МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра процесів, машин і обладнання в агроінженерії

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

БУРКОВСЬКИЙ ВІТАЛІЙ ІГОРОВИЧ

УДК 631.3.02

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ СЕПАРАЦІЇ КАРТОПЛЯНОГО ВОРОХУ

208 “Агроінженерія”
Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____В. І. Бурківський

Керівник роботи
Заєць М. Л.
кандидат технічних наук

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Бурковський Віталій Ігорович. Обґрунтування параметрів робочих органів сепарації картопляного вороху. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

Низький рівень ефективності та загальної якості при використанні картоплезбиральних машин у складних умовах обумовлює актуальність задачі, яка стоїть перед дослідженнями технологічно передового обладнання та робочих органів. Дана робота спрямована для обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів розподільника-сепаратора V-подібного типу, який безпосередньо діє на підкопаний картопляний ворох з метою підвищення сепарації картоплезбиральної машини.

Розрахунки, проведені на основі отриманих теоретичних залежностей, дозволяють визначити оптимальну швидкість проходження вороху, використовуючи такі конструктивні та кінематичні параметри: швидкість елеватора $V_{ел}$ = 2,2 м/с, ширина смуги на елеваторі A = 0,3 м, висота полиці розподільника hv = 0,25 м, зазор між елеватором і розподільником Δ = 0,1 м, конструкційна ширина елеватора $b_{ел}$ = 1,4 м. Допустима швидкість переміщення відвалу становитиме [V] = 1,45 м/с, що забезпечить виконання умови не забивання перед розподільником. Аналіз отриманих під час роботи залежностей показує, що раціональні значення кута установки полиці розподільника знаходяться в діапазоні α = 35...45°.

Ключові слова: сепарація, картоплезбиральна машина, картопляний ворох, моделювання, конструкційні параметри.

SUMMARY

Vitaly Burkovsky. Substantiation of parameters of working bodies of potato heap separation. - Qualification work on the rights of the manuscript. Qualifying work for a master's degree in 208 Agroengineering. - Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

The low level of efficiency and general quality when using potato harvesters in difficult conditions determines the urgency of the task facing the research of technologically advanced equipment and working bodies.

This work is aimed at substantiating the design and technological parameters of the distributor-separator V-type, which directly acts on the dug potato heap in order to increase the separation of the potato harvester.

Calculations based on the obtained theoretical dependences allow to determine the optimal speed of the heap, using the following design and kinematic parameters: elevator speed Vel = 2.2 m / s, bandwidth at the elevator A = 0.3 m, the height of the distributor shelf hv = 0.25 m, the gap between the elevator and the distributor $\Delta = 0.1$ m, the structural width of the elevator bel = 1.4 m. The allowable speed of the dump will be [V] = 1.45 m / s, which will ensure that the condition of not clogging before distributor. Analysis of the dependences obtained during operation shows that the rational values of the angle of installation of the shelf of the distributor are in the range $\alpha = 35 ... 45$ °.

Key words: separation, potato harvester, potato heap, modeling, construction parameters.

ЗМІСТ

ВСТУП.....5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ МЕХАНІЗМІВ СЕПАРАЦІЇ КАРТОПЛЕВМІСНОГО ГРУНТОВОГО ВОРОХУ
1.1 Сепараційні механізми картоплезбиральних машин.....7
1.2. Сучасні комбайни та копачі.....12
Висновки до розділу 1.....15
РОЗДІЛ 2. ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ СЕПАРАЦІЇ КАРТОПЛЯНОГО ВОРОХУ
2.1. Проектування парамтрів сепаратора вороху.....17
2.2. Розрахунок конструкційно-технологічних парамтрів сепаратора вороху...19
Висновки до розділу 2.....26
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ СИСТЕМИ СЕПАРАЦІЇ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ
3.1. Дослідження кінематичних параметрів сепаратора 27
Висновки до розділу 3.....31
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....33
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....34

ВСТУП

Актуальність теми. Як відомо, якість сепарації коренеплодів, зокрема, картоплі залежить насамперед від умов вирощування. Як правило, ці культури вирощують на механічно легких ґрунтах з метою покращення якості сепарації, а також для зниження тягового опору комбайна при витягуванні коренеплодів із ґрунту.

При збиранні коренеплодів дуже важливо підтримувати ґрунт у пухкому (легкому) стані для покращення якості сепарації. У зв’язку з тим, що при викопуванні коренеплодів відбувається спільне надходження великих ґрунтових грудок до сепаруючих робочих органів, які важко відокремлюються на щілинних робочих органах комбайна, що збільшує пошкодження коренеплодів при взаємодії з грудками ґрунту товарна якість продукції згодом погіршується.

Існуючі робочі органи картоплезбиральних машин пошкоджують плоди внаслідок взаємодії бульб картоплі між собою, з робочими органами та з грудками ґрунту. Проте найбільший відсоток пошкодження бульб картоплі відбувається в результаті їх взаємодії з сепараційними робочими органами машини, в силу різних кінематичних показників роботи.

Проведені дослідження з метою визначення місць найбільшого впливу окремих робочих органів картоплезбиральних машин та проведення подальших заходів щодо усунення цих негативних впливів у конструкції комбайнів та машин.

Мета роботи: підвищення ефективності процесу сепарації картопляного вороху шляхом обґрунтування параметрів робочих органів картоплезбиральних машин .

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз конструкцій сепараційних робочих органів машин;

- обґрунтувати основні конструкційно-кінематичні параметри систем очистки бульб від ґрунту;

- провести дослідження впливу зміни конструкційно-кінематичних параметрів на якість продукції.

Об'єкт дослідження - технологічний процес сепарації картоплевмісного шару ґрунту.

Предмет дослідження – взаємозв'язок конструкційно-кінематичних параметрів та якісних показників.

Методи виконання роботи. Робота виконувались із використанням методів механіко-математичного моделювання, теорії руху матеріалу по робочих поверхнях, числові методи розв'язку задач із застосуванням ПЕОМ.

Перелік публікацій автора за темою роботи:

1. Бурковський В.І. Розрахунок транспортуючих пристроїв картоплезбиральних машин / В. І. Бурковський, М. Л. Заєць // Студентські читання – 2021: Матеріали науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики «Студентські читання – 2021». 20 травня 2021 р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 39-41.

2. Бурковський В.І. Дослідження руху картопляного вороху при коливаннях сепаратора / В. І. Бурковський, М. Л. Заєць // Студентські читання – 2021: Матеріали науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики «Студентські читання – 2021». 15 листопада 2021 р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 15-20.

3. Заєць М.Л. Аналіз конструкцій механізмів сепарації ґрунтового вороху / М. Л. Заєць, В. І. Бурковський// Зб. Тез *VII Всеукраїнської науково-практичної конференції* «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» 31 березня 2021 р. Житомир: ЖАТК, 2021. С.147-150.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 12 найменування. Загальний обсяг роботи становить 35 сторінок комп'ютерного тексту, 16 рисунків.

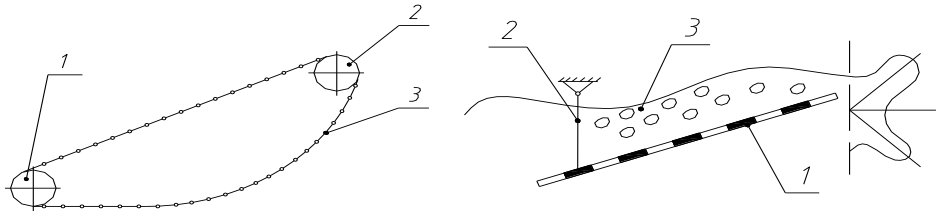
РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ МЕХАНІЗМІВ СЕПАРАЦІЇ КАРТОПЛЕВМІСНОГО ГРУНТОВОГО ВОРОХУ

1.2 Сепараційні механізми картоплезбиральних машин

Сепараційні механізми сучасних картоплезбиральних машин повинні відповідати наступним вимогам: високій продуктивності основних робочих органів, висока ступінь сепарації ґрунту, мінімальним втратам та механічним пошкодженням бульбоплодів (2…3 % згідно АТВ), підвищеній протидії до злипання і забивання робочих органів і механізмів при роботі з вологими ґрунтами та засмічених рослинними рештками [1, с. 45]. Сепараційні механізми повинні мати достатню, високу продуктивність та експлуатаційну надійність і не складну конструкцію. З метою зменшення габаритних розмірів машин та їхньої маси, бажано також, щоб робочі органи комплексно виконували сепарацію і транспортування бульб до точки накопичення.

