

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« _____ » _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:**

«Модернізація та обґрунтування параметрів прикочуючого котка
секції овочевої сівалки»

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,
групи ГМ-24М-1

ОНП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

_____ Незамай Владислав
Миколайович

« _____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Дмитро АРТЕМЕНКО

« _____ » _____ 2026 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

_____ Іван СКРИННІК

« _____ » _____ 2026 р.

Анотація

В роботі представлено результати аналізу конструкцій робочих органів овочевих сівалок та обґрунтовано напрями їх вдосконалення з метою підвищення ефективності посівного процесу. Запропоновано нову конструкцію прикочуючого котка комбінованої форми, яка забезпечує формування необхідної щільності ґрунту не тільки над насінням, а і навколо нього, покращуючи контакт насіння з ґрунтом. Це сприяє дружним сходам і підвищенню врожайності овочевих культур. Комбінований прикочуючий коток інтегровано в секцію сівалки JPH 4 без значного ускладнення конструкції. Обґрунтовані раціональні геометричні параметри прикочуючого котка для якісного прикочування насіння овочевих культур. Отримані результати підтверджують доцільність застосування вдосконалених прикочуючих котків в конструкціях сучасних овочевих сівалок.

Abstract

The paper presents the results of the analysis of the designs of the working parts of vegetable seeders and substantiates the directions for their improvement in order to increase the efficiency of the sowing process. A new design of a combined-shape roller is proposed, which ensures the formation of the required soil density not only above the seeds but also around them, improving the contact between the seeds and the soil. This promotes uniform germination and increases the yield of vegetable crops. The combined roller is integrated into the JPH 4 seeder section without significantly complicating the design. The rolling roller has well-thought-out geometric parameters for high-quality rolling of vegetable seeds. The results confirm the feasibility of using improved rolling rollers in the design of modern vegetable seeders.

Зміст

1. Вступ.....	5
2. Стан досліджуваного питання та вибір напрямку досліджень	6
3. Наукова частина.....	24
4. Практична реалізація результатів досліджень.....	39
5. Охорона праці.....	46
Висновки.....	49
Список використаної літератури.....	50

1. Вступ

Одним із найважливіших напрямів підвищення ефективності овочівництва є вдосконалення технологічних процесів висіву насіння, що безпосередньо впливає на рівень урожайності та якість продукції. Відомо, що від точності дозування, розміщення та загортання насіння у ґрунт значною мірою залежить рівномірність сходів, енергія росту рослин, їх розвиток і, в кінцевому результаті, обсяг та якість отриманої продукції. Саме робочі органи секції овочевої сівалки визначають головні параметри посіву - глибину, відстань між насінням, щільність контакту насінини з ґрунтом, що обумовлює стартові умови для розвитку рослин.

Недосконалість конструкції робочих органів призводить до нерівномірного висіву, пошкодження насіння, порушення оптимальної глибини укладання, що негативно позначається на схожості, знижує продуктивність та економічну ефективність виробництва овочевих культур. З огляду на це модернізація робочих органів секцій овочевих сівалок набуває особливої актуальності, оскільки саме ці елементи мають забезпечувати якісне виконання основних агротехнічних вимог при посіві.

У даній роботі ставиться завдання проаналізувати існуючі конструкції робочих органів овочевих сівалок, визначити їх недоліки, розробити вдосконалений варіант конструкції та обґрунтувати оптимальні параметри, що дозволять істотно підвищити рівномірність посіву, забезпечити кращу схожість і тим самим сприяти збільшенню врожайності овочевих культур. Основною метою вдосконалення овочевої сівалки є покращення процесу розміщення насіння по глибині і його загортання в борозні, для чого в конструкцію секції вводиться прикочуючий коток удосконаленої конструкції, це буде сприяти підвищенню швидкості та рівномірності проростання овочевих культур.

2. Стан досліджуваного питання та вибір напрямку досліджень

2.1 Опис машини, що підлягає модернізації

Овочева сівалка JPH 4 французького виробництва реалізує принцип інтегрованої компоновки «все в одному», за якого кожна секція робочих органів фактично є самостійною посівною одиницею (рис. 2.1). Кількість установлених секцій визначає як загальну робочу ширину агрегату, так і спосіб його агрегатувannya з енергетичним засобом. Модель JPH 4 виконана в чотирирядному варіанті та належить до овочевих сівалок точного висіву, оснащених висівними модулями типу JPH. Подібні системи широко відомі завдяки виробникам Jang (Південна Корея) та Terradonis (Франція), продукція яких має схожу конструктивну та функціональну структуру [1].



Рис. 2.1 Посівна одиниця овочевої сівалки JPH 4

Кожен окремий модуль, що містить висівний блок JPH, монтується на загальну раму (брус), а позначення «JPH 4» вказує на використання чотирьох таких блоків у складі машини. Сівалка призначена для пунктирного або гніздового висіву насіння широкого спектра овочевих культур, зокрема буряків, моркви, цибулі, томатів, огірків, перцю, а також сої, кукурудзи, бобових та інших культур, у добре підготовлений ґрунт. За конструктивним

виконанням сівалка є навісною і може агрегатуватися з мінітракторами, мототракторами або мотоблоками, залежно від маси та виконання рами. За потреби можливе використання причіпної схеми з опорними колесами.

Висівні апарати ЈРН 4 (рис. 2.2), мають індивідуальний привід від опорно-привідного колеса або спільний привід від ходових коліс сівалки. Висока точність розміщення насіння досягається завдяки застосуванню змінних висівних катушок (роликів) з комірками різної геометрії та кількості, які підбираються відповідно до розміру та форми насіння конкретної культури.



Рис. 2.2 Висівний апарат ЈРН 4

Для забезпечення стабільного копіювання мікрорельєфу поля кожен висівний блок, як правило, оснащується пружинним навантаженням. Модульна будова конструкції дає можливість оперативно змінювати кількість секцій на рамі та регулювати міжряддя відповідно до агротехнічних вимог.

