунту та ґрунтово-картопляного вороху, запобігаючи надмірному пошкодженню бульб понад встановлені агротехнічно-дозволені вимоги;
- збирати врожай з мінімальними енергозатратами.

Запропонований картоплекопач має активний підкопувальний робочий орган у вигляді коритоподібного лемеша з пасивною 7 (рисунок 2.1) і активною 9 частинами, раму 14, вібраційне коливне сито 15, гребінку 17 та звужувач потоку 6.

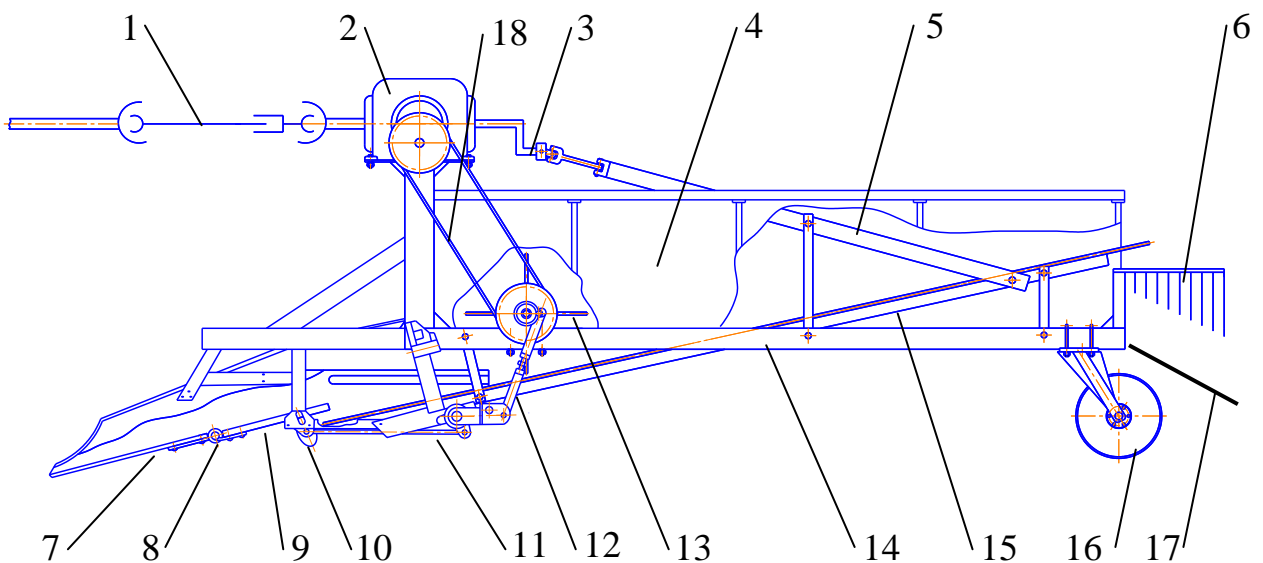


Рисунок 2.1 – Технологічна схема картоплезбиральної машини з комбінованим підкопувально-сепарувальним пристроєм:

1 – карданна передача; 2 – редуктор; 3 – ексцентриковий механізм; 4 – боковина; 5 – підвіска; 6 – звужувач потоку; 7 – пасивна частина лемеша; 8 – вісь; 9 – активна частина лемеша; 10 – еліптичний елемент; 11 – шатун; 12 – тяга; 13 – ротор; 14 – рама; 15 – коливне сито (грохот); 16 – опірне колесо; 17 – гребінка; 18 – пасова передача.

Пасивна частина лемеша кріпиться до рами 14 жорстко, а активна – на осі 8 й приводиться в коливний рух еліптичним елементом 10, що обертаєть-

ся в нижній частині лемеша, отримуючи привід через кривошипно-шатунний механізм і регульовану тягу 12.

Вібраційне коливне сито 15 кріпиться до рами картоплекопача 14 шарнірно завдяки підвісці 5. Вібраційне коливне сито приводиться дію ексцентровим механізмом 3. Над коливним ситом 15, у передній його частині, змонтовано активний ротор 13, який приводиться в обертову дію від ВВП енергетичного засобу через карданну передачу 1, центральний редуктор 2 та пасову передачу 18.

Під час викопування картоплі пасивна частина 7 лемеша заходить в ґрунт на регульовану опорним колесом 16 глибину, підрізаючи шарт картопляного вороху, який безперервним потоком надходить на активну частину 9 лемеша. Внаслідок дії еліптичного струшувального елемента 10 на активну частину лемеша, картопляний ворох частково деформується й розривається на агрегатні стани різної величини, полегшуючи подальший процес сепарації ґрунту коливним вібраційним ситом 15.

Після лемеша ґрунтово-картопляний ворох захоплюється пальцями ротора 13 і скеровується на коливне сито 15, яке коливається на шарнірних підвісках 5 та сепарує ґрунт. Бульби картоплі, які сходять з коливного сита 15 укладаються у валок звужувачем потоку 6, сходячи з гребінки 17.

2.2 Обґрунтування кінематичних параметрів роботи ротора

Для динамічного рихлення ґрунтово-картопляного вороху у вигляді пласта у запропонованій конструкції картоплекопача використовується обертовий ротор 2 (рисунок 2.2), який змонтований над активним лемешем 1 та коливним вібраційним ситом 3. Пальці ротора 2 взаємодіють з вказаним пластом в момент його сходження з лемеша 1.

Швидкість сходження ґрунтово-картопляного пласта з лемеша 1, встановленого до горизонту з кутом α , позначимо через V_3 , а найвищу точку його піднімання через r , яка відповідає висоті H розміщення заднього обрізу лемеша 1.

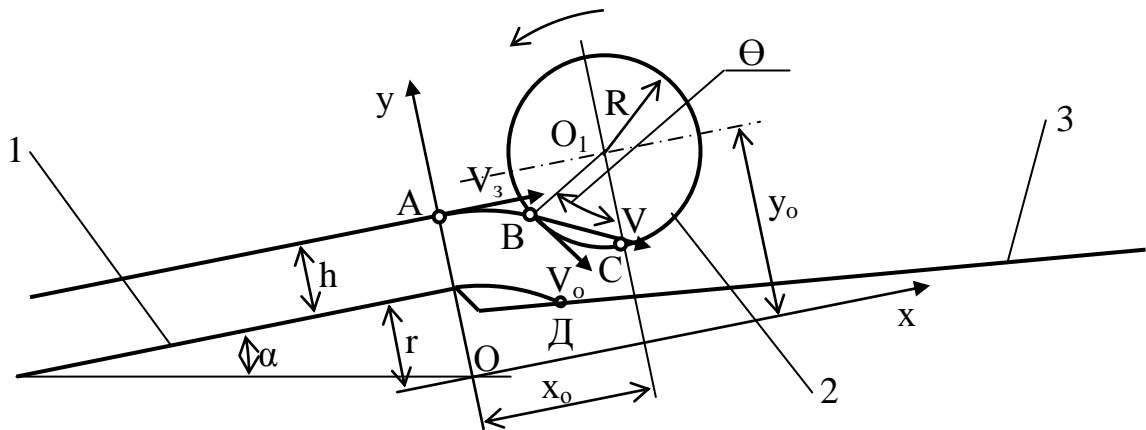


Рисунок 2.2 – Схема взаємодії ґрунтово-картопляного пласта з ротором

Для аналітичного дослідження кінематики ротора допускаємо, що з лемеша 1 пласт висотою h (див. рисунок 2.2) сходить без деформації. Його відривання здійснюється в перерізі ОУ, що проходить через точку А сходження пласта з лемеша та початкову координату О. При цьому має виконуватися умова [5, 7]:

$$r \leq \frac{V_3^2}{g} \cos \alpha, \quad (2.1)$$

де g – прискорення вільного падіння.

Відірвані від лемеша частинки ґрунтово-картопляного пласта починають рухатися по параболі, рівняння якої має такий вигляд:

$$\left. \begin{aligned} x &= V_3 t - \frac{1}{2} g t^2 \sin \alpha \\ y &= (r + h) - \frac{1}{2} g t^2 \cos \alpha \end{aligned} \right\}. \quad (2.2)$$

Момент зустрічі пласта з пальцями обертового ротора наближено можна визначити в координатах ХОУ з початком в центрі координат О рівнянням четвертого ступеня відносно часу t , що має такий вигляд:

$$a t^4 - b t^3 + c t^2 - d t + e = 0, \quad (2.3)$$

при цьому

$$a = \frac{1}{4} g^2,$$

$$b = V_3 g \sin \alpha,$$

$$c = V_3^2 + gx_o \sin \alpha - g(r + h - y_o) \cos \alpha,$$

$$d = 2V_3 x_o,$$

$$e = x_o^2 + (z + h)(z + h - 2y_o) + y_o^2 - R^2,$$

де R – радіус ротора картоплекопача;

t – час (тривалість) взаємодії частинок ґрунтового-картопляного пласта з ротором;

x_o, y_o – координати центра ротора.

Швидкість в кожній точці ґрунтового-картопляного пласта, який сходиться з лемеша становитиме:

$$V = \sqrt{V_3^2 - V_3 g t \sin \alpha + g^2 t^2}. \quad (2.4)$$

Тривалість руху ґрунтового-картопляного пласта від початку його сходження з лемеша до початку взаємодії пальців ротора з цим пластом визначається з умови переміщення ґрунтового-картопляного пласта з точки А у точку С (поворот ротора на один крок), а саме:

$$\Delta t_b = \frac{2\pi R}{zV_o}, \quad (2.5)$$

де z – число (кількість) рядів пальців ротора;

V_o – швидкість ротора за вершинами пальців ротора.

В цьому випадку тривалість контакту пальців ротора з ґрунтовым-картопляним пластом обмежуються кутом Θ , а саме:

$$t = \frac{R\Theta}{V_o}, \quad (2.6)$$

де $\Theta = \arcsin \frac{y_o - y_e}{R} - \arcsin \frac{y_o - y_c}{R}$.