У картоплезбиральних машинах використовують сепараційні механізми різного типу, які встановлені за різними кінематичними схемами, але основою сепараційних робочих органів картоплекопачів та комбайнів є пруткові елеватори (рис. 1.1. а), грохоти з коливним рухом (рис. 1.1.б).

Перевагою пруткового елеватора є простота конструкції і здатність одночасної сепарації та транспортування маси вверх при куті нахилу 20…25^0.



а) б)

Рис. 1.1. Механізми та робочі органи для сепарації картопляного вороху

а) прутковий транспортер: 1 – ведений вал; 2 – ведуча зірочка; 3 – полотно елеватора. б) грохот з коливним рухом 1 – решето; 2 – важіль; 3 – ворох.

Картоплезбиральна машина на відміну від стаціонарних, повинна рухатись по нерівній поверхні рельєфу поля, що обумовлює зміну її горизонтального положення. Нахил копача чи комбайна в сторони, вперед чи назад, впливає на зміну кінематики руху шару ґрунтового вороху, під час руху по сепараційним органам. Транспортерний тип сепараторів найменш піддається таким змінам положення машини.

Поряд з цим дані елеватори мають і недоліки: велика площа поверхні тертя, що викликає швидке спрацювання деталей, які працюють в абразивному середовищі; висока енергетична складова приводу елеватора і значна металоємкість це обумовлено тим, що площа сепарації пруткового транспортера складає < 40 % загальної площі стрічки; забивання проміжків між прутками полотна при роботі з вологими ґрунтами.

Сепараційні поверхні (грохоти) класифікують за кінематикою руху решета: нерухомі; рухомі (пруткові елеватори, вальцеві грохоти); барабанно-обертові; з точковими вібраційними ситами; плоскі з поперечним і повздовжнім коливанням і несиметричною швидкісною характеристикою; плоскі з поздовжніми коливаннями і симетричною швидкісною характеристикою, які є найбільш розповсюдженні. За режимом руху грохоти цієї групи класифікуються: коливні, вібраційні і напіввібраційні [1, с. 124, 2, с. 112].

Коливні системи з повздовжнім коливанням і симетричною швидкісною характеристикою переважають, їх використовують у гірничій, вугільній галузях, а також у коренезбиральних машинах. Грохоти такої конструкції мають можливість заміни решіт, регулювання відстаніь між прутками в межах (10…200 мм). Для прикладу: для регулювання відстані прутковою елеватора необхідні різні транспортери з привідними ланцюгами різного кроку, комплект зірочок і виконання повного демонтажу та монтажу.

Перевагою грохота є те, що у комбінації із лемішем, він може використовуватись, як активний робочий орган. Недоліком коливних грохотів складність зрівноваження сил інерції, що виникають при зворотно-поступальному русі грохота; незрівноважені сили викликають вібрації конструкції і додаткові внутрішні напруження [3, с. 7-6, 4, с. 148]. У грохотів, в які рухаються по обертовій траєкторії, відсутній цей недолік, однак перешкодою для них є піднімання маси вверх, через це використання їх у коренезбиральних машинах обмежене.

У ранніх конструкціях картоплезбиральних машин широке застосування знаходили сепаратори-барабани, які вирізняються надійністю у роботі і стійкістю до спрацювання; їхньою перевагою є відсутність незрівноважених сил інерції і можливість переміщення вороху на велику висоту. Але барабан-сепаратор часто піддається забиванню рослинними рештками і вологим ґрунтом, і як наслідок, падає сепараційна здатність.

Вальцеві грохоти теж утворюють великий клас сепараторів. Це набір паралельно розміщених вальців, які обертаються в однаковому напрямку, на які встановлені диски чи кулачки різної геометричної форми. Перевагою даних вальців-сепараторів є відсутність інерційних сил і місць інтенсивного зношення [3, с. 5].

Заслуговують на увагу сепаратори прутково-клавішні (рис. 1.2. а), який виконаний з двох частин пруткових клавіш, встановлених під кутом 22° з відстанню між прутками 30 мм. За рахунок колінчастого вала і різних кінематичних режимів роботи картопляний ворох рухається по східцях вгору на перебиральний стіл. Поступальний рух матеріалу вгору по клавішному сепаратору здійснюється за рахунок того, що бульба, яка знаходиться у нижній частині рівня однієї з секції, при її русі вниз переміщається на слідкуючий рівень інших секції, здійснюючи вданий момент часу рух вгору. Швидкість

переміщення маси при 80…100 об/хв колінчатих валів дорівнює 0,48 м/с [1, с.86, 2, с. 114].

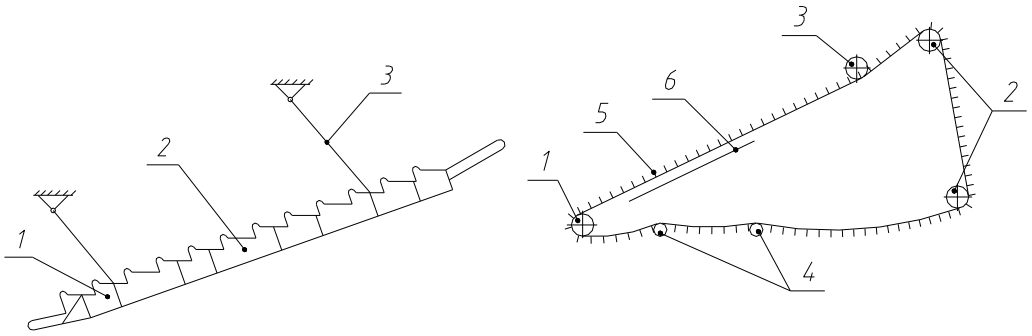


Рис. 1.2. Сепараційні механізми:

а) прутково-клавішний сепаратор: 1 – перша секція пруткових клавіш; 2 – друга секція пруткових клавіш; 3 – підвіска. б) скребковий транспортер:1 – ведений ролик; 2 – ведучий ролик; 3–натяжний ролик; 4 – підтримуючий ролик; 5 – скребковий транспортер;6 – решітка.

Переміщення картоплевмісного вороху досить якісно проводять скребкові транспортери у тандемі з колосниковою решіткою (рис. 1.2.б). Основне відділення ґрунту у системі відбувається на приймальній ділянці скребкового транспортера, який має наступну будову: скребковий елеватор, прикріплений до ланок привідного ланцюга, який переміщає масу нерухомою решіткою, де і відбувається сепарація вороху. Під час переміщення вороху проходить часткове фрезерування і руйнування склепінь та грудок. Прутки решітки нерухомо закріплені у передній та боковій планці транспортера. У приймальній частині прути встановлено паралельно під кутом 45^0 до осьової лінії елеватора. Довжина прутків нерівна, лівий і правий кінці встановлені з перекриттям [1, с. 23].

Аналізуючи роботу транспортерів вороху, жоден із наведених типів для сепарації картопляного вороху має суттєві недоліки, а тому у

картоплезбиральних машинах найчастіше встановлюють пруткові транспортери-елеватори через надійну і просту конструкцію.

Стандартний прутковий транспортер-елеватор (рис. 1.3) складається з прутків, які з'єднані між собою за допомогою ланок, ланцюгом чи гумовими пасами і утворюють нескінченну решітчасту стрічку. Для інтенсифікації сепарації на робочу частину пруткового елеватора встановлюють струшувачі. Створення вібрації відбувається за рахунок еліптичних зірок, які знаходяться у зчепленні з ланцюгом транспортера; число коливань робочої частини забезпечується зміною швидкості і параметрами зірочок-струшувачів. На даний тип сепаратора можуть встановлюватись механізми струшування, які забезпечують коливання робочої частини елеватора, не залежно від його швидкості, такі елементи мають незалежний привод.