Узагальнені технічні параметри сівалок типу ЈРН для n-рядних модифікацій характеризують їх як універсальні машини точного висіву овочевих культур [1,2]:

кількість посівних рядків залежно від виконання може бути 4, 6 або 8;

в конструкції застосовується механічний висівний апарат типу ЈРН, який забезпечує дозований і точний розподіл насіння в рядку;

як робочі органи для формування борозни, використовуються анкерні або дискові сошники, вибір яких визначається умовами роботи та агротехнічними вимогами;

агрегатування сівалки здійснюється з мінітракторами або мототракторами, при цьому необхідна потужність енергетичного засобу залежить від маси та комплектації машини і зазвичай починається з 12 - 15 к.с., а для важчих модифікацій може сягати 24 - 50 к.с.;

ширина міжрядь є регульованою та визначається геометрією рами: мінімальна відстань між сусідніми висівними блоками ЈРН становить приблизно 16 - 18 см, тоді як максимальна ширина може досягати 70 - 75 см і більше;

глибина загортання насіння змінюється в широких межах, найчастіше в діапазоні 1 - 8 см, що дає змогу адаптувати сівалку до різних культур і стану ґрунту;

відстань між насінинами в рядку регулюється шляхом зміни передавальних чисел у приводному редукторі та/або встановленням висівних катушок з різною кількістю і розмірами комірок. Завдяки цьому можливий широкий діапазон кроку висіву, орієнтовно від 2,5 см до 30 см і більше, залежно від обраної конфігурації;

насіннєві бункери, як правило, встановлюються окремо на кожен висівний модуль; їх місткість може складати близько 3 л на блок;

робоча швидкість сівалки зазвичай не перевищує 5 - 8 км/год, що відповідає вимогам до точного висіву;

маса агрегату варіює залежно від кількості секцій та конструкції рами і може коливатись від приблизно 70 - 150 кг для чотирирядних виконань до більших значень для шести та восьмирядних моделей.

З конструктивної точки зору овочева сівалка ЈРН (рис. 2.3) складається з ряду основних вузлів. Система підвіски включає елементи кріплення секції та механізм її навантаження, які забезпечують стабільне копіювання рельєфу поля. Висівний апарат приводиться в дію від переднього опорно-привідного

колеса через коробку передач. В коробці передач передбачена можливість встановлення змінних зірочок, добір яких здійснюється залежно від культури та необхідного кроку висіву, відповідний блок змінних елементів розміщується на рамі секції. Така схема приводу дозволяє гнучко налаштовувати параметри висіву та забезпечує стабільність роботи висівного механізму.

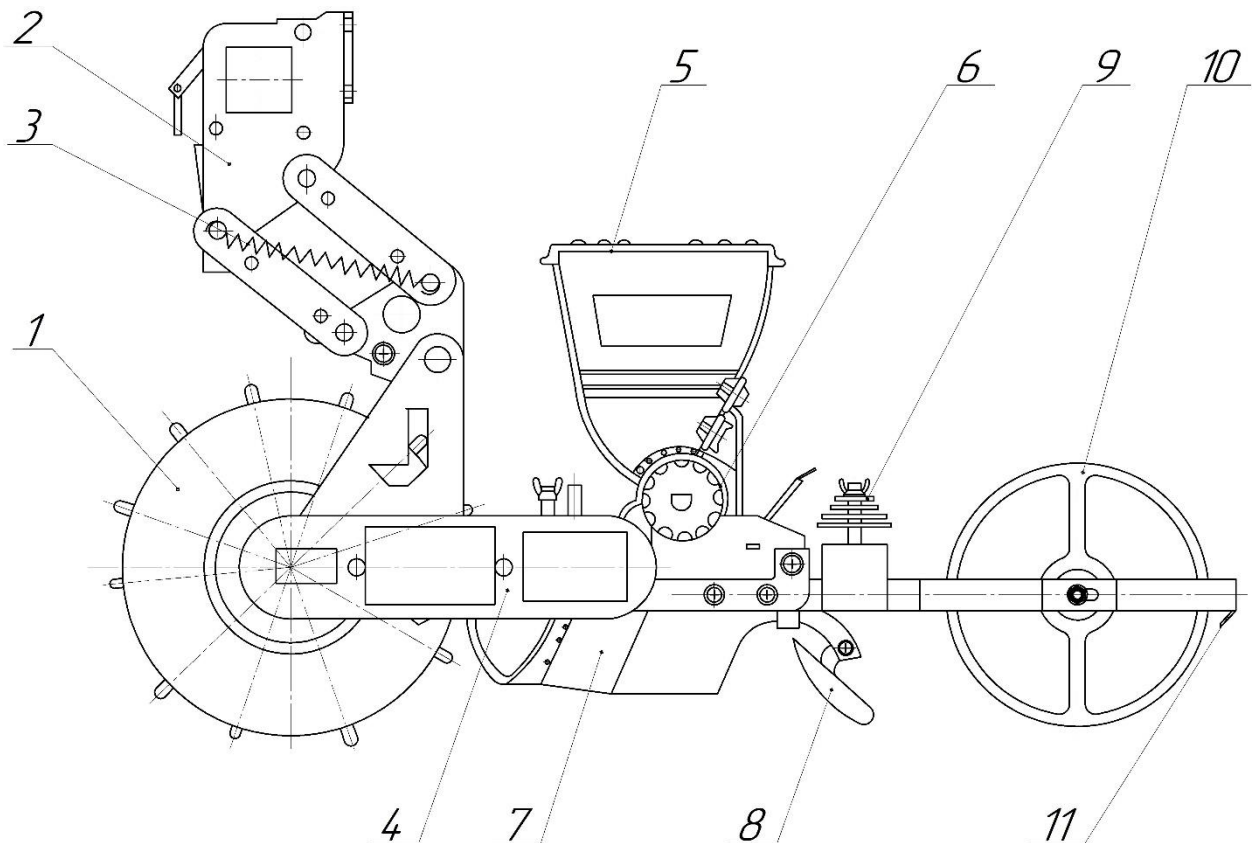


Рис. 2.3 Схема секції сівалки JPH 4:

1 – приводне колесо; 2 – кронштейн кріплення; 3 – притискна пружина; 4 – коробка зміни передач; 5 – насіннєвий бункер; 6 – механічний висівний апарат; 7 – анкерний сошник; 8 – пластинчастий загортач; 9 – блок зірочок; 10 – задній прикочуючий коток; 11 – зчищувач зайвого вологого ґрунту

Система укладання та загортання насіння виконана у вигляді килеподібного сошника 7, який має тупий кут входження в ґрунт і оснащений трубчастим елементом для формування насіннєвого ложа. Безпосередньо за ним розміщено пластинчастий загортач 8. Загортач конструктивно виконаний

як скребок з криволінійною робочою поверхнею та одночасно виконує функцію вирівнювання поверхні рядка. Задній прикочуючий коток 10, виготовлений з пластику та виконаний у формі циліндра, призначений не лише для остаточного загортання насіння, а і для вирівнювання та ущільнення ґрунту над ним. Для запобігання накопиченню ґрунту на поверхні котка передбачено зчищувач 11, який постійно очищує його під час роботи.