На ґрунтового-картопляний пласт в момент його проходження між точками В та С діють ще й коливні рухи сита, яке починає взаємодіяти з нижньою частиною ґрунтового-картопляного пласта в точці Д (див. рисунок 2.2). Це сприяє розтягуванню ґрунтового-картопляного пласта із одночасною деформацією його елементарних частинок, сприяючи кращій сепарації ґрунту.

Зважаючи на те, що на глибині підкопування є найбільша концентрація бульб картоплі, то для уникнення їх пошкодження режим роботи ротора повинен бути таким, щоб своїми пальцями тільки розтягувати ґрунтово-картопляного пласт.

Кутова швидкість ротора для вищенаведених умов визначається за формулою

$$\omega = \frac{V}{R}, \quad (2.7)$$

а частота його обертання за формулою

$$n = \frac{30 \cdot \omega}{\pi}. \quad (2.8)$$

Визначаємо радіус ротора за вершинами його пальців, виходячи з умови нерозривності потоку підкопаного ґрунтово-картопляного пласта за формулою:

$$R = \frac{\lambda \cdot V}{\omega}, \quad (2.9)$$

де λ – кінематичний показник роботи ротора, $\lambda=1,7$ [5].

Кількість пальців обертового ротора визначається за формулою

$$z = \frac{60 \cdot V}{h \cdot n}. \quad (2.10)$$

Для заданої конструкції приймаємо кількість пальців ротора $z=6$, а самі пальці встановлюємо з кроком $k=0,16$ м.

Загальна потужність обертового ротора N складається із затрат потужності на деформацію пласта ґрунтово-картопляного вороху N_d його пальцями та затрат потужності на відкидання ними бульб і частинок ґрунту N_g , тобто

$$N = N_d + N_g. \quad (2.11)$$

Потужність на деформацію пласта ґрунтово-картопляного вороху N_d визначається за формулою [5, 19]:

$$N_d = \frac{10^{-4} k c h z n \alpha_c}{6}, \quad (2.12)$$

де k – питомий опір деформації ґрунтово-картопляного пласта, кН/м;

c – площа перерізу ґрунтово-картопляного пласта, що розбивається одним пальцем, мм²;

n – частота обертання пальців ротора, об/хв;

α_c – коефіцієнт, що враховує стан ґрунту.

Частота обертання пальців ротора визначається з врахуванням швидкості руху картоплезбирального агрегату, а саме:

$$n = \frac{\lambda V_p \cdot 30}{\pi R}, \quad (2.13)$$

де λ – показник кінематичної роботи ротора малогабаритного картоплекопача;

V_p – робоча швидкість картоплезбирального агрегату, м/с;

R – радіус ротора картоплекопача, м.

Потужність на відкидання бульб та ґрунту визначаємо за формулою

$$N_s = 5 \cdot 10^{-4} \delta Q_n \omega_p^2, \quad (2.14)$$

де δ – коефіцієнт відкидання ґрунтового вороху, що залежить від форми робочого органу картоплекопача;

Q_n – маса бульб та ґрунту, що відкидається ротором за одну секунду, кг/с;

ω – кутова швидкість ротора, с⁻¹.

Потужність на приводному валу від ВВП енергетичного засобу визначається за формулою:

$$N_{\text{веп}} = \frac{N}{\eta_l^2 \eta_m}, \quad (2.15)$$

де η_l, η_m – відповідно ККД ланцюгової передачі та запобіжної муфти.

На підставі виконаних аналітичних досліджень встановлено, що максимальна потужність приводу ротора досліджуваної конструкції картоплекопача від валу відбору потужності енергетичного засобу (через редуктор) становить 4,30 кВт.

2.3 Обґрунтування кінематичних параметрів роботи вібраційного сита

Для переміщення поверхнею коливного сита (рисунок 2.3) ґрунтово-картопляного вороху вібраційне сито характеризується наступними кінематичними параметрами: амплітудою коливань A (радіусом приводного кривошипа r), кутовою швидкістю кривошипа ω , кутом α нахилу коливного сита до горизонтальної площини, кутом β між напрямком коливань і площиною решета коливного сита.

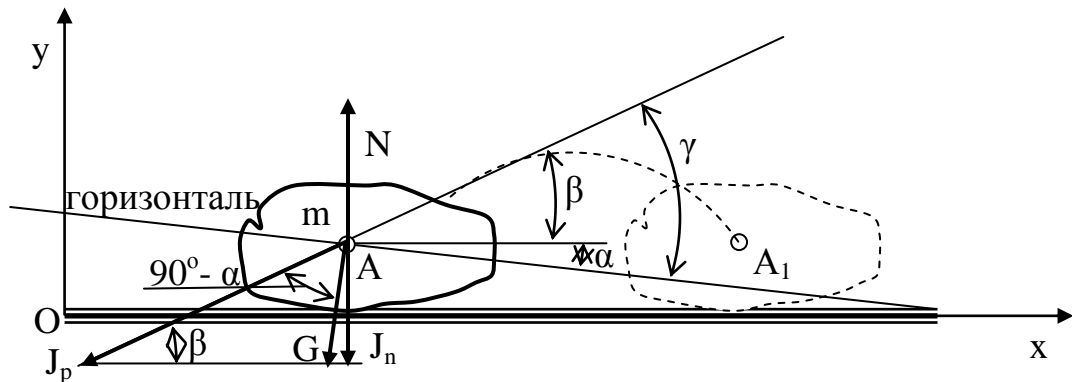


Рисунок 2.3 Переміщення з підкиданням частинки по коливному ситі

Розглянемо частку ґрунтово-картопляного вороху, яка має масу m , (див. рисунок 2.3) і знаходиться на поверхні коливного сита із вибраною системою координат XOY . На вказану частку діють такі сили: тяжіння G , інерції від зворотно-поступального руху J , нормального тиску (реакція) N та тертя F . Їх можна визначити із таких залежностей:

$$G = mg, \quad (2.16)$$

$$J = mj = m\omega^2 \cos \omega t, \quad (2.17)$$

$$F = Nf, \quad (2.18)$$

де f – коефіцієнт тертя ковзання частки по коливному ситі.

Згідно принципу Даламбера [7, 17] і після проектування сил на відповідні осі OX та OY , отримаємо такі рівняння руху частинки m :

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= J_p \cos \beta + G \sin \alpha - F_{mp}; \\ m\ddot{y} &= J_p \sin \beta - G \cos \alpha + N. \end{aligned} \quad (2.19)$$

На характер і напрям руху частинки m поверхнею коливного сита впливають аналогічні кінематичні параметри решета коливного сита, прискорення якого визначають з умови:

$$j_p = \omega^2 r \cos \omega t. \quad (2.20)$$

Пряме ковзання вгору по поверхні решета коливного сита може відбуватися завдяки прискоренню, яке визначається умови:

$$j_p \geq g \frac{\sin \alpha + f \cos \alpha}{\cos(\gamma - \alpha) + f \sin(\gamma - \alpha)}. \quad (2.21)$$

Зворотнє ковзання частки m вниз по коливному решеті буде відбуватися за прискорення, яке визначається з нерівності:

$$j_p \geq g \frac{f \cos \alpha - \sin \alpha}{\cos(\gamma - \alpha) - f \sin(\gamma - \alpha)}. \quad (2.22)$$

Граничні кути піднімання частки матеріалу коливним ситом без її підкидання і з підкиданням, відповідно, становлять:

$$\alpha_{1max} = \arctan(f^2 \operatorname{tg} \beta), \quad (2.23)$$

$$\alpha_{2max} = \arctan\left(\frac{\lambda_1}{2 - \lambda_1} \cdot \frac{1 - k}{1 + k} \operatorname{ctg} \beta\right), \quad (2.24)$$

де λ_1 і k – відповідно коефіцієнти миттєвого тертя матеріалу по поверхні коливного сита та відновлення.

Швидкість часточки m в момент відриву від поверхні решета коливного сита (з певними допущеннями) відповідає швидкості решета на якому вона знаходиться:

$$V_o = \omega r \sin \omega t, \quad (2.25)$$

де ωt – кут, що визначає положення кривошипа в момент відриву часточки m від поверхні решета коливного сита.

Підкидання часточки m в момент відривання від поверхні решета коливного сита можливе за умови, що прискорення решета буде більшим за нормальну складову прискорення вільного падіння часточки, а саме:

$$j_n \approx \omega^2 r \cos \omega t \geq \frac{g \cos \alpha}{\sin(\gamma - \alpha)}. \quad (2.26)$$

Для визначення тривалості польоту часточки m у вільному польоті складаємо диференціальні рівняння:

$$\left. \begin{aligned} m \frac{d^2 y}{dt^2} &= -G \cos \alpha, \\ m \frac{d^2 x}{dt^2} &= -G \sin \alpha \end{aligned} \right\}. \quad (2.27)$$

За початкових умов $t=0$, $x=0$, $y=0$, а отже

$$\frac{dx}{dt} = u_o \cos \beta; \quad \frac{dy}{dt} = u_o \sin \beta.$$

де u_o – початкова швидкість польоту частки m .

$$u_o = V_o \sin \omega t_o. \quad (2.28)$$

Після інтегрування (2.27) і врахування (2.28) будемо мати:

$$\left. \begin{aligned} x &= u_o \cos \beta t - \frac{gt^2}{2} \sin \alpha, \\ y &= u_o \sin \beta t - \frac{gt^2}{2} \cos \alpha \end{aligned} \right\}. \quad (2.29)$$