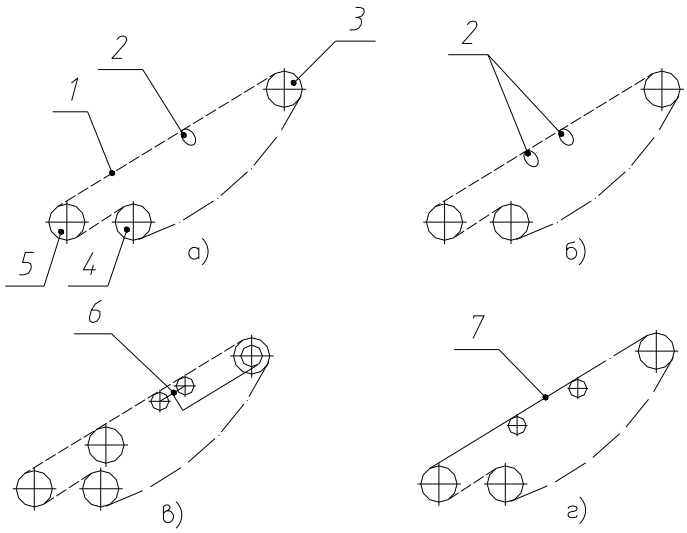


Рис. 1.3. Типи пруткових транспортерів-елеваторів картоплекопачів
а) елеватор з одною парою еліптичних зірочок; б) елеватор з двома парами еліптичних зірочок; в) з ударним струшувачем; г) з лопатями.

Найпоширеніший за типом елеватор з одною парою еліптичних зірочок-струшувачів (рис. 1.3. *а*), також встановлюються елеватори з двома

тандемами зірочок (рис. 3.*б*). Елеватор має наступну будову: стрічка 1, зірочки-струшувачі 2, ведучий вал 3 з ведучими зірочками, ролик опорний 4, ролик передній 5,. Компоновка встановлення у дворядних машинах як один спільний елеватор на два потоки вороху, з можливістю встановлення індивідуально на кожний рядок. На даний тип елеваторів встановлюють три типи прутків – прямі, ввігнуті і вигнуті вверх. На виробництві їх встановлюють так: за ввігнутими прутками монтують вигнуті вгору, розміщують прутки вигнуті вниз (схема 1-2, або через 3), у результаті утворюється поверхня з виступами і впадинами, яка дає змогу встановлювати елеватор у машинах з великим кутом встановлення [4, с. 211]. З метою ефективно переміщення маси вороху при куті встановлення 40…50°, в деяких конструкціях елеваторів встановлюють спеціальні опорні лопаті *7* (рис. 1.3. *г*) встановлені з кроком 150…300 мм, або підтримуючий транспортер. Необхідно знати і враховувати при проектуванні, що збільшуючи кут встановлення транспортера сепараційна здатність елеватора знижується.

1.2. Сучасні комбайни та копачі

Порівняння показників дворядних причіпних комбайнів бункерного типу випуску різних періодів, отриманих під час роботи на важких суглинках, характеризує значний їх розвиток із поліпшенням якості роботи. У В даний час виробляються картоплезбиральні комбайни різних технологічних схем та типів.

Сучасні комбайни, які використовуються в європейських країнах, як правило, випускаються у різних модифікаціях. Збільшилася частка моделей причіпних комбайнів, виконаних за поворотною П – подібною технологічною схемою. У цій схемі більшою мірою реалізуються можливості технологічного процесу вторинної сепарації за рахунок застосування виносних похилих поверхонь і відбиваючих вальців різної конструкції.

Самохідні комбайни проектуються за прямоточною двоярусною технологічною схемою. Як основні робочі органи первинної сепарації на всіх типах комбайнів використовуються системи пруткових елеваторів на прогумованих ременях [1, с. 96]. Передбачаються їх змінні транспортери. Вони можуть відрізнятися за кількістю у системі, ширині та довжині [3, с. 8]. Під сепараційними гірками додатково встановлюються сепаратори з аксіальними роликами, використовуються стебловидаляючі пристрої роликового або транспортерних типів [8, с. 96]. На причіпних комбайнах застосовуються пристрої для бокового підкопування. При такій схемі агрегатування трактор у рухається по зібраній частині поля, що знижує пошкодження бульб [1, с. 18]. З метою зниження пошкоджень бульб рухоме дно бункера має покриття, яке амортизує, а транспортер, що подає, регулюється по висоті. На ряді моделей встановлюються бункери, що здійснюють вивантаження картоплі з їх на ходу [4].

На комбайнах Ropa майданчики перебірного столу робітників виконані регульованими по висоті. Практично на всіх останніх моделях причіпних дворядних комбайнів встановлені механічні роторні пальцеві сепаратори для відділення грудок та каміння [2, 4]. Їх застосування дозволяє знизити кількість робочого персоналу на комбайні у 1,5 – 2 рази. У трансмісіях комбайнів широко використовується гідропривід, що дозволяє регулювати режими їхньої роботи. Спостерігається високий рівень автоматизації технологічного процесу комбайнів Здійснюється автоматичне направлення підкопувальних лемішів на рядки, що прибираються, і підтримка заданої глибини підкопування. Є система автоматичного регулювання тиску копіювальних котків комбайнів на гребні рядків. Це підвищує ступінь сепарації ґрунту.

З метою попередження пошкоджень бульб може бути встановлена автоматична система синхронізації швидкостей руху машини та елеваторних стрічок [5, 6]. На самохідних комбайнах встановлюються гусеничні ходові

системи, на причіпних - різні типи шин, у тому числі широкопрофільні, що підвищує їхню прохідність (рис. 1.4).

Рис. 1.4. Дворядний картоплезбиральних комбайн модель Ropa Keiler II Classic

Джерело:фото із сайту виробника https://ropa-rus.com/ropa-keiler-classic/

Дані ходові системи дозволяють суттєво підвищити працездатність збиральних машин у важких умовах і меншою мірою впливають на структуру ґрунту. У кабінах тракторів, причіпних та операторів самохідних комбайнів використовуються монітори для візуального контролю процесу їх роботи та регулювання робочих режимів [3].

Найбільш відомими марками копачів є КТН-2В (рис. 1.5), КСТ-1,4А (рис. 1.6), Л - 652 та їх модифікації.

Рис. 1.5. Картоплекопач КТН – 2В

Джерело:фото із сайту https://agro-ukraine.com

Рис. 1.6. Картоплекопач КСТ – 1,4А

Джерело:фото із сайту https://agropro.biz/product/kartoplekopach-kst-14-a

Висновки до розділу 1

Аналізуючи будову та роботу транспортерів сепараторів можна зробити наступні висновки, кожен із наведених типів для сепарації картопляного вороху має суттєві недоліки, а тому у картоплезбиральних машинах найчастіше встановлюють пруткові транспортери-елеватори через надійну і просту конструкцію. Спостерігається високий рівень автоматизації технологічного процесу комбайнів Здійснюється автоматичне направлення підкопувальних

лемішів на рядки, що прибираються, і підтримка заданої глибини підкопування. Є система автоматичного регулювання тиску копіювальних котків комбайнів на гребні рядків. Це підвищує ступінь сепарації ґрунту. З метою попередження пошкоджень бульб може бути встановлена автоматична система синхронізації швидкостей руху машини та елеваторних транспортерів.

РОЗДІЛ 2
ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ СЕПАРАЦІЇ КАРТОПЛЯНОГО ВОРОХУ

2.1. Проектування парамтрів сепаратора вороху

Експлуатація картоплезбиральних машин показує, що вони можуть задовільно виконувати необхідні технологічні процеси лише при роботі на сприятливому ґрунті та в однакових кліматичних умовах. При роботі в складних умовах комбайни не забезпечують якісний збір картоплі і мають низький рівень ефективності, плюс недостатня надійність у технологічних процесах, а також збільшення втрат і пошкодження бульб, що призводить до збільшення витрат. З точки зору збирання врожаю, оскільки процес вимагає значно більше праці, в тому числі забезпечення робочої сили.