Принцип дії сівалки полягає в наступному. Обертання катушки висівного апарата передається від опорно-приводного колеса через ланцюгову передачу та коробку передач. У процесі обертання катушки насіння з бункера заповнює її комірки і транспортується з зони забору до точки скидання. Для забезпечення відповідності фактичної подачі насіння встановленій нормі висіву застосовується спеціальний зчищувач надлишкового насіння, який видаляє зайві зернини з комірок і не допускає їх потрапляння до зони висіву. Коли заповнена комірка досягає нижнього положення висівного апарата, насіння під дією сили тяжіння вільно падає у борозну, сформовану сошником.

Після проходження щік сошника борозна частково заповнюється ґрунтом за рахунок осипання його з її стінок. Далі загортач остаточно закриває борозну, вирівнюючи поверхню рядка. Завершальним етапом є робота заднього прикочуючого котка, який ущільнює ґрунт над насінням, забезпечуючи необхідний контакт насіннєвого матеріалу з ґрунтом та завершуючи технологічний процес посіву.

До основних показників якості виконання технологічних операцій відповідно до агротехнічних вимог при посіві овочевих культур сівалками точного висіву належать [3 - 6]:

дотримання встановленої норми висіву, при якому відхилення фактичної кількості висіяного насіння (на гектар або погонний метр рядка) від заданого не повинно перевищувати $\pm 5 - 10 \%$ залежно від культури та умов виконання посіву;

рівномірність розміщення насіння в рядку (точність інтервалу) – визначається часткою інтервалів, що відповідають заданому значенню, зазвичай у межах 0,5 - 1,5 від номінального кроку висіву;

частка пропусків, характеризується відсотком інтервалів, довжина яких перевищує 1,5 номінального значення, що свідчить про відсутність насінини в рядку;

частка двійників або зближених насінин визначається кількістю інтервалів, менших за 0,5 номінального, що вказує на одночасне висівання двох і більше насінин;

коефіцієнт варіації інтервалів між насінинами, це інтегральний показник, який відображає стабільність точного висіву; основна маса насіння повинна бути розміщена з інтервалом, близьким до нормативного, за мінімальної кількості пропусків і двійників (допустимі значення залежать від культури);

дотримання заданої глибини загортання, відхилення фактичної глибини розміщення насіння від агротехнічно обґрунтованої не повинно перевищувати $\pm 10 - 15 \%$, що зазвичай відповідає $\pm 0,5 - 1$ см залежно від культури та типу ґрунту;

рівномірність глибини загортання вздовж рядка, оцінюється за коефіцієнтом варіації або часткою насінин, розміщених у допустимому діапазоні; не менше 80 - 85 % насіння має бути загорнуто в межах встановлених відхилень (наприклад, задана глибина ± 1 см);

точність витримування ширини міжрядь, різниця між фактичною та заданою шириною міжряддя (основного або стикового) не повинна перевищувати $\pm 1 - 2$ см, що забезпечує можливість ефективного механізованого міжрядного обробітку;

пошкодження насіння висівним апаратом, частка насінин із механічними дефектами (тріщини, подрібнення) не повинна перевищувати 1 - 2 %, що є критично важливим показником для овочевих культур;

якість загортання та ущільнення ґрунту передбачає повне загортання насіння, забезпечення його контакту з вологим шаром ґрунту, відсутність великих грудок над насіннєвим ложем і помірне ущільнення рядка без утворення ґрунтової кірки; уся кількість насіння має бути закрита дрібногрудкуватим, злегка ущільненим ґрунтом;

прямолінійність рядків, характеризується відхиленням рядка від умовної прямої на заданій довжині та має важливе значення для подальшого догляду за посівами, особливо при механізованих операціях; допустимі значення залежать від ширини міжрядь і способу обробітку.

Комплексна оцінка наведених показників дає змогу об'єктивно визначити рівень якості виконання посівних операцій сівалкою типу JPH 4 з урахуванням біологічних особливостей конкретної овочевої культури та умов її вирощування.

2.2 Порівняльний аналіз конструкцій овочевих сівалок які представлені в Україні

Проведемо розгорнутий порівняльний аналіз конструктивних особливостей овочевих сівалок, що представлені на ринку України, зосередившись на продукції найбільш відомих виробників, та зіставимо їх технічні і експлуатаційні характеристики із сівалками типу JPH - машинами з механічними катушковими (роликовими) висівними апаратами фірм Jang / Terradonis французького походження.

Сівалка типу JPH 4 [1,2] (рис. 2.4). За принципом дії висівного механізму дана сівалка належить до механічних машин катушкового типу. Висів здійснюється за допомогою змінних роликових катушок із комірками, геометричні параметри яких підбираються відповідно до розміру, форми та фізичних властивостей насіння конкретної культури.

Рівень точності висіву оцінюється, як достатньо високий, особливо під час роботи з каліброваним або дражованим насінням. Разом з тим, точність значною мірою визначається відповідністю катушки параметрам насіння при

використанні неоднорідного або некаліброваного матеріалу можливе зростання кількості пропусків та двійників.

Сівалки JPH 4 характеризуються високою універсальністю, що досягається завдяки швидкій зміні висівних катушок. Модульна компоновка робочих секцій дає змогу оперативно варіювати кількість рядків і ширину міжрядь, що забезпечує адаптацію машини до широкого спектра овочевих культур та різних схем посіву.



Рис. 2.4 Овочева сівалка JPH 4

До конструктивно-технологічних особливостей слід віднести простоту будови, зручність регулювань і невисоку вимогливість до технічного обслуговування. Такі сівалки широко застосовуються у малих і середніх господарствах, зокрема в системах органічного землеробства. Порівняно з пневматичними аналогами, вони менш чутливі до якості передпосівної підготовки ґрунту. Рівень складності експлуатації та обслуговування є низьким, що зумовлено мінімальною кількістю складних вузлів і відсутністю електронних систем керування. За вартісними показниками сівалка JPH 4 належать до низького або середнього цінового сегмента, залежно від комплектації та додаткових опцій.

Французька компанія Monosem [7], що має світове визнання, спеціалізується на виробництві пневматичних (вакуумних) сівалок точного

висіву та пропонує лінійку машин, адаптованих для овочевих культур (рис. 2.5). Сівалки серії Monosem MS вважаються еталонними з точки зору точності пневматичного висіву. Вони стабільно працюють із насінням різної форми та розміру, забезпечуючи мінімальний рівень пропусків і двійників, та суттєво перевершують сівалку JPH 4 за точністю і повторюваністю інтервалів у рядку.