Якщо в системі рівнянь (2.29) ординату y прирівняти до 0, та тривалість падіння частинки m на решето буде визначатися з умови

$$y = u_o \sin \beta t - \frac{gt^2}{2} \cos \alpha = 0. \quad (2.30)$$

З (2.30) тривалість польоту часточки m становить

$$t = \frac{2u_o \sin \beta}{g \cos \alpha}. \quad (2.31)$$

Безперервні підкидання частинки ґрунтово-картопляного вороху будуть можливі за тривалості її польоту, яка повинна бути рівною тривалості одного оберту приводного механізму, а саме:

$$\frac{2u_o \sin \beta}{g \cos \alpha} = \frac{2\pi}{\omega},$$

звідки
$$u_o = \frac{\pi g \cos \alpha}{\sin \beta \omega}. \quad (2.32)$$

Прирівнявши (2.30) та (2.31), будемо мати:

$$\sin \omega t_o = \frac{\pi g \cos \alpha}{\omega^2 r \sin \beta} \quad (2.33)$$

Якщо виразити кут відривання частинки m через прискорення решета коливного сита картоплекопача і з врахуванням умови (2.26), отримаємо:

$$\cos \omega t_o = \frac{g \cos \alpha}{\omega^2 r \sin \beta}. \quad (2.34)$$

Через те, що $\cos x = \sqrt{1 - \sin^2 x}$, тому

$$\begin{aligned} \sqrt{1 - \sin^2 \omega t} &= \frac{g \cos \alpha}{\omega^2 r \sin \beta}, \\ \text{а } \sin \omega t_o &= \sqrt{1 - \left(\frac{g \cos \alpha}{\omega^2 r \sin \beta} \right)^2}. \end{aligned} \quad (2.35)$$

Після прирівнювання (2.33) і (2.35)

$$\sqrt{1 - \left(\frac{g \cos \alpha}{\omega^2 r \sin \beta} \right)^2} = \frac{\pi g \cos \alpha}{\omega^2 r \sin \beta},$$

отримаємо:

$$\omega^2 r = \frac{\sqrt{(\pi g \cos \alpha)^2 + (g \cos \alpha)^2}}{\sin \beta} = \frac{g \cos \alpha}{\sin \beta} \sqrt{(\pi)^2 + 1}, \quad (2.36)$$

$$\text{або, із певним наближенням, } \omega^2 r = 3,3 \frac{g \cos \alpha}{\sin \beta}. \quad (2.37)$$

З врахуванням умов (2.36) та (2.37) параметри вібраційного коливного сита досліджуваної конструкції картоплекопача визначають з нерівності

$$\frac{2 \cos \alpha}{\sin(\beta - \alpha)} \leq \frac{\omega^2 r}{2} \leq \frac{3.3 \cos \alpha}{\sin(\beta - \alpha)}. \quad (2.38)$$

Щоб забезпечити найраціональніші умови роботи коливного вібраційного сита за заданим радіусом кривошипа, його кутову швидкість вибирають у межах:

$$\sqrt{\frac{2 \cos \alpha}{r \sin(\beta - \alpha)}} \leq \omega \leq \sqrt{\frac{3.3 \cos \alpha}{r \sin(\beta - \alpha)}}. \quad (2.39)$$

Таким чином, отримані системи диференціальних рівнянь (2.27) та (2.29) дають змогу з певними наближеннями розрахувати тривалість перебування у польоті підкинутої решетом вібраційного коливного сита частинки m картопляного вороху з врахуванням початкової швидкості u_0 її польоту.

Висновки

1 На основі теоретичних досліджень отримано системи диференціальних рівнянь (2.27) та (2.29), які дають змогу з певними наближеннями розрахувати тривалість перебування у польоті підкинутої решетом вібраційного коливного сита частинки m картопляного вороху з врахуванням початкової швидкості u_0 її польоту..

2 Аналітичними дослідженнями встановлено, що раціональними конструктивно-кінематичними параметрами сепаратора малогабаритного картоплекопача є радіус його ротора за вершинами пальців $R = 0,18\text{м}$, крок між якими становить $0,16\text{м}$ і вони розставлені у шість рядів та частота його обертання $n = 77\text{об/хв}$.

3 Теоретичними дослідженнями встановлено, що із збільшенням радіуса приводного ексцентрика в межах $0,03\text{--}0,08\text{м}$ частота коливань вібраційного сита зменшується з $68,6\text{с}^{-1}$ до $42,2\text{с}^{-1}$ (за кута між напрямком коливань і площиною решета коливного вібраційного сита $\beta=14$ град.).

3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Мета і програма експериментальних досліджень

Мета експериментальних досліджень – обґрунтування конструктивних та кінематичних параметрів сепарувальних робочих органів малогабаритного картоплекопача, визначення повноти (якості) сепарації ґрунту та пошкодження бульб робочими органами картоплекопача, підтвердження та доповнення результатів теоретичних досліджень.

Програма експериментальних досліджень:

- визначення швидкості переміщення ґрунтово-картопляного пласта сепарувальними робочими органами малогабаритного картоплекопача;
- встановлення повноти сепарації ґрунтово-картопляного вороху сепарувальними робочими органами малогабаритного картоплекопача;
- встановлення ступеня пошкодження бульб робочими органами малогабаритного картоплекопача;

3.2 Методика визначення швидкості переміщення ґрунтово-картопляного пласта сепарувальними робочими органами картоплекопача

Швидкість переміщення ґрунтово-картопляного пласта сепарувальними робочими органами картоплекопача, якість та ефективність сепарування залежить від багатьох впливових чинників. Для умов роботи картоплекопача визначальними є товщина ґрунтово-картопляного пласта, яка сходить з лемеша на обертовий, з відповідною кутовою швидкістю ротор, амплітуда та частота коливань вібраційного сита і довжина його полотна (решета).

Досліди з визначення швидкості переміщення ґрунтово-картопляного пласта робочою поверхнею сепаратора малогабаритного картоплекопача проводились з використанням лабораторно-польової установки, елементами якої є малогабаритний енергетичний засіб 1 (рисунки 3.1) та приєднаний до

нього дворядний картоплекопач з комбінованим сепаратором у вигляді коливного сита 6.

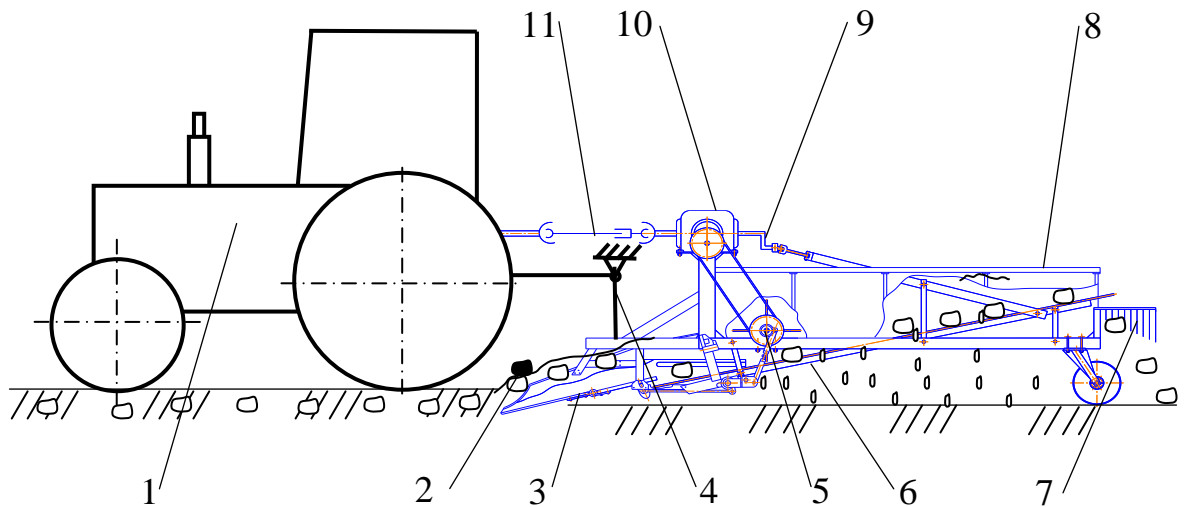


Рисунок 3.1–Схема лабораторно-польової установки:

1 – енергетичний засіб класу 0,6; 2 – дослідний маркер; 3 – коливний леміш; 4 – контрольна планка, 5 – ротор; 6 – коливне сито; 7 – гребінка; 8 – рама копача; 9 – ексцентриковий механізм; 10 – редуктор центральний; 11 – карданна передача.

У передній частині картоплекопача змонтовані активні лемеші 3, бульбоносний шар картоплі з якого потрапляє до ротора 5, пальці якого розривають бульбоносний шар і скеровують його на коливне сито 6, а далі – укладається у валок, сформований гребінкою 7. Привод ротора 5, активної частини лемеша 3 та коливного сита 6 здійснювався від ВВП енергетичного засобу 1 через карданну передачу 11, центральний редуктор 10 та ексцентриковий механізм 9.

Суть експериментів з визначення швидкості переміщення ґрунтово-картопляного вороху се парувальними робочими органами малогабаритного картоплекопача полягала у фіксації електронним секундоміром тривалості (часу) переміщення дослідного маркера 2 (прогумований і пофарбований у яскравий колір заміник (макет) картоплі) встановленого на поверхні рядка від моменту захоплення його, разом із шаром ґрунту, пальцями ротора 5 (від контрольної планки 4) до моменту остаточного сходження з коливного сита. За відомою загальною довжиною полотна (решета) коливного сита аналітич-

но визначали час переміщення дослідного маркера 2 сепарувальними робочими органами картоплекопача, одночасно, на основі візуального спостереження, встановлювали інтенсивність сепарації ґрунту коливним ситом.

Під час проведення експериментальних досліджень з визначення швидкості переміщення бульбоносного пласта поверхнею сепарувальних робочих органів картоплекопача була використовувалась методика математичного планування двофакторного експерименту на трьох рівнях [24, 25].

За незалежні змінні вхідні параметри приймалися радіус r (мм) ексцентрика приводного механізму коливного сита та кут β (град.) між напрямком коливань і площиною решета коливного вібраційного сита; кодовані значення змінних X_1 , X_2 на трьох рівнях складали -1 , 0 , $+1$. Функцією відгуку Y_1 , виступала швидкість V проходження пласта робочими органами копача.