Підвищити якісні показники в картоплезбиральних машин можна шляхом введення в технологічну схему інтенсифікуючих органів, які додатково впливають на підкопаний картоплевмісний шар. Дослідження (Feller et al., 1987; Hevko et al., 2016; Feng et al., 2017; Wei et al., 2017; Xin, Liang, 2017; Bulgakov et al., 2018, 2019; Gulati, Singh, 2019) показали, що руйнувати гребні картоплі необхідно, щоб отримати можливість здійснювати процеси сепарування в зоні викопування, оскільки в даній зоні бульбоплоди захищені ґрунтом від механічної дії. Одним з найбільш перспективних напрямків досліджень є вертикальні ротори.

Запропоновано використовувати пальцеві барабани, встановлені між леміхом або двома крилами копача та елеватором, які одночасно з подачею викопаної маси на елеватор служать для руйнування шару та відсіювання частин ґрунту. Дослідження, проведені в Національному науковому центрі, Інституті механізації та електрифікації сільського господарства, показали, що під час роботи та обладнанні сепараційного обладнання, яке складається з пасивного

леміша і пальцевого барабани, картоплезбиральний комбайн не забезпечує достатню площу сепарації, викопний шар не рівномірно розподілений на елеваторі, надходить у вигляді компактної поздовжнього вальця в центральну частину елеватора[6]. При подальшому переміщенні маса частково розподіляється по ширині поверхні елеватора, але недостатньо для якісного відокремлення ґрунту. Як наслідок, через низький рівень повноти сепарації високий рівень засмічення бульб в тарі, що не відповідає чинним агротехнічним вимогам.

Теоретичні дослідження використання збиральної машини (рис. 2.1.) та аналіз якості її робочих процесів показали, що перед подачею її в основний елеватор, оскільки викопний шар добре подрібнюється штоковими барабанами. – в даному випадку для рівномірного розподілу центральнонакопичено маси – необхідно встановити пасивний робочий орган, запропоновано V-подібний розподільник, який безпосередньо діє на викопану масу. Він складається з двох крил та важіля, встановлених під кутом 2α і розташованих за пальцевими барабанами, над основним елеватором (транспортером).

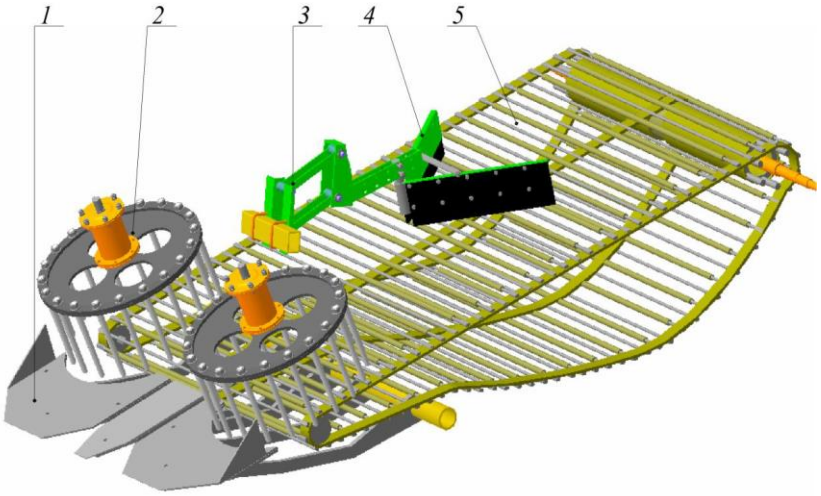


Рис. 2.1. Сепарувальний пристрій для картоплезбиральної машини:

1- леміш копача; 2- пальцевий барабан; 3) паралелограмний механізм; 4- лопатевий розподільник; 5- сепарувальний елеватор.

Технологічний процес роботи розподільника наступний (рис. 2.1). Грунт і картопляний ворох, підкопаний лемішем копача (1) і зруйнований барабанами (2), подається в елеватор (5) і потрапляє до розподільника (4). Тоді потік маси рухається вздовж крил розподільника (4), при цьому частина ґрунту завжди буде проходити під розподільником, оскільки він встановлений так, що має зазор відносно поверхні елеватора (5) . Тому після розподільника (4) отримуємо шар маси, яка є рівномірною по всій ширині елеватора (5). Розподільник (4) повинен володіти відповідними технологічними та конструктивними параметрами, мати змогу якісно виконувати технологічний процес розподілу ґрунту та картопляного вороху.

Значення висоти крила розподільника h на основі існуючих умов, необхідно виконати такою, щоб грунт не пересипався через розподільника, а також залежно від товщини маси h_b, яка надходить на конвеєр після проходження пальцевих барабанів. Товщина шару залежить від глибини підкопування для картоплі $h_{гр}$ висота гребенів, швидкості збиральної машини $V_м$, колової швидкості пальцевих барабанів ωR, і швидкість руху полотна елеватора $B_{ел}$, а також сепарувальна здатність барабанів та транспортера.

2.2. Розрахунок конструкційно-технологічних парамтрів сепаратора вороху

Розглянемо випадок, в якому розподіл в зоні до розподільника не відбувається, і вся маса подається на розподільник, тоді висота крила h визначаться з урахуванням відстані між транспортером і розподільником, буде мати вигляд:

$$h + \Delta > h_v, \qquad (2.1)$$

звідки

$$h > h_v - \Delta. \qquad (2.2)$$

Розмір зазору Δ визначається враховуючи наступні фактори: по-перше, необхідно забезпечити вільний прохід бульб картоплі між поверхнями елеватора і розподільника; по-друге, необхідна рівномірна товщина грунтового потоку на транспортері; амплітуда коливання на поверхні елеватора, яка створюється під впливом струшувачів. Беручи до уваги той факт, що бульби картоплі, під час руху на елеваторі намагаються зайняти стійке положення, коли центр мас їхній знаходиться в найнищому положені, тобто, розміщується перпендикулярно до поверхні елеватора або ширини бульби, то висота зазору Δ не повинна бути меншою за найбільшою шириною бульб картоплі $b_б$:

$$\Delta > b_б \, . \qquad (2.3)$$

Висоту потоку маси h_v, яка надходить до розподільника ми можемо знайти, прирівнявши подачу від лемешів і пропуску здатність елеватора[5]:

$$Q_{ел} = Q_л \, , \qquad (2.4)$$

де $Q_{ел}$ – пропускна здатність елеватора, кг/с;

$Q_л$ – подача маси віл лемішів, кг/с.

Подачу маси віл лемішів при викопуванні та сепарації для дворядної картоплезбиральної машини можна визначити за формулою[4, с. 48]:

$$Q_л = 2 \cdot S_{гр} \cdot V_M \cdot \rho \, , \qquad (2.5)$$

де $S_{гр}$ – переріз підкопаного шару грунту, м^2;

$V_м$ – швидкість руху машини, м/с;

ρ – об’ємна маса грунтового вороху, кг/м^3.

Якщо розглянути переріз гребеня як параболу, то поперечний переріз викопного шару можна визначити за формулою[5]:

$$S_{гр} = \frac{2}{3} \cdot h_{гр} \cdot l_{гр} \, , \qquad (2.6)$$

де $h_{гр}$ – висота гребня, м;

$l_{гр}$ – ширина гребня, м.

тоді:

$$Q_{л} = \frac{4}{3} \cdot h_{гр} \cdot l_{гр} \cdot V_{м} \cdot \rho \,, \qquad (2.7)$$

Пропускну здатність елеватора можна визначити по залежності:

$$Q_{ел} = S_{V} \cdot V_{ел} \cdot \rho \,, \qquad (2.8)$$

де S_v — поперечний переріз ґрунту та картоплі на елеваторі, м^2;

$V_{ел}$ – швидкість елеватора, м/с.

Підставивши значення площі отримаємо:

$$Q_{ел} = h_{v} \cdot A \cdot V_{ел} \cdot \rho \,, \qquad (2.9)$$

де h_v - висота встановлення розподільника, м;

А - ширина смуги грунту на елеваторі, м.