Рис. 2.5 Сівалка Monosem MS

Дані машини характеризуються високим рівнем універсальності завдяки широкому асортименту змінних висівних дисків, варіантів сошників і додаткового оснащення, зокрема систем внесення мінеральних добрив і мікрогранул. Масивні та конструктивно надійні висівні секції забезпечують стабільну роботу навіть за складних ґрунтових і агрофізичних умов.

До ключових особливостей сівалок Monosem MS належать жорстка та довговічна конструкція, використання сучасних систем контролю процесу висіву, а також можливість оснащення електроприводами висівних апаратів (зокрема Monoshox NG Plus M) і інтеграції з системами управління стандарту ISOBUS. Такі технічні рішення орієнтовані насамперед на великі

спеціалізовані господарства, для яких критично важливими є максимальна точність і стабільність посіву.

В той же час, сівалка Monosem характеризується підвищеною складністю експлуатації та технічного обслуговування, а також належать до високого цінового сегмента. На ринку України вони представлені, хоча і не настільки масово, як техніка брендів Gaspardo чи Kverneland, при цьому сервісне обслуговування здійснюється через офіційну дилерську мережу.

Компанія Kverneland (Норвегія / Нідерланди) [8] спеціалізується на виробництві високоточних овочевих сівалок пневматичного (вакуумного) типу, зокрема серії Miniair Nova (рис. 2.6). Ці машини орієнтовані на точний висів овочевих культур і демонструють особливо високі показники точності при роботі з дрібнонасіньовими культурами, такими як морква та цибуля. Використання вакуумної системи забезпечує акуратне захоплення і транспортування насіння без його механічного пошкодження, що дозволяє перевищувати сівалки типу JPH 4 за якістю висіву саме дрібного насіння.



Рис. 2.6 Kverneland Miniair Nova

Сівалки Kverneland відзначаються значною універсальністю, що досягається завдяки широкому асортименту змінних висівних дисків,

різноманітних варіантів рам, сошників, прикочуючих котків та загортачів, які можуть підбиратися з урахуванням конкретних ґрунтово-кліматичних і технологічних умов. Така гнучкість конфігурації дозволяє адаптувати машину до різних схем посіву та культур. До технологічних особливостей належать застосування сучасних технічних рішень, характерних для платформи Accord/Kverneland, висока надійність вузлів, а також можливість інтеграції з системами управління стандарту ISOBUS і засобами електронного контролю параметрів посіву. Водночас реалізація максимальної точності висіву потребує ретельної та якісної підготовки ґрунту.

За своїм призначенням сівалки Miniair Nova орієнтовані на середні та великі спеціалізовані овочеві господарства. Рівень складності технічного обслуговування оцінюється як середній або підвищений, а вартість відноситься до високого цінового сегмента. На території України техніка Kverneland має добру представленість, підтримується дилерською мережею та сервісним обслуговуванням.

Італійська компанія Sfoggia [9] випускає пневматичні сівалки точного висіву, зокрема серії Calibra Evo та Sigma V, які орієнтовані на посів овочевих культур (рис. 2.7).



Рис. 2.7 Sfoggia Calibra Evo

За показниками точності ці машини відповідають рівню провідних європейських виробників вакуумних сівалок і суттєво перевищують сівалки типу JPH 4, особливо під час роботи з некаліброваним або необробленим насінням. Висівні системи забезпечують стабільне дозування та рівномірне укладання насіння незалежно від його фракційного складу. Сівалка Sfoggia характеризується високою універсальністю, що досягається завдяки можливості оснащення різними типами висівних дисків, сошників (у тому числі дводискових), а також системами локального внесення мінеральних добрив. Конструкція машини відзначається міцністю та застосуванням сучасних комплектуючих, а за потреби вона може бути укомплектована електронними системами контролю і моніторингу процесу висіву. За своїм функціональним призначенням такі сівалки розраховані переважно на середні та великі сільськогосподарські підприємства. Рівень складності технічного обслуговування оцінюється як середній або підвищений, що значною мірою залежить від обраної комплектації, а вартість машин належить до високого цінового сегмента. На українському ринку техніка Sfoggia доступна через офіційні дилерські структури.

Італійська компанія Gaspardo [10] (рис. 2.8) випускає широкий спектр посівної техніки, до якого входять як механічні сівалки (для овочевих культур застосовуються рідше, зокрема окремі елементи типу MSO), так і пневматичні вакуумні моделі. До найбільш поширених пневматичних овочевих сівалок належать серії Orietta, SP Dorada, а також MTR, яка першочергово орієнтована на просапні культури та кукурудзу, проте може використовуватися і для певних видів овочів. Саме пневматичні модифікації становлять основну частку асортименту виробника. За показниками точності вакуумні сівалки Gaspardo суттєво перевищують механічні системи JPH 4, особливо під час висіву дрібного, легкого або некаліброваного насіння. Використання пневматичного принципу дозування дозволяє зменшити кількість пропусків і двійників та забезпечити стабільні інтервали між насінинами. Універсальність цих машин оцінюється, як дуже висока завдяки наявності широкої номенклатури висівних

дисків для різних культур, а також можливості роботи за різними технологічними схемами: по рівній поверхні, на гребенях або стрічковим способом.



Рис. 2.8 Gaspardo Orietta 8R

Крім того, виробник пропонує значний вибір додаткового оснащення, зокрема системи локального внесення добрив і мікрогранул, різні типи сошників та прикочуючих котків. Конструктивно сівалки Gaspardo базуються на сучасних технічних рішеннях і можуть комплектуватися електронними системами контролю процесу висіву, підтримкою стандарту ISOBUS, а також електричним приводом секцій (серія Chrono). У порівнянні з простими механічними сівалками типу JPH 4, ці машини мають значно складнішу будову, що зумовлює їх орієнтацію на професійне овочівництво. Основними споживачами є середні та великі сільськогосподарські підприємства.

Рівень складності технічного обслуговування таких сівалок оцінюється, як середній або підвищений, особливо для пневматичних моделей, оснащених електронними компонентами. Цінова категорія коливається від середньої у базових комплектаціях до високої при використанні розширеного набору опцій. В Україні техніка Gaspardo широко представлена, має розвинену дилерську мережу та сервісну підтримку, що підвищує її привабливість для вітчизняних виробників овочевої продукції.

Овочева сівалка Agricola PKN виробництва італійської компанії Agricola Italiana [11] належить до сучасного покоління пневматичних сівалок точного висіву. Її конструктивною особливістю є безпосереднє кріплення посівних секцій до основної рами, що забезпечує підвищену компактність агрегату, покращену стійкість та зменшення коливань у процесі роботи (рис. 2.9).