Під час експериментів на кожному досліджуваному рядку картоплі в трикратній повторності проводились три серії дослідів, в кожній з яких за параметру r $0,03$; $0,05$ та $0,07$ м і кута β 10 ; 20 та 30 град. бульбоносний пласт переміщувався сепарувальними робочими органами проводився хронометраж.

Середня швидкість $V_{сер}$ (м/с) переміщення бульбоносного пласта сепарувальними робочими органами картоплекопача визначалася із співвідношення:

$$V_{сер} = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{\sum_{i=1}^n t_{ki}}, \quad (3.1)$$

де l_i , t_{ki} – відповідно довжина (м) решета коливального сита малогабаритного картоплекопача та тривалість (с) переміщення бульбоносного пласта під час i -го вимірювання у досліді;

n – число (кількість) вимірювань в досліді.

3.1 Методика визначення якісних показників роботи комбінованого сепаратора

Якісними показниками роботи комбінованого сепаратора малогабаритного картоплекопача є повнота сепарації ґрунтово-картопляного вороху та ступінь пошкодження бульб робочими органами картоплекопача.

Для визначення вищенаведених показників під час експериментів також використовувалась лабораторно-польова установка (див. рисунок 3.1).

Суть методики полягала у визначенні коефіцієнта сепарації ґрунту сепарувальними робочими органами малогабаритного картоплекопача під час збирання врожаю на окремій дослідній ділянці у вигляді картопляної грядки, довжиною 50м, розбитої на п'ять однакових за довжиною ділянок.

Під час експериментів картоплезбиральний агрегат переміщувався вздовж ділянок викопував картоплю з двох рядків і укладав викопані бульби у валок на викопану поверхню поля. Одразу ж з кожної ділянки вручну окремо підбирали цілі ($Y_{ц}$) та пошкоджені ($Y_{п}$) бульби, а також ті, які були присипані ($Y_{пр}$) землею та не були викопані робочими органами картоплекопача ($Y_{н}$). Після зважування кожної фракції аналітично визначали коефіцієнт сепарації s (%), скориставшись співвідношенням:

$$s = \frac{\sum_{i=1}^n M_{ц\delta i} K_i}{\sum_{i=1}^n M_{ц\delta i} K_i + \sum_{i=1}^n M_{н\delta i} K_i} \cdot 100, \quad (3.2)$$

де $\sum_{i=1}^n M_{ц\delta i}$ – маса цілих бульб (кг) під час i -го вимірювання у досліді;

$\sum_{i=1}^n M_{н\delta i}$ – маса пошкоджених та невикопаних бульб (кг) під час i -го вимірювання у досліді;

K_i – число (кількість) окремих ділянок, на яких збирався врожай картоплі;

n – число (кількість) вимірювань досліді.

Маса $M_{n\delta i}$ (кг) пошкоджених і невикопаних бульб картоплі визначалася з умови:

$$\sum_{i=1}^n M_{n\delta i} = K_i \left(\sum_{i=1}^n M_{\delta\delta i} + M_{np\delta i} + M_{ni} \right), \quad (3.3)$$

де $M_{\delta\delta i}$, $M_{np\delta i}$, M_{ni} – маса відповідно пошкоджених, присипаних ґрунтом та невикопаних картоплекопачем бульб, кг.

Як і в попередньому випадку експерименти проводились на основі методика математичного планування двофакторного експерименту на трьох рівнях. Незалежними змінними (вхідні параметри) виступали середня швидкість $V_{сер}$ (м/с) переміщення ґрунтово-картопляного вороху робочою поверхнею решета коливного сита картоплекопача та кутова швидкість ω (с⁻¹) ексцентрика приводного механізму коливного сита; кодовані значення вхідних змінних X_1 , X_2 на трьох рівнях складали -1, 0, +1. Функцією відгуку Y_1 , (шуканою величиною) виступав коефіцієнт сепарації ґрунту комбінованим сепаратор малогабаритного картоплекопача.

Під час експериментів на кожному досліджуваному рядку картоплі в трикратній повторності проводились три серії дослідів, в кожній з яких за швидкості $V_{сер}$ 0,2; 0,4 та 0,6 м/с та кутової швидкості ω 48,2; 56,2; 64,2 с⁻¹ пласт переміщувався сепарувальними робочими органами картоплекопача і укладався на поверхню викопаного поля за ходом агрегату.

Під час визначення ступеня пошкоженості бульб картоплі робочими органами картоплекопача досліджували той самий викопаний та просіяний через комбінований сепаратор картоплекопача. При цьому в процентному відношенні співставляли масу пошкоджених бульб до загальної маси зібраних бульб в окремому досліді.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Середня швидкість переміщення бульбоносного пласта коливним ситом картоплекопача

Після проведених експериментів та обробки їх результатів було встановлено, що середня швидкість переміщення бульбоносного пласта коливним ситом картоплекопача змінюється в залежності від кута встановлення самого коливного сита в горизонтальній площині та радіуса кривошипа. Впливовими на величину середньої швидкості переміщення пласта є також конструктивні параметри коливного сита, зокрема його довжина (в проведених експериментах вона була незмінною), а також частота його коливань.

Для дворядного картоплекопача з комбінованим сепаратором за радіуса кривошипа $r=70,0$ мм зміни середньої швидкості $V_{cep(I)}$ переміщення бульбоносного пласта коливним ситом картоплекопача в залежності від кута β встановлення самого коливного сита в горизонтальній площині наближено описується поліноміальним рівнянням четвертого порядку і становить:

$$V_{cep(I)} = 0,5 \cdot 10^{-6} x^4 - 0,0012 x^3 + 0,0325 x^2 - 0,3343 x + 1,5061. \quad (4.1)$$

Для дворядного картоплекопача з комбінованим сепаратором за радіуса кривошипа $r=50,0$ мм зміни середньої швидкості $V_{cep(II)}$ переміщення бульбоносного пласта коливним ситом картоплекопача в залежності від кута β встановлення самого коливного сита в горизонтальній площині наближено описується поліноміальним рівнянням четвертого порядку і становить:

$$V_{cep(II)} = 0,5 \cdot 10^{-6} x^4 - 0,0011 x^3 + 0,0287 x^2 - 0,2945 x + 1,3501. \quad (4.2)$$

Для дворядного картоплекопача з комбінованим сепаратором за радіуса кривошипа $r=30,0$ мм зміни середньої швидкості $V_{cep(III)}$ переміщення бульбоносного пласта коливним ситом картоплекопача в залежності від кута β встановлення самого коливного сита в горизонтальній площині наближено описується поліноміальним рівнянням четвертого порядку і становить:

$$V_{cep(III)} = 0,5 \cdot 10^{-6} x^4 - 0,0009 x^3 + 0,0223 x^2 - 0,2277 x + 1,0928. \quad (4.3)$$

Графічна інтерпретація виконаних експериментальних досліджень (рисунк 4.1) відображається кривими, які показують збільшення середньої швидкості $V_{сер(III)}$ переміщення бульбоносного пласта коливним ситом картоплекопача за кутів β в діапазоні від 9 до 21град., а потім її поступове зменшення майже за лінійною залежністю не залежно від радіуса r приводного ексцентрика коливного сита. Це пояснюється тим, що за більших кутів β грудочки ґрунту підкидуються поверхнею коливного сита на меншу висоту, рухаючись практично без відривання і таким чином вони менше перебувають у польоті, а тому повільніше рухаються коливним ситом.

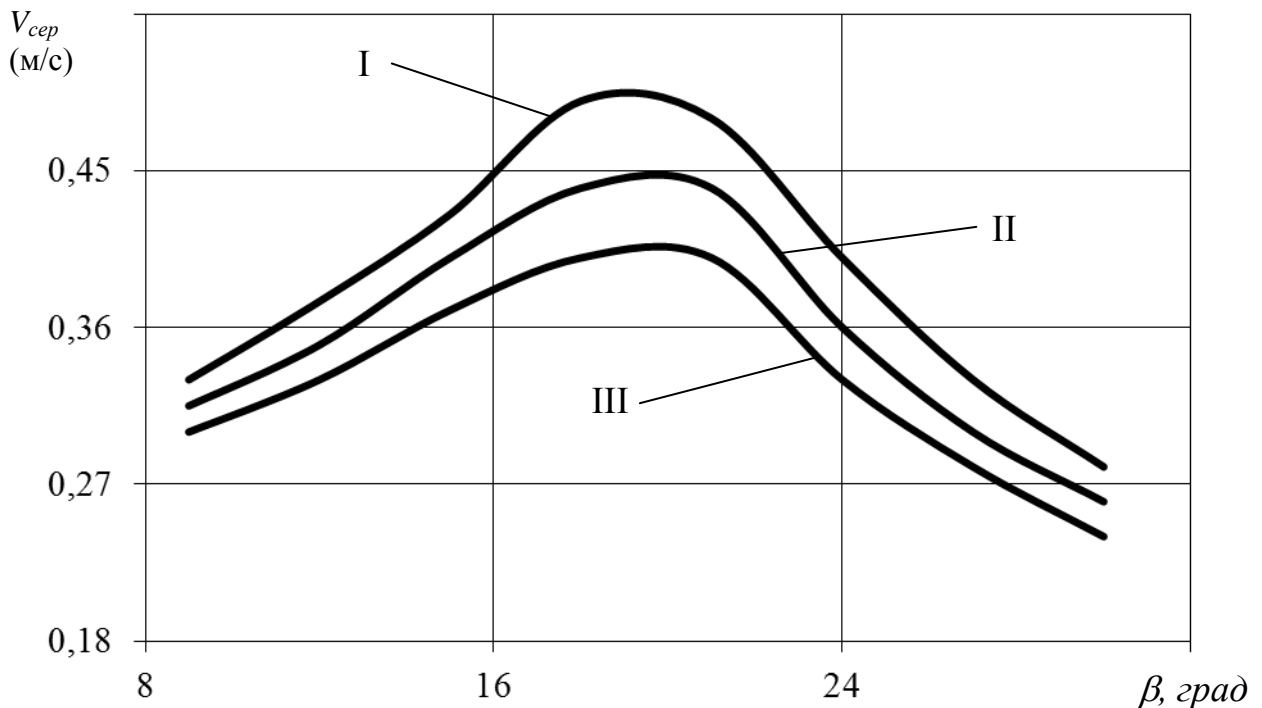


Рисунок 4.1 – Закономірності зміни середньої швидкості $V_{сер}$ (м/с) переміщення пласта (частки) поверхнею коливного сита картоплекопача від кута його встановлення β (град.) за радіуса кривошипа r (мм): (III) – 30,0; (II) – 50,0 та (I) – 70,0.