Прирівнюючи залежності (7) і (9), після підстановки у рівність (4) перетворень отримати значення висоти розподільника:

$$h_{v} = \frac{4 \cdot h_{гр} \cdot l_{гр} \cdot V_{м}}{3A \cdot V_{ел}} \,. \qquad (2.10)$$

Довжина крил розподільника *l* повинна бути достатньою, щоб розподілити масив грунту по всій ширині елеватора. Крім того, повинна бути забезпечена вільна зона в точці, в якій ворох відходить від крила.

Довжина крил розподільника *l* визначимо за допомогою виразу:

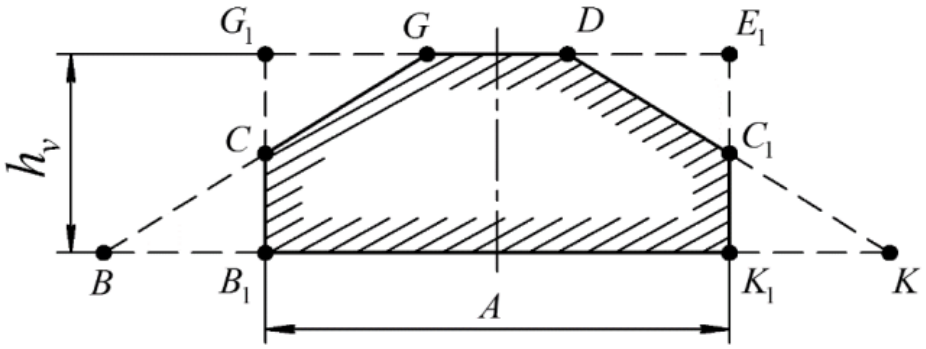
$$l < \frac{b_{ел} - A}{2 \sin \alpha} \,. \qquad (2.11)$$

де $b_{ел}$ – конструктивна ширина елеватора;

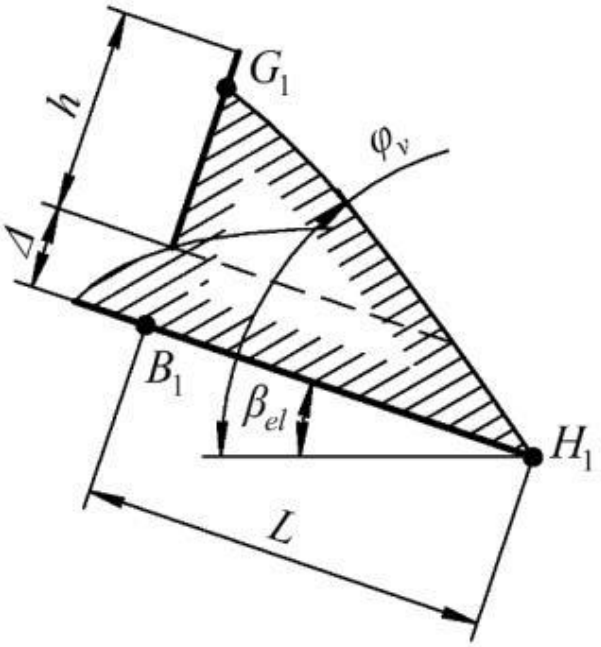
α – кут розкриття крил розподільника.

Відстань між розподільником і барабанами впливає на технологічний процес, якщо відстань занадто мала, ворох буде накопичуватись, та відбудеться забивання транспортеру; з іншого боку, якщо відстань занадто велика, розподіл

вороху починається пізніше, а ефективність першого транспортеру знизиться. Найбільше скупчення вороху утворюється на розподільнику в початку прибуття маси вороху (рис. 2.2.)



а)



б)

Рис. 2.2. Схема для розрахунку параметрів розподільника:

а) форма маси, що надходить на розподільник; б) форма маси грунту, яка рухається вздовж крила розподільника: BGDK – фактична форма відвалу; і B1G1E1K1, B1G1H1 розраховується на основі потоку вороху.

З рис. 2.2. визначимо довжину крила розподільника:

$$L \geq h_v\left(\varphi_v - \beta_{ел}\right). \qquad (2.12)$$

де φ_v – кут нахилу крила,

$\beta_{ел}$ –кут нахилу елеватора.

Підставляючи числові значення у вирази (2.10), (2.11), (2.12) отримуємо наступні значення для параметри розподільника h > 150 мм, l < 450–550 мм, Δ > 80 мм, L > 540 мм. Основним параметром для розподільника є кут нахилу крила. Будь-який неправильний вибір кута може призвести до накопичення вороху перед розподільником і, як наслідок, до зупинки технологічного процесу, або не ефективного розподілу маси . Щоб обґрунтувати кутовий параметр, встановлення розподільника, необхідно провести теоретичний аналіз руху маси вороху по робочій поверхні розподільника і сепаруючого елеватора. Розглянемо взаємодію частинки потоку ґрунту з картопляного вороху, яка рухається по елеватору, через розподільник (рис. 2.3). Вісь O_x направлена в напрямку, який є перпендикулярним до поверхні розподільника; O_y спрямована перпендикулярно до площини стрічкового транспортера; вісь Z спрямована вздовж напрямку потоку вороху через розподільник. На частинку діятимуть такі сили: сила тяжіння G (вага) частинки, нормальна реакція N_1 до поверхні конвеєра, нормальна реакція N_2 на поверхні крила, в сила тертя F_1 в перерахунку на ковзання частинки вздовж транспортера, яка сумісна сила тертя F_2 в умови ковзання частинки по гребні вздовж розподільника на осі Oy, а F_3 є комбінованим тертям сили ковзання по поверхні розподільника вздовж осі Oz так, сила P утворена вібраційною поверхнею конвеєра через механізм струшування.

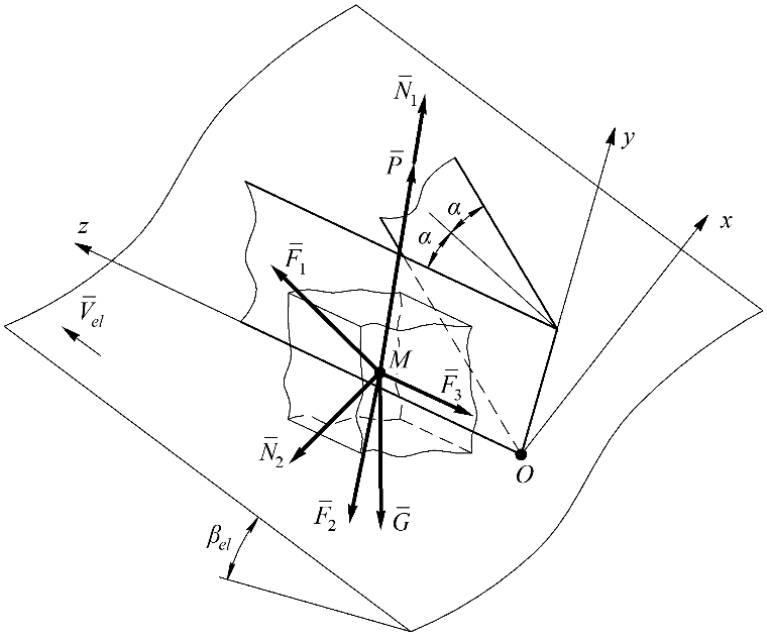


Рис. 2.3. Схема взаємодії потоку маси вороху та розподільника

Спроектувавши сили на осі координат отримаємо наступні рівняння[7,8]:

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= -N_2 + F_1 \cdot \sin\alpha - G\sin\beta_{el} \cdot \sin\alpha, \\ m\ddot{y} &= N_1 + P - G \cdot \cos\beta_{el} - F_2, \\ m\ddot{z} &= -F_3 + F_1 \cdot \cos\alpha - G \cdot \sin\beta_{el} \cdot \cos\alpha. \end{aligned} \qquad (2.13)$$

Провівши ряд перетворень отримаємо вираз для визначення швидкості частинок маси ґрунту, який рухається вздовж крила розподільника [7]:

$$V = \sqrt{V^2{}_x + V_y{}^2 + V_z{}^2} \qquad (2.14)$$

Використовуючи вираз (14), побудували залежності від часу швидкості маси вороху V на крилі розподільника при різних значеннях кута розкриття крила α (рис. 2.4).