Рис. 2.9 Agricola PKN

Фірма Agricola Italiana спеціалізується виключно на розробці та виробництві овочевих сівалок, переважно вакуумного типу, і пропонує надзвичайно широкий асортимент моделей, орієнтованих на специфічні потреби інтенсивного овочівництва. Сівалки цього бренду відзначаються високим, фактично експертним рівнем точності висіву для різних овочевих культур, у тому числі з дуже дрібним, неоднорідним або нетиповим насінням. Конструкція окремих секцій дозволяє здійснювати висів у дві або навіть три строчки з однієї посівної одиниці, що значно розширює технологічні можливості агрегату. За показниками точності та гнучкості налаштувань ці сівалки суттєво перевищують механічні системи типу JPH.

Універсальність сівалок Agricola максимально адаптована саме до овочевих технологій. Виробник пропонує різні типи рам, посівних секцій і

сошників для роботи на рівній поверхні, грядках, під агроволокном, а також для спеціалізованого висіву у касети з подальшим вирощуванням розсади. До технологічних переваг належать інноваційні рішення, орієнтовані на овочеві культури, зокрема спеціальні сошники та системи дводрядкового або багаторядкового висіву в межах однієї секції. Сівалка PKN розрахована на професійні овочеві господарства різного масштабу, які потребують високоспеціалізованих і гнучких технічних рішень. Рівень складності обслуговування оцінюється, як середній або підвищений, що зумовлено використанням пневматичних систем і великої кількості регулювань. Орієнтовна вартість техніки належить до високого або дуже високого цінового сегмента. В Україні сівалки цього виробника представлені через мережу спеціалізованих дилерів.

Узагальнюючи результати порівняльного аналізу основних типів овочевих сівалок, що експлуатуються в Україні, можна зробити висновок, що сівалки типу JPH 4 є раціональним механічним варіантом для забезпечення точного висіву за умов обмежених фінансових ресурсів. Вони найбільш доцільні для малих і середніх господарств, де важливими є простота конструкції, надійність механічних вузлів і зручність налаштування під каліброване насіння. Водночас якість висіву такими сівалками значною мірою визначається однорідністю насіннєвого матеріалу та правильним вибором висівної катушки та інших робочих органів, що обмежує їхню ефективність у порівнянні з пневматичними системами у складніших технологічних умовах.

2.4 Аналіз конструктивних особливостей робочих органів овочевих сівалок

Рівномірність висіву овочевих культур значною мірою визначається роботою тих елементів сівалки, які безпосередньо забезпечують укладання насіння в ґрунт, а саме: сошників, борозних ущільнювачів, загортачів і задніх прикочуючих котків. Саме узгоджена дія цих робочих органів формує якість посіву та умови для подальшого проростання насіння.

Сошники виконують ключову функцію створення борозни необхідної глибини і ширини, в яку укладається насіння. В овочевих сівалках застосовуються різні типи сошників, кожен з яких має свої конструктивні особливості, переваги та обмеження.

Анкерний (наральниковий) сошник являє собою клиноподібний нерухомий робочий орган, що розсуває ґрунт і формує дно борозни своєю нижньою частиною. Такі сошники зазвичай виготовляються з литого чавуну або сталі. Їх основними перевагами є простота конструкції, невисока собівартість і ефективна робота на легких, добре підготовлених ґрунтах без значної кількості рослинних решток. Вони забезпечують достатньо ущільнене дно борозни, що позитивно впливає на контакт насіння з ґрунтом. Водночас анкерні сошники мають істотні недоліки: вони схильні до забивання рослинними рештками, нестабільно працюють на важких або перезволожених ґрунтах і можуть залипати вологим ґрунтом. Крім того, при зміні щільності ґрунту глибина загортання насіння часто коливається [12-14]. Саме такі сошники характерні для простих механічних сівалок, зокрема і JPH 4.

Однодисковий сошник складається з одного плоского або сферичного диска, встановленого під прямим або іншим кутом до напрямку руху агрегату. Його перевагою є краща здатність прорізати рослинні рештки порівняно з анкерним сошником і меншим нагортанням ґрунту. Однак під час роботи він може відхиляти ґрунт переважно в один бік, формуючи асиметричну борозну. Через це такий тип сошника використовується обмежено і поступається за поширеністю дводисковим рішенням [12-14].

Дводисковий сошник складається з двох плоских дисків, встановлених під кутом один до одного так, що в нижній частині вони сходяться, утворюючи V-подібну форму борозни. Цей тип є поширеним на сучасних сівалках точного висіву провідних виробників, таких як Gaspardo, Kverneland, Monosem та ін. Його перевагами є ефективне прорізання рослинних решток і ущільненого ґрунту, формування чіткої та симетричної борозни, стабільне дотримання глибини загортання, особливо за наявності бічних коліс контролю глибини, а

також мінімальне порушення структури ґрунту за межами борозни. Недоліками є складніша конструкція, вища вартість і потреба в точному регулюванні [12-14].

Для покращення умов розміщення насіння широко застосовуються ущільнювачі дна борозни та борозні котки. Їх призначення полягає в ущільненні ґрунту перед потраплянням насінини, вирівнюванні її положення за глибиною та забезпеченні надійного контакту з вологим шаром ґрунту. Це сприяє стабільності глибини залягання насіння і підвищенню польової схожості. За конструктивним виконанням такі елементи можуть бути інтегрованими або окремими. В анкерних сошниках функцію ущільнення дна борозни часто виконує сама п'ята наральника, яка одночасно формує насіннєве ложе. Окремі борозні котки являють собою невеликі металеві, гумові або пластикові колеса, що розташовуються одразу за сошником або навіть усередині розрізу дводискового сошника. Вони ущільнюють ґрунт перед укладанням насіння і вирівнюють його положення по глибині. Додатково можуть застосовуватись ущільнювачі насіння у вигляді гнучких пластикових елементів або малих коліс, які притискають насінину безпосередньо до дна борозни. Такі рішення особливо ефективні на легких, пухких або пересушених ґрунтах, де важливо забезпечити контакт насіння з вологою.