Із графіків також видно, що за радіуса ексцентрика $r=70,0$ мм максимальне значення середньої швидкості переміщення пласта (частки) поверхнею коливного сита картоплекопача становить 0,49м/с за кута встановлення коливного сита до горизонтальної площини 18град. Якщо використати ексцентрик радіусом 30,0мм, то максимальне значення середньої швидкості перемі-

щення пласта (частки) поверхнею коливного сита картоплекопача буде в межах 0,44м/с за кута $\beta = 21$ град. Поряд з цим, за кутів β понад 15-20град. бульби картоплі починають скочуватися назад, а тому це треба враховувати під час конструювання картоплекопача.

Таким чином, експериментальними дослідженнями встановлено, що для ефективної роботи коливного сита дворядного картоплекопача його кут встановлення до горизонтальної площини не повинен перевищувати 21град., а радіус приводного ексцентрика потрібно вибирати в межах 70,0мм. Це обумовлено ще й тим, що за таких параметрів приводних елементів можна буде вибирати більшу швидкість руху агрегату, продуктивність якого також буде найвищою.

4.2 Коефіцієнт сепарації ґрунтово-картопляного вороху

Експериментальними дослідженнями підтверджено залежність коефіцієнта сепарації ґрунтово-картопляного вороху від конструктивних параметрів та режимів роботи усіх складових частин (активних лемешів, ротора та коливного сита) картоплекопача, а також від ґрунтових умов, глибини залягання бульб та ін.

Результати експериментальних дослідження показали, що коефіцієнт сепарації s (%) бульб картоплі на комбінованому сепараторі дворядного картоплекопача становить у випадках кодованих (4.4) та дійсних змінних (4.5):

$$Y_1 = 186,07 \cdot 10^{-2} - 98,32 \cdot 10^{-2} X_1 + 18,37 \cdot 10^{-2} X_2 + \\ + 22,65 \cdot 10^{-2} X_1^2 + 18,12 \cdot 10^{-3} X_2^2 - 33,60 \cdot 10^{-3} X_1 X_2 ; \quad (4.4)$$

$$s = 4885,24 \cdot 10^{-3} - 35,16 \cdot 10^{-3} V_{cep} + 999,23 \cdot 10^{-3} \omega + \\ + 6,81 \cdot 10^{-5} V_{cep}^2 + 1,28 \omega^2 - 6,11 \cdot 10^{-3} V_{cep} \omega. \quad (4.5)$$

Експериментальними дослідженнями встановлено зростання коефіцієнта сепарації s з 78,11 до 91,27% (рисунок 4.2) на комбінованому сепараторі картоплекопача за зменшення переміщення середньої швидкості його поверхня-

ми ґрунтово-картопляної суміші з 0,3 до 0,2м/с в діапазоні частот коливань приводного ексцентрика коливного сита з 52,5 до 60,6с⁻¹.

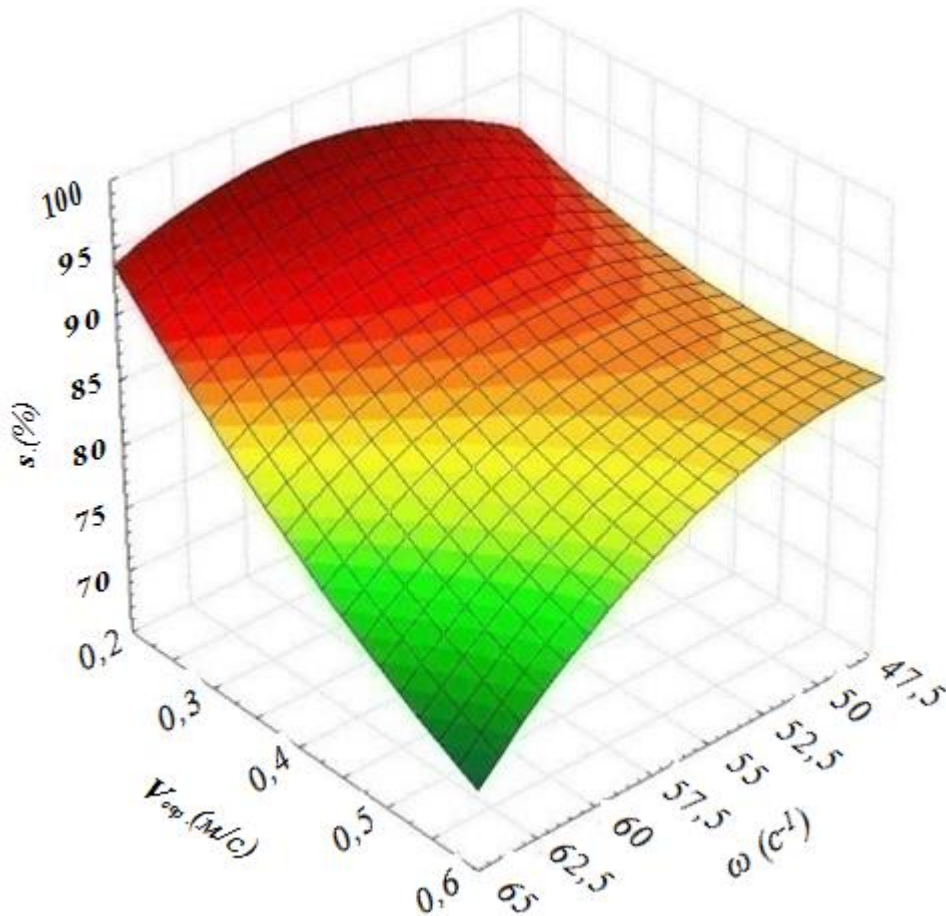


Рисунок 4.2– Залежність коефіцієнта сепарації s (%) бульб від середньої швидкості $V_{сep}$ (м/с) переміщення ґрунтово-картопляного пласта поверхнею коливного сита та частоти його коливання ω (с⁻¹) за кута нахилу $\alpha = 14$ град.

Найвищий коефіцієнт сепарації (97,26%) спостерігається за швидкості переміщення ґрунтово-картопляного вороху 0,2м/с (в межах досліджуваного діапазону) та частоті коливання сита 57,5с⁻¹. Якщо середню швидкість переміщення ґрунтово-картопляного вороху збільшити понад 0,4м/с в межах частот коливань 58,6–64,2с⁻¹ (див. рисунок 4.2), коефіцієнт сепарації s суттєво знижується, оскільки вся маса ґрунтово-картопляного вороху не встигає якісно про сепаруватися. Окрім того, в цьому випадку можливе надмірне пошкодження бульб картоплі через інтенсифікацію їх співударяння з металевими робочими поверхнями картоплекопача.

Експериментальні дослідження проводились за кута нахилу коливного сита $\alpha = 14$ град.

Висновки

1. Експериментальними дослідженнями встановлено, що за радіуса ексцентрика $r=70,0$ мм максимальне значення середньої швидкості переміщення пласта (частки) поверхнею коливного сита картоплекопача становить $0,49$ м/с за кута встановлення коливного сита до горизонтальної площини 18 град.; якщо використати ексцентрик радіусом $30,0$ мм, то максимальне значення середньої швидкості переміщення пласта (частки) поверхнею коливного сита картоплекопача буде в межах $0,44$ м/с за кута $\beta = 21$ град.

2. Експериментальними дослідженнями встановлено зростання коефіцієнта сепарації s з $78,11$ до $91,27\%$ на комбінованому сепараторі картоплекопача за зменшення переміщення середньої швидкості його поверхнями ґрунтово-картопляної суміші з $0,3$ до $0,2$ м/с в діапазоні частот коливань приводного ексцентрика коливного сита з $52,5$ до $60,6$ с⁻¹.

3. Експериментальними дослідженнями встановлено, що найвищий коефіцієнт сепарації ($97,26\%$) спостерігається за швидкості переміщення ґрунтово-картопляного вороху $0,2$ м/с (в межах досліджуваного діапазону) та частоті коливання сита $57,5$ с⁻¹; якщо середню швидкість переміщення ґрунтово-картопляного вороху збільшити понад $0,4$ м/с в межах частот коливань $58,6$ – $64,2$ с⁻¹ коефіцієнт сепарації s суттєво знижується.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Складання карти умов праці під час механізованого збирання картоплі

Для сучасного сільськогосподарського виробництва характерним є вплив на організм людини різних технічних, біологічних та інших факторів [8, 9]. З метою прогнозування цих факторів необхідно провести паспортизацію робочого місця механізатора.

Метою паспортизації санітарно-технічного стану робочого місця є виявлення усіх виробничих небезпек для розробки проектів та прийняття інженерно-технічних і організаційних рішень, спрямованих на створення безпечних і нешкідливих умов праці. Відповідно до типової ієрархічної структури сільськогосподарського виробництва одиничним елементом виробництва є робоче місце. На ньому проявляються всі небезпечні і шкідливі фактори, які діють на працюючого і визначають ефективність його виробничої діяльності. Базовим елементом паспортизації є карта умов праці, в якій представлені фактори безпеки по трьох напрямках факторів безпеки: трудовому, санітарно-гігієнічному та технічному [16].