Аналіз графічних залежностей показує, що швидкість руху ґрунту та картопляного вороху вздовж крила зменшується зі збільшенням кута α. Коли швидкість V зменшується менше, ніж допустиме значення [V], грунтовий ворох буде рухатись по верх розподільника, що призведе до порушення технологічного процесу, тобто має виконуватись умова V ≥ [V]. Допустиму швидкість руху

картопляного вороху, враховуючи процес розподілу по ширині елеватора, можна визначити з умови рівності потоку вороху по розподільнику[9, с. 147]:

$$\Delta \cdot b_{ел} \cdot [V] = A \cdot h_v \cdot V_{ел}, \qquad (2.15)$$

де [V] – допустима швидкість руху вороху вздовж крила розподільника, м/с.

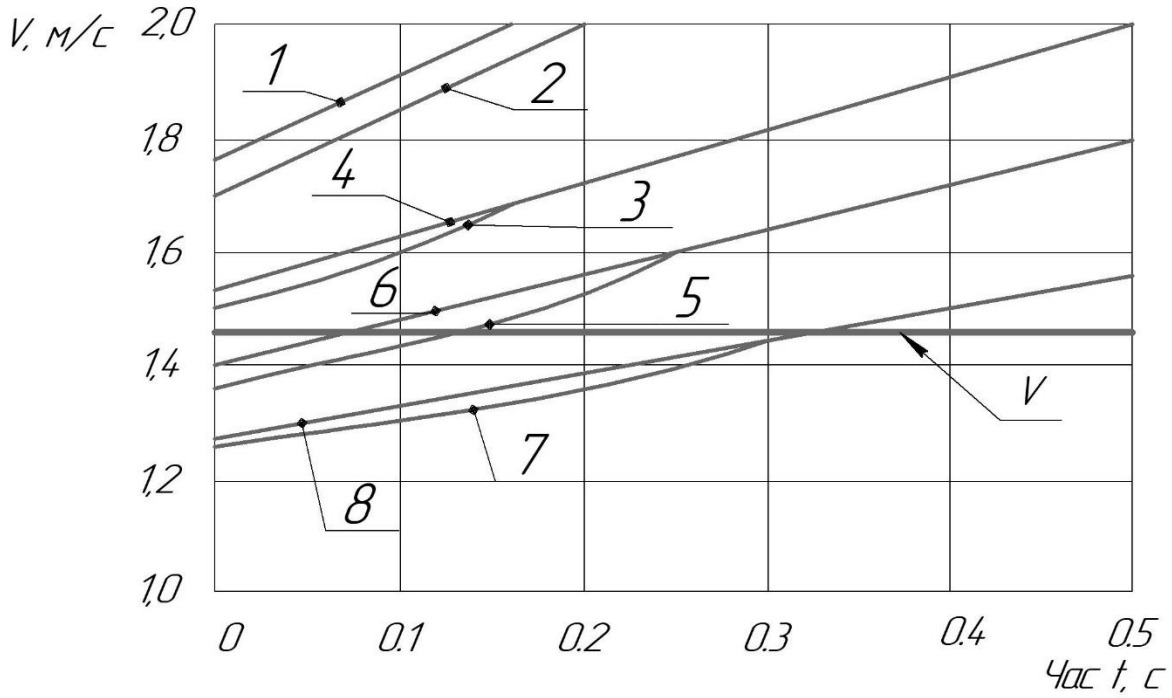


Рис. 2.4. Залежність швидкості вороху вздовж крила розподільника V від часу t при різних значеннях кута розкриття крила α (при *f1 = f2 = 0,55, $\beta_{ел}$ = 22°*):

1 - α = 30° ($\omega_{ел}$ = 4 рад/с, $A_{ел}$ = 0.05 м); 2 - α = 30° ($\omega_{ел}$ = 0, $A_{ел}$ = 0);

3 - α = 40° ($\omega_{ел}$ = 4 рад/с, $A_{ел}$ = 0.05 м); 4 - α = 40° ($\omega_{ел}$ = 0, $A_{ел}$ = 0);

5 - α = 45° ($\omega_{ел}$ = 4 рад/с, $A_{ел}$ = 0.05 м); 6 - α = 30° ($\omega_{ел}$ = 0, $A_{ел}$ = 0);

7 - α = 50° ($\omega_{ел}$ = 4 рад/с, $A_{ел}$ = 0.05 м); 8 - α = 50° ($\omega_{ел}$ = 0, $A_{ел}$ = 0)

Отже, швидкість руху ґрунту і картопляного вороху вздовж крила розподільника не повинно бути менше значення:

$$[V] = \frac{A \cdot h_v \cdot V_{ел}}{\Delta \cdot b_{ел}}. \qquad (2.16)$$

При заданому $V_{ел}$ = 2,2 м/с, A = 0,3 м, h_v = 0,25 м, Δ = 0,08 м, $b_{ел}$ = 1,2 м допустима швидкість ґрунту і рух картопляного вороху становить [V] = 1,45 м/с. Аналіз отриманих залежностей показує, що раціональні значення кута нахилу крила розподільника потрапляють в діапазон α = 35...45°.

Висновки до розділу 2

1. Отримано аналітичні залежності, які дають змогу визначити основні конструктивно-технологічні параметри розподільника, що входить до складу викопувального та сепараційного обладнання картоплезбиральної машини.
2. Моделювання процесів переміщення ґрунту та картоплі за реальними розрахунковими та кінематичними параметрами дозволило визначити допустиму швидкість переміщення вороху [V] = 1,45 м/с, що забезпечує запобігання засмічення вороху перед розподільником.
3. В результаті застосування та аналізу графічних залежностей для отриманої математичної моделі встановлено, що раціональні значення кута нахилу крила розподільника лежать в діапазоні α = 35...45°.

РОЗДІЛ 3
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ СИСТЕМИ СЕПАРАЦІЇ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ

3.1. Дослідження кінематичних параметрів сепаратора

Ттеоретично досліджується робота сепаратора-транспортера картоплезбиральної машини, для відділення ґрунту від бульб картоплі за допомогою вертикальних барабанів. Були встановлені параметри сепаратора між фазою підкидання та фазою руйнування бульб картоплі, як горизонтальними з вертикальними барабанами і на похилій площині з коливаннями під певним кутом.

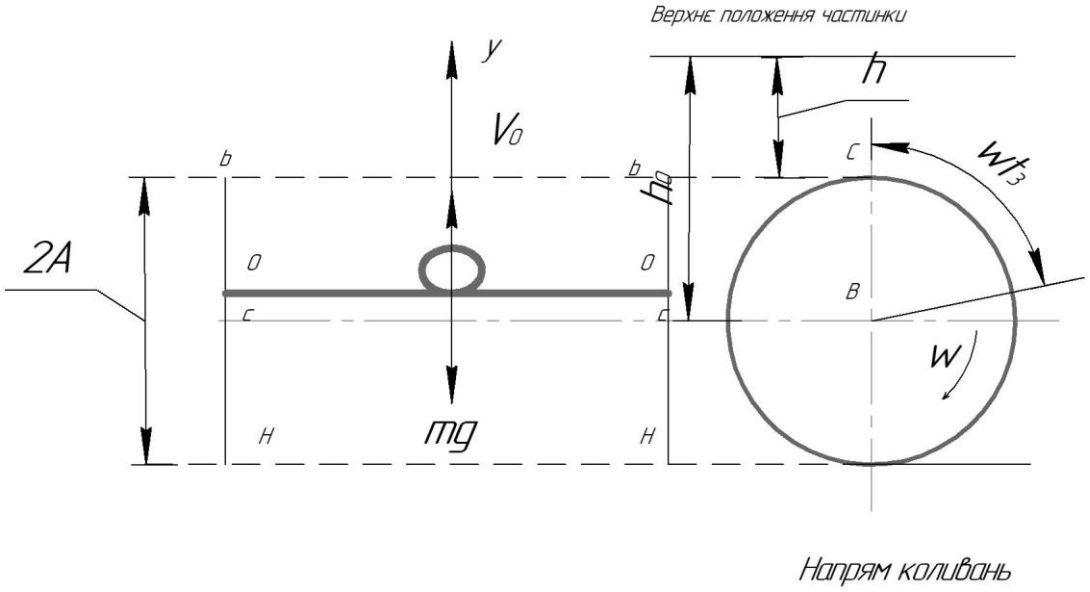


Рис. 3.1. Схема горизонтальної площини з вертикальними варіантами *(положення коливальної площини: вв -верхнє; НН - Нижній; сс-середина; 00 - в момент видалення частинок з сита)*