Закриття борозни та остаточне формування ґрунтового шару над насінням здійснюють задні прикочуючі котки. Вони зсувають ґрунт із боків до центру борозни та забезпечують необхідне ущільнення навколо або над насіниною. Конструктивні варіанти таких котків є надзвичайно різноманітними. Одинарні котки застосовуються рідше, зазвичай вони мають металеву або гумову поверхню. Найпоширенішими є парні котки, встановлені під кутом у V-подібній схемі, що спрямовує ґрунт до центру борозни. Вони можуть бути симетричними або зміщеними відносно рядка. Гладкі гумові котки ефективні на середніх і важких ґрунтах за оптимальної вологості, забезпечуючи рівномірне ущільнення. Гумові котки з протектором або

грунтозачепами покращують зчеплення з поверхнею та сприяють самоочищенню. Важкі чавунні котки відзначаються довговічністю і створюють інтенсивне ущільнення; вони можуть бути гладкими або профільованими та інколи застосовуються в комбінації з гумовими. Зубчасті або шиповані котки активно руйнують бічні стінки борозни, запобігаючи їх переущільненню та утворенню кірки, що особливо важливо на важких і вологих ґрунтах або за наявності пожнивних решток. Альтернативою коткам можуть бути дископодібні загортальні елементи, які у вигляді увігнутих дисків згортають ґрунт до центру борозни. Також застосовуються пальцеві або сітчасті конструкції, що м'яко кришать ґрунт і закривають борозну без надмірного ущільнення [12-14].

Загортачі овочевих сівалок виконують завершальну функцію – вони вирівнюють поверхню ґрунту над рядком, формують мульчуючий пухкий шар і сприяють руйнуванню ґрунтової кірки. За конструкцією це можуть бути прості волокуші у вигляді ланцюгів, легкі пальцеві борони або пружинні загортачі пластинчастого чи пальцевого типу. У багатьох випадках такі елементи є додатковим, опціональним обладнанням, проте їх використання значно покращує умови проростання, особливо на ґрунтах, схильних до заплівання [12-14].

Усі перелічені робочі органи секції овочевої сівалки функціонують як єдиний технологічний комплекс. Кінцева якість посіву визначається не лише конструкцією окремих елементів, а і правильністю їх взаємного налаштування та відповідністю конкретним умовам роботи, зокрема типу ґрунту, його вологості, кількості рослинних решток і біологічних особливостей культури. Сучасні овочеві сівалки пропонують широкий спектр конструктивних рішень, що дозволяє адаптувати агрегат до різних технологій вирощування. Водночас актуальним залишається завдання підвищення універсальності робочих органів, що дасть змогу зменшити вартість машин, підвищити їх технологічну досконалість і забезпечити якісний посів широкого асортименту овочевих культур.

3. Наукова частина

Актуальність теми. Сучасні технології вирощування овочевих культур висувають підвищені вимоги до точності виконання агротехнічних операцій, серед яких вирішальне місце займає посів, адже саме на цьому етапі формується потенціал майбутньої врожайності та якості продукції. В умовах необхідності підвищення ефективності аграрного виробництва і оптимального використання матеріальних та енергетичних ресурсів особливої актуальності набуває вдосконалення технічних засобів, здатних забезпечити оптимальні умови для проростання насіння овочевих культур. Визначальну роль у забезпеченні необхідних параметрів посіву, глибини загортання та ступеня ущільнення ґрунту в зоні насінневого ложа відіграють робочі органи секцій овочевих сівалок. Недостатня досконалість їх конструкції або невідповідність геометричних і кінематичних параметрів агротехнічним вимогам призводять до порушення процесу посіву, зниження польової схожості, неоднорідності сходів і, як наслідок, до втрат урожаю та економічної ефективності виробництва. У зв'язку з цим актуальним науково-технічним завданням є модернізація конструкцій загортаючих робочих органів овочевих сівалок та обґрунтування їх оптимальних параметрів.

Мета і задачі дослідження. Метою досліджень є підвищення ефективності роботи секції овочевої сівалки шляхом розробки нової конструкції прикочуючого котка та обґрунтування його конструктивно-технологічних параметрів.

Для досягнення мети поставлено такі **задачі:**

провести аналіз конструкцій секцій овочевих сівалок та прикочуючих котків, які на них використовуються, визначити недоліки та обґрунтувати напрями їх усунення;

дослідити процес роботи прикочуючого котка удосконаленої конструкції овочевої сівалки, обґрунтувати його конструктивні особливості та визначити їх вплив на технологічний процес загортання насіння;

обґрунтувати кількісні характеристики параметрів конструкції нового робочого органу.

Об'єкт дослідження: технологічний процес роботи прикочуючого котка овочевої сівалки та його робочих елементів.

Предмет дослідження: конструктивно-технологічні параметри прикочуючого котка овочевої сівалки та технологічні властивості ґрунту, які впливають на їх роботу.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

визначено закономірності впливу робочих поверхонь прикочуючого котка овочевої сівалки на процес загортання насіння, а також обґрунтовані раціональні значення цих параметрів;

досліджено зміну фізичних властивостей ґрунту під час загортання насіння та встановлено, як конструктивні особливості прикочуючого котка впливають на якість виконання технологічного процесу;

аналітичним шляхом визначено раціональні параметри робочих поверхонь прикочуючого котка овочевої сівалки, які сприяють покращенню якості загортання насіння в борозні та підвищенню ефективності виконання процесу посіву насіння в цілому.

3.1 Аналіз конструкцій прикочуючих котків овочевих сівалок

Прикочуючі котки є одним із головних елементів посівної секції овочевої сівалки та безпосередньо впливають на умови проростання насіння [15-19]. Їх основним призначенням є ущільнення ґрунту в зоні рядка після укладання насіння, забезпечення щільного контакту насінини з вологим шаром ґрунту, вирівнювання поверхні борозни та стабілізація глибини загортання. Залежно від ґрунтово-кліматичних умов та агротехнічних вимог до вирощування овочевих культур, виробниками, можуть застосовуватись різні конструктивні виконання прикочуючих котків.

Самим розповсюдженим є широкий циліндричний гладкий металевий коток (рис. 3.1), який забезпечує суцільне інтенсивне прикочування ґрунту по

всій ширині рядка. Така конструкція ефективна на легких і сухих ґрунтах, де необхідно відновити капілярний зв'язок та зменшити втрати вологи. Водночас на вологих і важких ґрунтах його використання може призводити до надмірного ущільнення та утворення ґрунтової кірки. Основними недоліками цього котка є схильність до налипання ґрунту за підвищеної вологості, надмірне ущільнення посівного шару та підвищений ризик утворення ґрунтової кірки після дощів, що негативно впливає на аерацію та ускладнює появу сходів.