Карта умов праці передбачає виявлення на робочому місці шкідливих і небезпечних виробничих факторів та причин їх виникнення; дослідження санітарно-гігієнічних факторів виробничого середовища, важкості й напруженості трудового процесу, комплексну оцінку факторів виробничого середовища і характеру праці на відповідність їх вимогам стандартів, норм і правил; обґрунтування віднесення робочого місця до відповідної категорії з шкідливими умовами праці, підтвердження (встановлення) права працівників на пільгове пенсійне забезпечення та інші пільги залежно від умов праці.

Карта умов праці на робочому місці становить основу санітарно-технічного паспорту виробничої ділянки.

Паспорт господарства складається з паспортів ділянок і містить додаткову характеристику засобів загальногосподарського користування, об'єкти

колективного захисту. Кожний головний спеціаліст господарства організовує обстеження умов праці і стан технічної безпеки і підпорядковані їй йому галузі. Значно зменшити об'єми робіт при паспортизації можна шляхом групування типових робочих місць.

За гігієнічною класифікацією праці та іншими джерелами визначається перелік факторів умов праці на робочому місці, для яких з нормативних документів встановлюються гранично допустимий рівень або гранично допустиму концентрацію (ГДР, ГДК), які заносять в графи 1, 2 та 3 (таблиця 5.1).

Складаємо карту умов праці робочого місця механізатора під час механізованого збирання картоплі, виконавши розрахунки окремих коефіцієнтів за наступними формулами.

Коефіцієнт нормозабезпеченості визначаємо за формулою

$$K_n = 1 \pm \frac{A_e - A_n}{A_n}, \quad (5.1)$$

де A_e – фактичне значення умов праці;

A_n – гранично допустимий рівень або концентрація.

Коефіцієнт небезпечності від дії фактора можна визначити з виразу:

$$K_{\text{оф}} = K_n \cdot T_{\text{оф}}, \quad (5.2)$$

де $T_{\text{оф}}$ – час дії фактора у частках тривалості зміни.

Коефіцієнт небезпечності від усіх факторів становить:

$$K = \frac{K_{\text{оф}}}{n}, \quad (5.3)$$

де n – кількість факторів умов праці.

Під час складання умов праці на робочому місці механізатора використовуємо дані нормативних документів:

- ДСТУ 12.1.003-83 – Шум. Санітарно-гігієнічні вимоги;
- ДСТУ 12.1.005-86 – Повітря робочої зони. Санітарно-гігієнічні вимоги;
- ДСТУ 23.00-93 – Вібрація, терміни та визначення;

– ДНАОП 0.00-1* – Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу.

Таблиця 5.1–Карта умов праці під час механізованого збирання картоплі

Фактори умов праці	Нормативне значення фактора		Фактичне значення фактора умов праці, A_B	Коефіцієнт нормозабезпечення, K_H	Час дії фактора		Коефіцієнт небезпечності	
	Гранично допустимий рівень або концентрація (ГРД, ГДК), A_H	Нормативний документ			В годинах	Частках довготривалості зміни, $T_{длб}$	Від дії фактора, $K_{дф}$	Від усіх факторів, K
1. Рівень шуму	80 дБ	ДСТУ 12.1.009-83	85 дБ	1,06	8	0,8	0,85	
2. Вібрація	0,65 м/с для 1000 Гц, 102 дБ	ДСТУ 23.00-93	0,72 м/с для 1000 Гц, 102 дБ	1,1	8	0,8	0,88	
3. Температура повітря (серпень-жовтень)	Відкриті території, +25,8°C	ДНАОП 0.00-1*	+22°C	0,85	8	0,8	0,68	
4. Пари нафтопродуктів	100 мг/м ³	ДСТУ 12.1.005-86	107 мг/м ³	1,1	8	0,8	0,88	
5. Сенсорні навантаження:								
5.1. Щільність сигналів	75%	ДНАОП 0.00-1*	80%	1,1	8	0,8	0,88	
5.2. Кількість виробничих об'єктів одночасного спостереження	5%	ДНАОП 0.00-1*	6%	1,2	8	0,8	0,96	
6. Робоча поза	Вільна	ДНАОП 0.00-1*	Перебування у фіксованій позі більше 50% часу	0,5	8	0,8	0,8	
Всього								0,85

На підставі аналізу даних табл. 5.1 можна зробити висновок, що фактичне значення умов праці механізатора під час безпосереднього викопування

картоплі картоплекопачем вібраційної дії дещо перевищують граничні показники, регламентовані відповідними нормативними документами. Особливо шкідливими є вібраційні фактори, пов'язані з технологічним процесом взаємодії робочих органів копача з ґрунтово-картопляним ворохом, під час якого на остов трактора передаються віброударні коливання від активних конструктивних елементів картоплекопача.

Шкідливими є також пари нафтопродуктів (дизельного палива, оливи гідросистеми та гідроприводу). Для запобігання шкідливої дії вказаних небезпек механізатору необхідно щогодини робити технологічні перерви на 5–10хв., вимкнувши при цьому двигун та покинувши кабінку енергетичного засобу

5.2 Оцінка рівня небезпеки виникнення аварій і травм

Методикою оцінки рівня небезпеки робочих місць, машин, робочих процесів та окремих виробництв передбачено пошук об'єктивного критерію (показника) рівня небезпеки для конкретного об'єкта. Таким показником вибрана ймовірність виникнення аварій, травм або катастроф залежно від досліджуваного явища.

Для того щоб оцінку рівня небезпек певного об'єкта чи явища запровадити на виробництві, необхідний простий і доступний метод обчислення значень ймовірності будь-кого випадкового явища [18]. Основні принципи цього методу полягають у тому, що на основі обстеження робочого місця чи окремої машини виявляють виробничі небезпеки, можливі аварії або травмонебезпечні ситуації. При оцінці ситуацій визначають події, які можуть стати головними.

Після вибору головної події розпочинають побудову моделі. Використовуючи оператори „і” та „або”, виконують набір ситуації, які можуть призвести до тієї події, яка вибрана як головна.

Після визначення відповідних аварійних, травмонебезпечних або катастрофічних ситуацій та їх кількості, визначають інші події, що входять до ко-

жної такої ситуації, логічним аналізом із використанням операторів „і”, „або”. Процес побудови моделі триває поки не будуть знайдені усі базові події, що визначають межу моделі.

Повністю побудована модель підлягає математичній обробці для визначення ймовірності кожної випадкової події, що увійшла до моделі, починаючи з базових і закінчуючи головною.

Ймовірність базових подій визначають за даними виробництва. Для визначення ймовірності ми повинні встановити наскільки (%) від ідеального рівня здійснюється відповідний контроль. Якщо буде встановлено, що такий рівень контролю становить 50 або 30%, то ймовірність відповідно дорівнює 0,5 і 0,3. При відсутності контролю ймовірність становить 1, якщо контроль ідеальний, відповідна ймовірність дорівнює 0.

1. Нехай дві базові події з ймовірностями P_1 і P_2 за допомогою оператора „і” входять у наступну третю подію. Тоді ймовірність виникнення цієї події P_3 можна визначити за формулою

$$P_3 = P_1 \cdot P_2.$$

2. За допомогою оператора „і” три події з ймовірностями P_1 , P_2 і P_3 формують четверту подію P_4 , яку обчислюють

$$P_4 = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3.$$

3. Оператор „і” об’єднує n подій з ймовірностями $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$. Тоді ймовірність вихідної події P буде

$$P = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot \dots \cdot P_n.$$

4. Дві базові події з ймовірностями P_1 і P_2 за допомогою оператора „або” входять до третьої події. Тоді ймовірність P_3 буде

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2.$$

5. Оператор „або” об’єднує три базові події з ймовірностями P_1, P_2 і P_3 , які за допомогою цього оператора входять у наступну подію з ймовірністю P_4 . Тоді ймовірність цієї події можна визначити за формулою

$$P_4 = P_1 + P_2 + P_3 - P_1 \cdot P_2 - P_1 \cdot P_3 - P_2 \cdot P_3 + P_1 \cdot P_2 \cdot P_3.$$

6. Якщо в оператора „або” входять чотири і більше випадкових базових подій з відомими значеннями ймовірностей, то для спрощення обчислень їх згруповують по дві або по три події і застосовують наведені формули. Після визначення ймовірностей вихідних подій кожної з таких груп, їх знову необхідно згрупувати і провести аналогічні обчислення аж поки не залишиться дві або три події, над якими необхідно провести ті ж операції.

Так, поступово обчислюють ймовірність вихідних подій кожного окремого розгалуження, наближаємось до головної події і обчислюємо ймовірність її виникнення.

Значення ймовірності головних подій, що досліджуються, нажаль, не можна порівняти з нормативними значеннями певного ступеня ризику для певної людино – машинної системи, бо таких даних просто не існує. Але значення ймовірностей тієї чи іншої події, обчислені при дослідженні конкретної моделі, дає уяву про високу, середню і незначну небезпеку.