Для правильного підбору режиму роботи елеваторів картоплезбиральних машин спочатку розглядають рух частинки, що вільно лежить на горизонтальній площині з вертикальними коливаннями. Рівняння руху цієї частинки при вертикальних коливаннях площини має вигляд [11]:

$$\ddot{y} = -g \tag{3.1}$$

$$\dot{y} = -gt + \vartheta 0 \tag{3.2}$$

$$y = -gt^2/2 + \vartheta_0 t \tag{3.3}$$

$$\begin{aligned} \ddot{y} &= -\omega^2 A \cdot \cos(\omega t - \omega t_3) \\ \dot{y} &= -\omega \cdot A \sin(\omega t - \omega t_3) \\ y &= A[\cos(\omega t - \omega t_3) - \cos \omega t_3] \end{aligned} \tag{3.4}$$

g -прискорення сили тяжіння;

t - час;

V_0 - швидкість частки в момент відриву;

A – амплітуда коливань площини;

ω – колова частота плоских коливань;

ωt3 – фаза плоского коливання, що відповідає моменту відриву частинки від поверхні.

Величина фази польоту визначається відповідною фазою коливання площини до вільного польоту частинки з моменту її відриву з площини до моменту, коли вона падає на площину. $\omega^2 A/2 = k$.

Рівняння (3.3) і (3.4) приводять до:

$$A[cos(\omega t - \omega t3) - cos\omega t3] = v_0 t - gt^2/2 \tag{3.5}$$

Де з рівняння (3.5) визначили швидкість частинки в точці відриву від площини $cos\omega t_3 = g/\omega^2 A$.

$$V_0 = \omega \cdot A \sin \omega t_3 = \sqrt{\left(\omega^2 \cdot A\right)^2 - g^2 \cdot \omega}$$

Підставивши значення v_0 і $\cos\omega t_3$ в (3.5) і виконавши перетворення, отримаємо:

$$k = \sqrt{\frac{\frac{\left(\omega t^2\right)}{2} + \cos \omega t - 1}{\omega t - \sin \omega t}} - 1 \tag{3.7}$$

Як згадувалося вище, фаза частинок визначається виразом:

$$\cos\omega t_3 = \frac{g}{\omega^2 \cdot A} \qquad (3.8)$$

Таким чином, співвідношення між коефіцієнтом режиму *k* і фазою відриву ωt_3 таке:

$$k \cdot \cos\omega t_3 = 1 \qquad (3.9)$$

Зв'язок між фазою відриву ωt_3 і фазою польоту ωt виглядає наступним чином:

$$tg\omega t_3 = \frac{\frac{(\omega t^2)}{2} + \cos\omega t - 1}{\omega t - \sin\omega t} \qquad (3.10)$$

Значення параметрів k, cosωt3, ωt3 і (ωt -ωt3) залежно від фази польоту, зображено на (рис. 3.2, 3.3) показано зміна цих значень відповідно до рівнянь (3.7), (3.8), (3.10), розрахованих за допомогою редактора програми Mathcad.

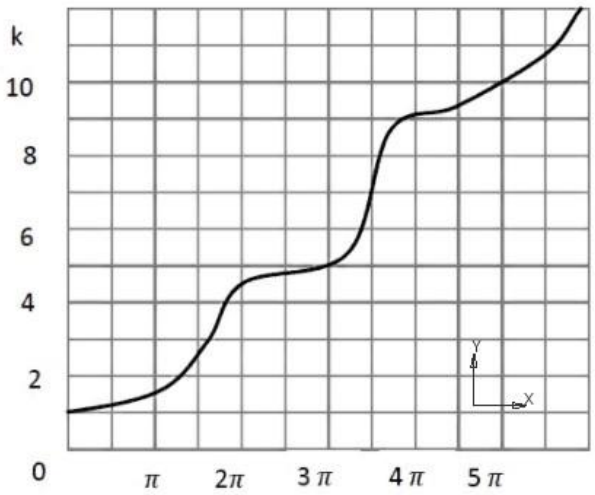


Рис. 3.2. Залежність коефіцієнта режиму k від фаз польоту частинки

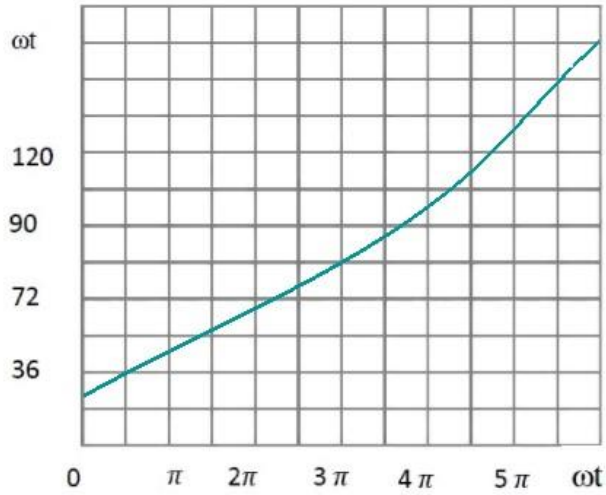


Рис. 3.3. Графічна залежність фази ωt3 для фази відриву ωt

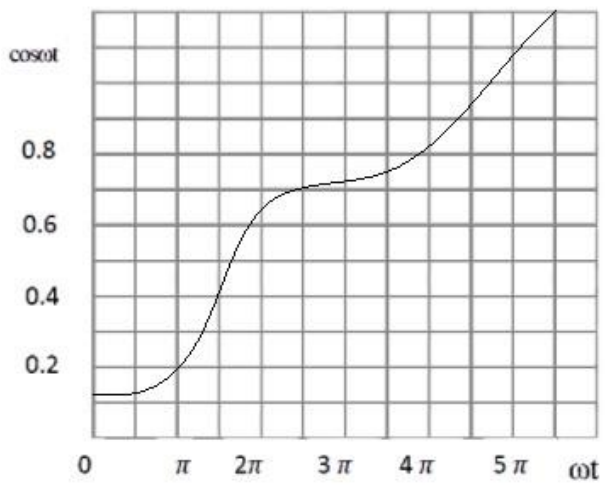


Рис. 3.4. Залежність фази відкриття cosωt3 від фази польоту частинки ωt

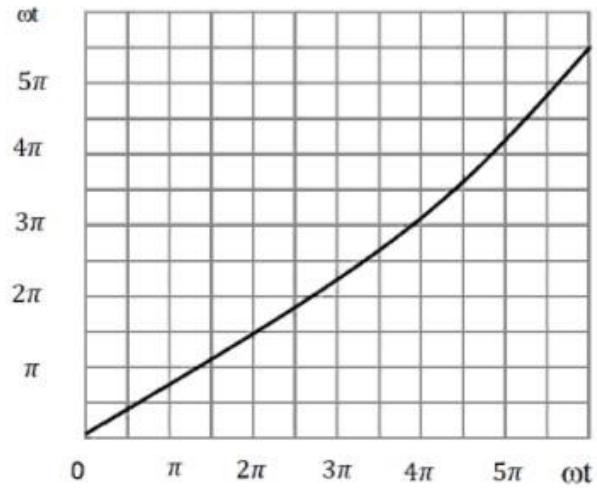


Рис. 3.5. Різниця фаз відриву від фази польоту частинки ωt

Отримані дані показують такі значення, як прискорення коливань, частота коливання, що відповідають режиму „ висота падіння частинок на площині, і швидкість зіткнення частинок з площиною. Ці параметри представляють конструкторський інтерес: наприклад, швидкість удару визначає пошкодження бульб на тріщини; прискорення коливань визначають динамічні сили.