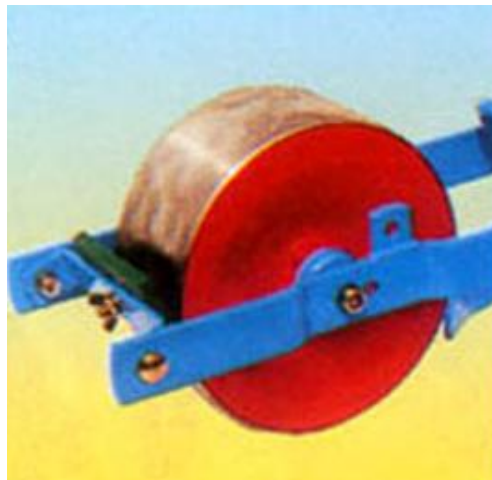


Рис. 3.1 Широкий циліндричний гладкий металевий коток

Конусний гладкий металевий коток (рис.3.2) відрізняється змінною шириною контакту з ґрунтом, що дозволяє формувати диференційоване ущільнення борозни.

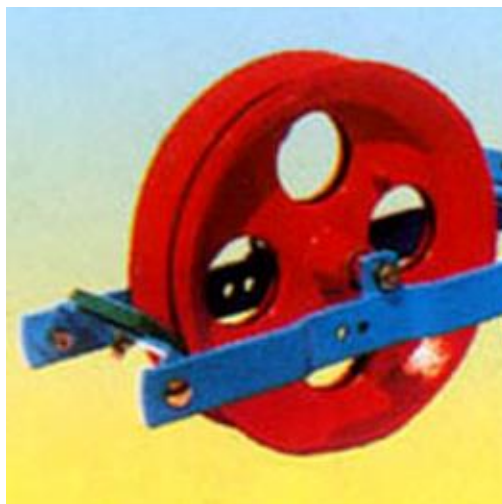


Рис. 3.2 Конусний гладкий металевий коток

Підвищений тиск по краях та зменшений у центральній частині створюють сприятливі умови для накопичення вологи в зоні розміщення насіння. Така конструкція є доцільною для середньо та важкосуглинкових ґрунтів і сприяє покращенню польової схожості. До недоліків такої конструкції належать складність виготовлення та вища вартість, підвищені вимоги до точності налаштування, а також можливість нерівномірного ущільнення при роботі на полях з неоднорідною структурою ґрунту та схильність до налипання ґрунту за підвищеної вологості.

Середні та широкі котки з гумовими шинами (рис. 3.3) забезпечують м'яке прикочування завдяки пружній деформації гуми. Це знижує пікові контактні напруження, зменшує руйнування ґрунтової структури та практично усуває налипання ґрунту. Вони є універсальними та можуть застосовуватись у широкому діапазоні вологості ґрунту.

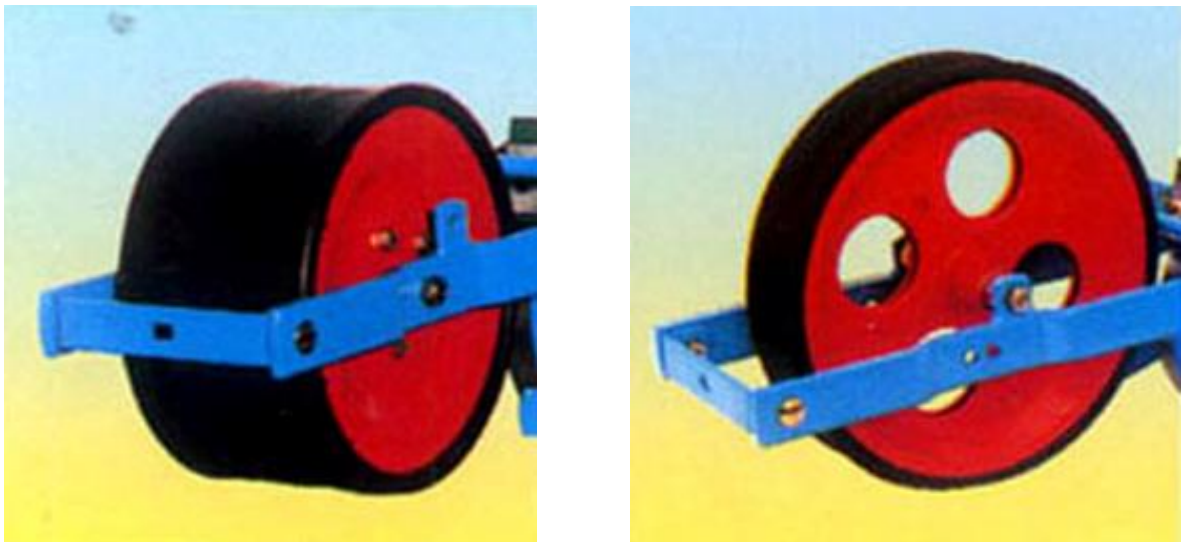


Рис. 3.3 Середні та широкі котки з гумовими шинами

Разом з тим, до їх недоліків слід віднести підвищену вартість, зношування гумового шару в абразивних умовах, а також зростання опору коченню і навантаження на підшипникові вузли при значній ширині котка.

Металевий сітчастий коток (рис. 3.4) виконує прикочування з мінімальною площею контакту. Така конструкція забезпечує часткове ущільнення ґрунту, зберігаючи його аерацію та запобігаючи утворенню кірки.

Найбільш ефективний він на перезволожених і важких ґрунтах, де суцільне прикочування є небажаним. Недоліками сітчастого котка є недостатній ступінь ущільнення для дрібнонасінних культур, обмежена ефективність на сухих ґрунтах та можливе забивання рослинними рештками.

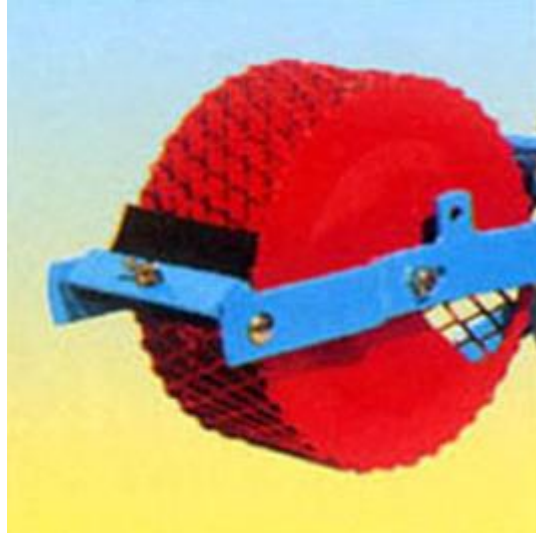


Рис. 3.4 Металевий сітчастий коток

Вузькі циліндричні котки, як металеві, так і з гумовими шинами, (рис. 3.5) здійснюють локальне прикочування безпосередньо над рядком. Вони дозволяють точно регулювати ступінь ущільнення в зоні насіння, практично не впливаючи на міжряддя. Особливо доцільне їх використання при висіві овочевих культур з дрібним насінням, чутливих до надмірного ущільнення ґрунту.