Для проведення обчислень ймовірності травми використаємо логіко – імітаційну модель процесу її формування (рисунок 5.1):

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2 = 0,2.$$

$$P_6 = P_4 + P_5 - P_4 \cdot P_5 = 0,2.$$

$$P_7 = P_3 + P_6 - P_3 \cdot P_6 + P_3 \cdot P_6 = 0,32.$$

$$P_{10} = P_8 + P_9 - P_8 \cdot P_9 = 0,2.$$

$$P_{13} = P_{11} + P_{12} - P_{11} \cdot P_{12} = 0,2.$$

$$P_{14} = P_{10} + P_{13} - P_{10} \cdot P_{13} + P_{10} \cdot P_{13} = 0,32.$$

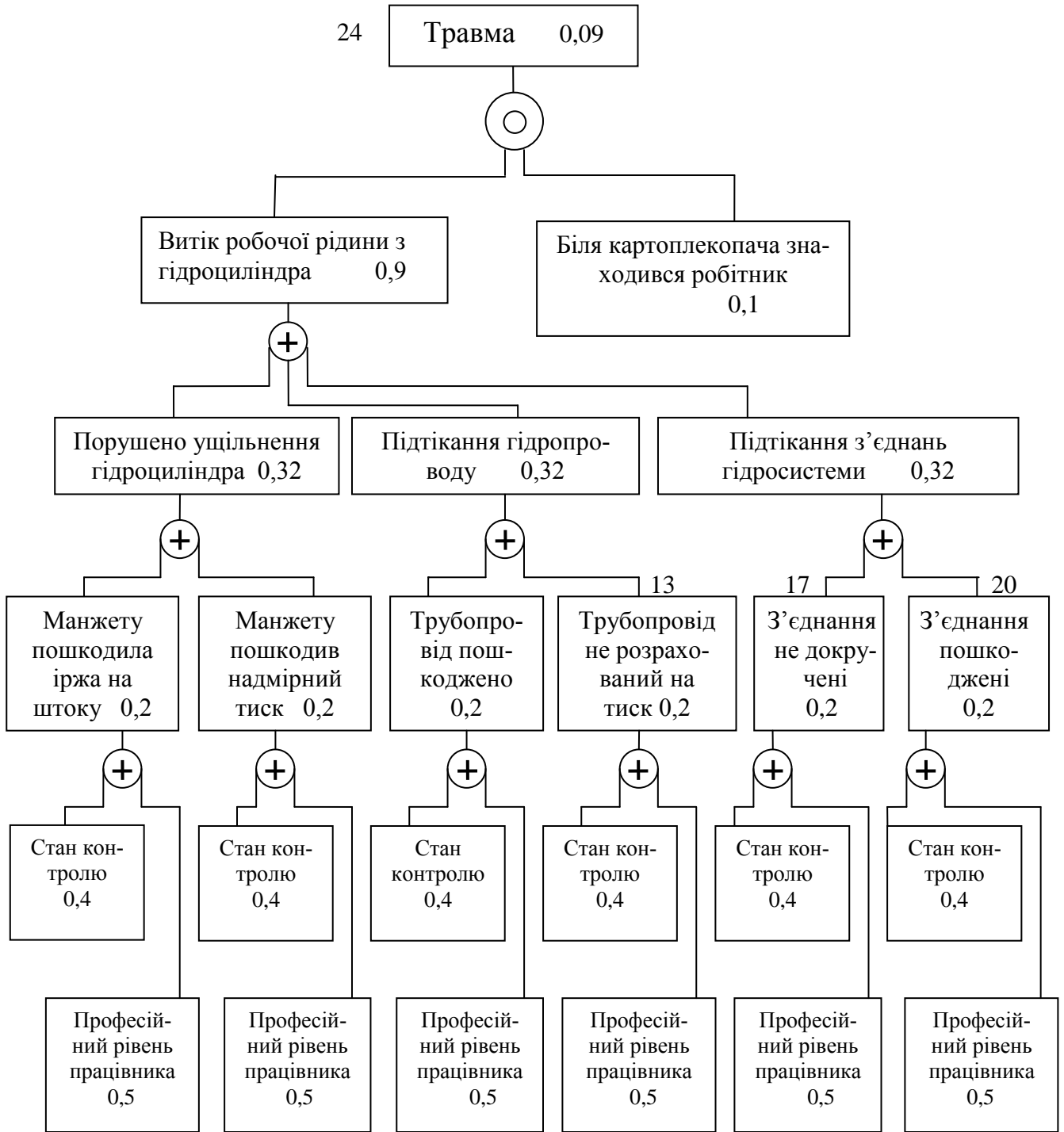
$$P_{17} = P_{15} + P_{16} - P_{15} \cdot P_{16} = 0,2.$$

$$P_{20} = P_{18} + P_{19} - P_{18} \cdot P_{19} = 0,2.$$

$$P_{21} = P_{17} + P_{20} - P_{17} \cdot P_{20} + P_{17} \cdot P_{20} = 0,32.$$

$$P_{23} = P_7 + P_{14} + P_{21} - P_7 \cdot P_{14} \cdot P_{21} = 0,9.$$

$$P_{24} = P_{23} \cdot P_{22} = 0,09.$$



Оператори:



Рисунок 5.1 – Схема логіко-імітаційної моделі процесу виникнення травм при технічному обслуговуванні картоплекопача збирального агрегату:

1, 2, 3 – номери подій; 0,3; 0,4 – ймовірність подій.

Таким чином, на робочому місці під час технічного обслуговування картоплекопача, начепленого на гідравлічну систему начіпки енергетичного засобу за наявності тих недоліків з охорони праці, які відображені у базових подіях на 100 таких місць, можна очікувати 9,0 травм. Якщо зазначені недоліки негайно усунути (підвищити професійний рівень робітників, поліпшити контроль та замінити пошкоджені елементи гідроприводу), то можна побачити на моделі, шляхом повторного розрахунку, що рівень небезпеки буде наближатися до 0, а рівень безпеки до 1.

Слід мати на увазі, що на даному робочому місці можуть бути й інші недоліки, зокрема обслуговування картоплекопача без вимкнення ВВП трактора і працюючому двигуні, які призведуть до травми з інших причин.

Використання логіко-імітаційних моделей для дослідження аварій і травм та обґрунтування заходів з охорони праці, дають можливість знизити ймовірність виникнення аварійних та травмонезбезпечних ситуацій. Якщо необхідно оцінити рівень небезпеки робочого місця, слід уважно вивчити і побудувати логічні моделі можливих небезпечних ситуацій, які враховують усі стани обладнання та самого робочого місця, а також поведінку механізатора і розрахувати ймовірність виникнення можливих травм.

6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ КАРТОПЛЕКОПАЧА

Економічна ефективність використання картоплекопача, обладнаного комбінованим сепарувальним робочим органом оцінювалась з базовим агрегатом (картоплекопачем КТН-2Б серійного виробництва, агрегатованого з енергетичним засобом класу 1,4).

Основним критерієм економічної ефективності від покращання технічних і технологічних параметрів машини є економічний ефект [21, 23]. Його визначають як різницю між отриманими показниками використання запропонованого картоплекопача і їх чинними значеннями на даний момент для базової моделі.

Дослідження економічної ефективності використання картоплекопача з комбінованими сепарувальними робочими органами на основі методики розрахунку ефективності спеціалізованої сільськогосподарської техніки [1, 26].

Прямі питомі експлуатаційні затрати визначаються за формулою

$$I = Z_n + A + R + P + Z_{зб}, \quad (6.1)$$

де Z_n – сума заробітної плати механізаторів і допоміжних працівників, грн./га;

A – амортизаційні відрахування, грн./га;

R – відрахування на ремонт і технічне обслуговування, грн./га;

P – вартість паливно-мастильних матеріалів, грн./га;

$Z_{зб}$ – відрахування на зберігання, грн./га.

Відрахування на зарплату визначаються з виразу

$$Z_n = \sum (n_i \tau_i k_i) / W_{зм}, \quad (6.2)$$

де n_i – чисельність i -го виробничого персоналу, чол.;

τ_i – годинна тарифна ставка працівників, грн./год;

k_i – коефіцієнт, що враховує всі види доплат і нарахувань;

$W_{зм}$ – продуктивність агрегату за годину змінного часу, га/год.

Амортизаційні відрахування всіх складових агрегату визначаються з виразу:

$$A = \Sigma (B_i a_i / (W_{зм} T_{ф.р.і})), \quad (6.3)$$

де B_i – балансова вартість i -ої складової агрегату та допоміжного обладнання, грн.;

a_i – коефіцієнт відрахувань на реновацію;

$T_{ф.р.і}$ – тривалість фактичного річного використання складових МТА, год.

Відрахування на ремонт і технічне обслуговування визначаються за формулою

$$R = \Sigma (B_i (p_i + \kappa_i) / (W_{зм} T_{н.р.і})), \quad (6.4)$$

де p_i – коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування i -ої складової агрегату;

κ_i – коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт трактора або складних самохідних машин;

$T_{н.р.і}$ – нормативне річне завантаження i -ої складової агрегату, год.

Вартість паливно-мастильних матеріалів визначається з виразу

$$\Pi = GЦ / W_{зм}, \quad (6.5)$$

де G – витрата паливно-мастильних матеріалів, кг/год;

$Ц$ – комплексна вартість нафтопродуктів, грн./кг.

Витрати на зберігання машин визначаються виходячи із затрат на їх консервацію та підготовку до використання й приймаються в межах 6,5 % від витрат на ремонти і технічне обслуговування, тобто

$$З_{зб} = 0,065 R. \quad (6.6)$$

Капітальні вкладення на одиницю напрацювання становлять:

$$K = \Sigma (B_i / (W_{зм} T_{н.р.і})). \quad (6.7)$$

Затрати праці на виконання виробничого процесу

$$З_{зб} = \Pi_o / W_{зм}, \quad (6.8)$$

де P_o – чисельність обслуговуючого персоналу, чол.

Зведені затрати знаходяться за формулою:

$$Z = I + E \sum (B_i / (W_{zm} T_{n.p.i})), \quad (6.9)$$

де E – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень.

Річний економічний ефект від експлуатації нової машини E_m визначається за формулою:

$$E_m = (Z_{\bar{o}} - Z_n) B_p, \quad (6.10)$$

де $Z_{\bar{o}}$, Z_n – зведені затрати на одиницю напрацювань для базової та модернізованої машини, грн./га.;

B_p – річне напрацювання модернізованої машини, га.

Річну економію (перевитрату) прямих і зведених затрат, робочої сили та капіталовкладень виражають через ступінь зміни C у відсотках:

$$C = 100(Z_{p\bar{o}} - Z_{pn})/Z_{p\bar{o}}, \quad (6.11)$$

де $Z_{p\bar{o}}$, Z_{pn} – річні затрати (праці, капітальних вкладень, прямих та зведених витрат) відповідно для базової та модернізованої машин.