У відповідності до отриманих моделей значення частоти коливань, висоти падіння і ударні швидкості частинки на коливальній площині розраховуються для коливань амплітудою 6,7 мм, що відповідає стандартному значенню амплітуди коливань сепаратора. Крім того, чистота коливання транспортеру залежить від його швидкості, тому наведені значення, які визначаються наступним рівняння [12].

$$V_{ел} = \frac{\sqrt{k \cdot g(a+b)} \cdot \cos\beta_{ел}}{8(\alpha - \beta_{ел})}. \qquad (3.11)$$

де, k – коефіцієнт режиму роботи;

a – найбільший, b — найменший розмір перерізу;

$\beta_{ел}$ – кут нахилу елеватора.

З (рис. 5) випливає, що нормальна складова швидкості удару частинки з коливною площиною збільшується від мінімального до певного максимального значення і потім зменшується, після чого підвищується знову і т.д.

Визначимо коефіцієнт швидкості удару. На (рис.3.6) показано зміну коефіцієнта k3 відповідно до фази польоту.

$$V_C = k_3 \sqrt{g} \cdot A. \qquad (3.12)$$

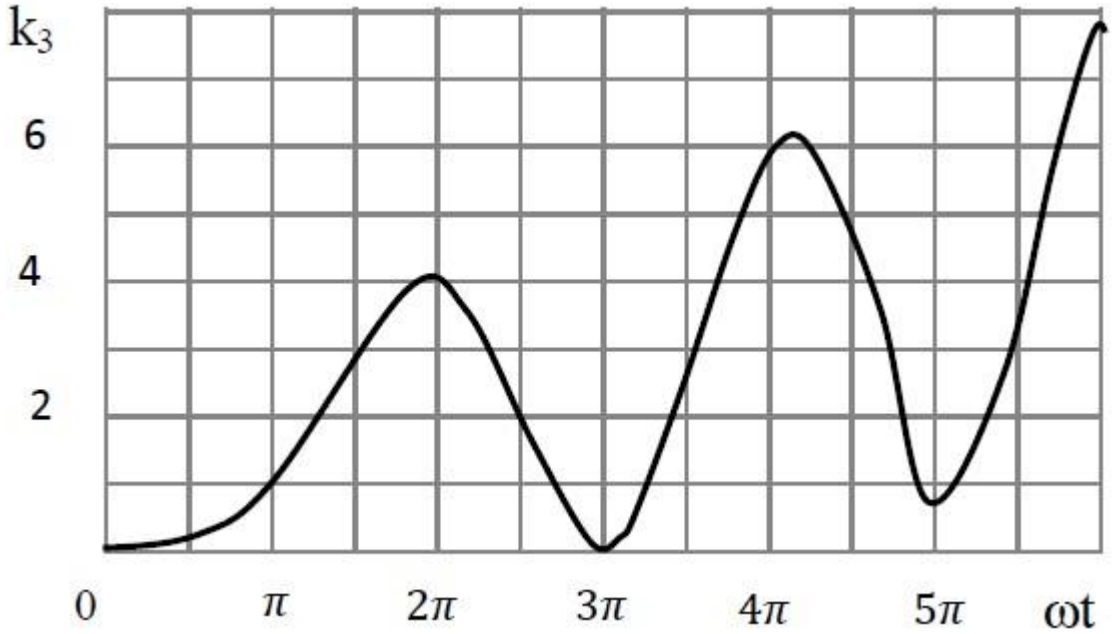


Рис 6. Залежність коефіцієнта швидкості удару k_3 в від фази польоту ωt

Висновки до розділу 3

З аналізу руху частки, що лежить вільно на горизонтальній площині з вертикальними коливаннями і похила площина з кутом α>0 і кут зміни β>0º призводить до наступного висновку:

1. Зв'язок між фазою відриву ωt_3 і фазою польоту ωt для горизонтальної площина з вертикальними коливаннями, якщо похила площина з кутом коливання β>0 і виражається рівнянням (3.10), звідси слідує, що

нормальна складова швидкості удару частинки з коливною площиною збільшується від мінімального до певного максимального значення і потім зменшується, після чого підвищується знову

2. Для горизонтальної площини з вертикальними коливаннями залежність (3.8) - для похилої площини під кутом $\alpha>20^0$, кут $\beta>10^0$ показник кінематичного режиму роботи - для горизонтальної площини з вертикальною коливання становить k =2,1.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналізуючи будову та роботу транспортерів сепараторів можна зробити наступні висновки, кожен із наведених типів для сепарації картопляного вороху має суттєві недоліки, а тому у картоплезбиральних машинах найчастіше встановлюють пруткові транспортери-елеватори через надійну і просту конструкцію. Здійснюється автоматичне направлення підкопувальних лемішів на рядки, що прибираються, і підтримка заданої глибини підкопування. Встановлюються системи автоматичного регулювання тиску копіювальних котків комбайнів на гребні рядків, що підвищує ступінь сепарації вороху. З метою попередження пошкоджень бульб може бути встановлена автоматична система синхронізації швидкостей руху машини та елеваторних транспортерів.

2. Моделювання процесів переміщення ґрунту та картоплі за реальними розрахунковими та кінематичними параметрами дозволило визначити допустиму швидкість переміщення вороху [V] = 1,45 м/с, що забезпечує запобігання засмічення вороху перед розподільником.

В результаті застосування та аналізу графічних залежностей для отриманої математичної моделі встановлено, що раціональні значення кута нахилу крила розподільника лежать в діапазоні $\alpha = 35...45°$.

3. Для горизонтальної площини з вертикальними коливаннями залежність (3.8) - для похилої площини під кутом $\alpha>200$, кут $\beta>100$ показник кінематичного режиму роботи - для горизонтальної площини з вертикальною коливання становить $k = 2,1$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Верещагин Н.И., Пшеченков К.А. Комплексная механизация возделывания, уборки и хранения картофеля. М.: Колос, 1977. 326с.
2. Верещагин Н.И., Пшеченков К.А. Возделывание и хранение картофеля. М.: Колос, 1983. 164с.
3. Гевко Р.Б. Новий малогабаритний комбайн для збирання картоплі // Синиій С.В., Гевко Р.Б., Осуховський В.М. Вісник Інженерної академії України. 2012. № 3-4. С. 72-76.
4. Петров Г.Д. Картофелеуборочные машины. М.: Машиностроение, 1984. 356с.
5. Булгаков В., Паскуцці С., Ніколаєнко С., Санторо Ф., Аніфантіс А.С., Олт Дж. Теоретичне дослідження просіювання елементів картопляного вороху в спіральному сепараторі. – Агрономічні дослідження, 2019. 17(1):33–48, DOI: 10.15159/ AR.19.073.
6. Експериментальне дослідження та обґрунтування параметрів сепаратора картопляного вороху/В Булгаков, В Адамчук, З Ружило, І Головач//. Київ, 2020 Вісник аграрної науки, с. 60-66.
7. Василенко П. М., Василенко В. П. Методика построения моделей функционирования машинних агрегатов. Механизация и электрификация социалистического сельского хазяйства. № 12. 1979. С. 42-45.
8. Василенко П.М. Теория движения материальной частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. Киев: Укр. Акад. С-х. Наук, 1960. 282с.
9. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування . Том 1,2 К.: Урожай, 2001.- 384 с.

10. Hevko, R.B., Tkachenko, I.G., Synii, S.V., Flonts, I.V. 2016. Development of design and investigation of operation process of small-scale root crop and potato harvesters. – INMATEH-Agricultural Engineering, 49(2):53–60.
11. Байбобоєв Н.Г., Рембалович Г.К., Гоїпов У.Г., Турсунов А.А., Акбаров Ш.А., «Теоретичне обґрунтування параметрів пружних підсилювачів сепарації картоплі збиральними машинами". IJARSET, www.ijarset.com. 2019. 12, с. 211-216.
12. Сорокін А.А. До розрахунку параметрів коливальних (вібраційних) лемішів картоплезбиральних комбайнів. Твори Вішома, №. 30, 1961. С. 123-131.