Вихідні дані для проведення досліджень економічних показників вибирались на основі найсприятливіших умов використання запропонованої конструкції картоплезбиральної машини, на підставі яких була визначена його продуктивність. Картоплезбиральний агрегат обслуговували вісім допоміжних працівників (для базової моделі необхідно 12). Ціна техніки вибиралась на основі рекламної інформації заводів-виготовлювачів станом на 1.11.2024р.; годинні тарифні ставки обслуговуючого персоналу визначались з умови отримання середньої заробітної плати в межах 18000 грн.

Отримані результати експериментальних досліджень і проведених за формулами (6.1)–(6.11) розрахунків (табл. 6.1) свідчать про доцільність використання конструкції дворядного картоплекопача з комбінованими підкопувально-сепарувальними робочими органами.

Таблиця 6.1–Економічна ефективність використання картоплекопача

Показники	КІЙ 14820 + КТН-2Б	КІЙ 14820 + досліджуваний копач
1	2	3
Річне напрацювання, га	29,4	35,83
Прямі затрати, грн./га на:		
- оплату праці	883,67	759,65
- паливно-мастильні матеріали	1043,90	910,85
- ТО, поточний і капітальний ремонт	1391,16	1046,88
- реновацію	977,89	730,99
- інші прямі затрати	90,43	68,04
- всього прямих затрат	4387,05	3516,87
Капітальні вкладення, грн.	7823,13	5847,85
Зведені затрати, грн.	5562,15	4393,46
Річний економічний ефект від експлуатації модернізованої машини, грн.	-	11413,56
Економічний ефект від виробництва і використання за строк служби модернізованої машини, грн.	-	41503,18
Затрати праці, люд. год/га	1,02	0,87
Річна економія праці, люд. год	-	1,40
Зменшення (%):		
- затрат праці	-	14,03
- прямих затрат	-	19,84
- зведених затрат	-	20,98
- капітальних вкладень	-	25,25
Термін окупності, років	-	2,43

Річний економічний ефект від використання конструкції дворядного картоплекопача з активним лемешем і роторно-коливним сепаратором становить 11413,56грн., а у випадку використання його за весь термін експлуатації – 41503,18грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Переважне застосування під час збирання картоплі мають комбайновий та механізований (частково механізований) способи, за яких відбувається викопування одного-двох рядків картоплі та їх сепарація.
2. Аналіз конструкцій сепарувальних робочих органів картоплезбиральних машин (комбайнів) показав, що для отримання чистої картоплі слід інтенсифікувати дію на неї робочих органів машин, водночас, таке рішення супроводжується надмірним пошкодженням бульб картоплі.
3. Підвищити ефективність збирання картоплі доцільно створенням малогабаритних картоплекопачів, робочі органи яких матимуть комбіновану дію на ґрунтово- картопляний ворох, інтенсифікуючи процес сепарації вже під час підкопування пласта.
4. На основі теоретичних досліджень отримано системи диференціальних рівнянь (2.27) та (2.29), які дають змогу з певними наближеннями розрахувати тривалість перебування у польоті підкинутої решетом вібраційного коливного сита частинки m картопляного вороху з врахуванням початкової швидкості u_0 її польоту..
5. Аналітичними дослідженнями встановлено, що раціональними конструктивно-кінематичними параметрами сепаратора малогабаритного картоплекопача є радіус його ротора за вершинами пальців $R = 0,18\text{м}$, крок між якими становить $0,16\text{м}$ і вони розставлені у шість рядів та частота його обертання $n = 77\text{об/хв}$.
6. Теоретичними дослідженнями встановлено, що із збільшенням радіуса приводного ексцентрика в межах $0,03\text{--}0,08\text{м}$ частота коливань вібраційного сита зменшується з $68,6\text{с}^{-1}$ до $42,2\text{с}^{-1}$ (за кута між напрямком коливань і площиною решета коливного вібраційного сита $\beta=14$ град.).
7. Експериментальними дослідженнями встановлено, що за радіуса ексцентрика $r=70,0\text{мм}$ максимальне значення середньої швидкості переміщення пласта (частки) поверхнею коливного сита картоплекопача становить

0,49м/с за кута встановлення коливного сита до горизонтальної площини 18град.; якщо використати ексцентрик радіусом 30,0мм, то максимальне значення середньої швидкості переміщення пласта (частки) поверхнею коливного сита картоплекопача буде в межах 0,44м/с за кута $\beta = 21$ град.

8. Експериментальними дослідженнями встановлено зростання коефіцієнта сепарації s з 78,11 до 91,27% на комбінованому сепараторі картоплекопача за зменшення переміщення середньої швидкості його поверхнями ґрунтово-картопляної суміші з 0,3 до 0,2м/с в діапазоні частот коливань приводного ексцентрика коливного сита з 52,5 до 60,6с⁻¹.
9. Експериментальними дослідженнями встановлено, що найвищий коефіцієнт сепарації (97,26%) спостерігається за швидкості переміщення ґрунтово-картопляного вороху 0,2м/с (в межах досліджуваного діапазону) та частоті коливання сита 57,5с⁻¹; якщо середню швидкість переміщення ґрунтово-картопляного вороху збільшити понад 0,4м/с в межах частот коливань 58,6–64,2с⁻¹ коефіцієнт сепарації s суттєво знижується.
10. Виконані розрахунки вказують на те, що річний економічний ефект від використання конструкції дворядного картоплекопача з активним лемешем і роторно-коливним сепаратором становить 11413,56грн., а у випадку використання його за весь термін експлуатації – 41503,18грн.; термін окупності додаткових капіталовкладень становить 2,43 року.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Бендера І.М., Грубий В.П., Роздорожнюк П.І. та ін. Експлуатація машин та обладнання. Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин Я.І. 2013. 576 с.
2. Василенко П.М. Основи аналітичних методів землеробської механіки. Київ.: Видавництво НАУ, 1998. 29 с.
3. Вітенко В.А. Картопля. Київ. Урожай, 1990. 123 с.
4. Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В., Іщенко В.В., Дубровін В.О., Онищенко В.Б., Волянський М.С., Мартишко В.М., Погорілець О.М., Ямков О.В., Барановський В.І., Щевченко В.І., Борхаленко Ю.О. Сільськогосподарські машини: підручник. Київ: Агроосвіта, 2015. 679 с.
5. Войтюк Д.Г., Яцун С.С., Довжик М.Я. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: навчальний посібник. Суми : ВТД «Університетська книга». 2008. 543 с.
6. Войтюк Д.Г., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник. Київ. Вища освіта, 2004. 544 с.
7. Грушецький С.М. Обґрунтування конструкції і параметрів лемішно-полицевого картоплекопача з барабанним сепаратором картопляного вороху. Автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.05.11 Вінниця: Вінницький державний аграрний університет, 2008. 22 с.
8. Жидецький В.Ц., Джигерей В.С., Сторожук В.М. та ін. Практикум з охорони праці: навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 352 с.
9. Іванух Р.А. Охорона і раціональне використання природно-ресурсного потенціалу сільського господарства. Київ. Урожай, 1985. 286 с.
10. Картоплезбиральний комбайн Е-686. URL: <https://agro7group.ru/spetstechnika/kartofeleuborochnyj-kombajn-e-686.html> (дата звернення: 31.10.2024).
11. Картоплезбиральний комбайн КПК-3. URL: <http://www.samaragd.ru/tovar/kartofeleuborochnyiy-kombayn-kpk-3-01/> (дата звернення: 31.10.2024).

12. Картоплезбиральні комбайни Grimme. URL: <https://agronetto.com.ua/-/kartoplezbiralni-kombayni/Grimme/SE--c259tm2935m2282> (дата звернення: 31.10.2024).

13. Картоплекомбайни: 5 брендів. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/1003-kartoplekombainy-5-brendiv.html> (дата звернення: 31.10.2024).

14. Конанученко В.В., Козаченко Б.О. Механізація виробництва картоплі: Довідник. Київ. Урожай, 1991. 176 с.

15. Книженко П.М. Індустріальна технологія виробництва картоплі. Київ. Урожай, 1986. 242 с.

16. Купчик М.П., Гандзюк М.П., Степанець І.Ф. та ін. Основи охорони праці. Київ. Основа, 2000. 416 с.

17. Павловський М.А. Теоретична механіка: Підручник. -2-ге вид., стереотип. Київ. Техніка, 2004. 512 с: іл.

18. Пістун І.П., Тимочко В.О., Городецький І.М., Березовецький А.П. Охорона праці (гігієна та виробнича санітарія) . Львів «Тріада плюс», 2015. 224 с.

19. Рибарук В.Я., Ріпка І.І. Сільськогосподарські машини: Практикум з розрахунку і досліджень робочих процесів. Львів: ЛДАУ. 1998. 264 с.

20. Рудь А.В., Бендера І.М., Войтюк Д.Г. та ін. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва: підр. У 2 т.: Т1. Київ. Агроосвіта, 2012. 584 с.; іл.

21. Сидорчук О.В. Інженерний менеджмент в АПК. Львів: Львів. держ. агр. ун-т, 2005. - 87с.

22. Смолінський С.В. Обґрунтування конструкції і параметрів спірального сепаратора картопляного вороху. Автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.05.11 Київ: Національний аграрний університет, 2002. 21 с.

23. Сосновська О.О., Ярошенко П.П., Іванюта М.В. Техніко-економічне обґрунтування господарських рішень у рослинництві. Навчальний посібник. Київ. Центр навчальної літератури. 2006. 384 с.

24. Ткачук В.С. Обґрунтування технологічних параметрів ротаційно-вібраційного сепаратора картоплезбиральної машини. Автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.05.11 Мелітополь: Таврійська державна агротехнічна академія, 2001, 21 с.

25. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: Навчальний посібник. Київ: НМК ВО, 1992. 320 с.

26. Шевчук Р.С., Крупич О.М. Економічна оцінка спеціалізованої сільськогосподарської техніки: *Метод. рекомендації* Львів. ДАУ. Львів, 1994. 27 с.