Рис. 3.5 Вузькі циліндричні котки металеві та з гумовими шинами

Основними недоліками таких котків є нестійкість руху на нерівній поверхні поля, ризик локального переущільнення посівного шару (особливо у металевих виконаннях), а також зменшена ефективність прикочування за наявності грудкуватого ґрунту.

Таким чином, застосування різних конструкцій прикочуючих котків на овочевих сівалках дозволяє адаптувати процес прикочування до конкретних умов роботи, забезпечуючи оптимальне поєднання ущільнення ґрунту, збереження вологи та сприятливого повітряного режиму в зоні проростання насіння.

Як показує детальний розгляд існуючих котків овочевих сівалок, їх конструкція здебільшого складається із простих елементів, що значно знижує їх універсальність і збільшує номенклатуру. Тому перспективним напрямом вдосконалення таких робочих органів є розробка комбінованих конструкцій, які поєднують в собі більшість переваг вже існуючих.

3.2 Обґрунтування удосконаленої конструкції котка овочевої сівалки

З метою усунення недоліків та покращання роботи секції робочих органів овочевої сівалки нами була розроблена удосконалена конструкція прикочуючого котка комбінованого типу (рис. 3.6).

Поставлена задача вирішується тим, що борозний коток виконаний комбінованим і має шину атмосферного тиску середня частина якої призначена для загортання і вирівнювання насіння по глибині борозни та має циліндричний профіль з шириною робочої поверхні яка більша за ширину борозни для висіву насіння овочевих культур, бічні частини шини призначені для ущільнення ґрунту з обох боків рядка з метою покращання підтягування капілярної вологи до насіння і мають конічний профіль та забезпечують правильний розподіл щільності по глибині борозни, більша щільність на глибині залягання насіння менша безпосередньо над ним, причому внутрішня конструкція шини забезпечує плавне деформування центральної частини і

мінімальне бічних частин за рахунок змінної товщини її стінок, що сприяє м'якому ущільненню центру борозни і агресивному з боків, конструкція шини сприяє її демпфуванню і самоочищенню.

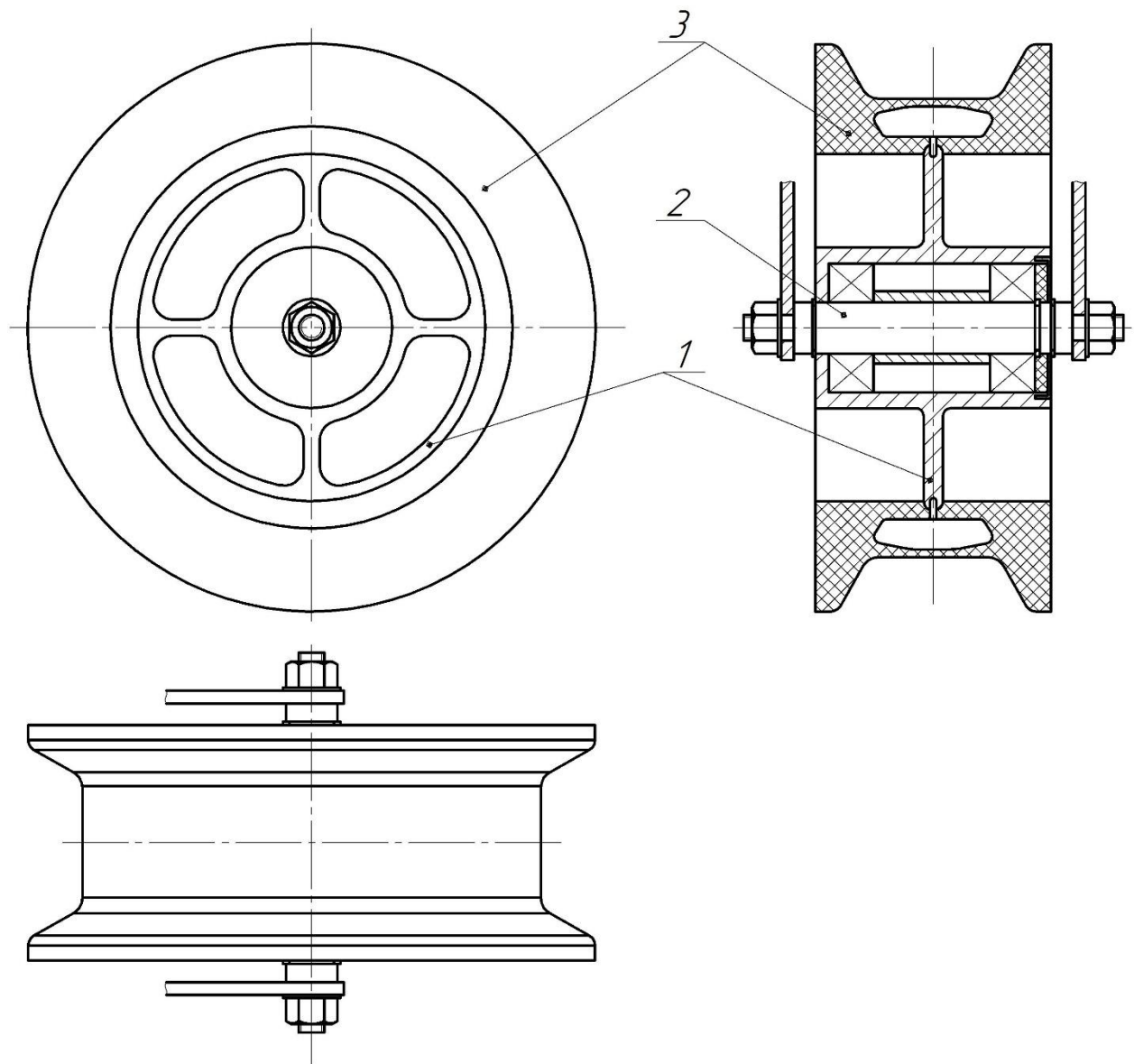


Рис. 3.6 Удосконалений коток сівалки JPH 4

На рис. 3.6 показано три проекції удосконаленого прикочуючого котка овочевої сівалки. Запропонована конструкція складається із диска з корпусом 1, вісі 2, шини 3.

Запропонований коток в процесі виконання посіву працює так: під час руху бічні конічні частини шини занурюючись в ґрунт формують необхідну для підтягування капілярної вологи щільність ґрунту з обох боків борозни в

зоні залягання насіння. За рахунок конічної форми бічних частин шини частина ґрунту направляється до центра рядка де на нього починає тиснути середня частина шини. Середня частина шини діючи на рядок вертикально вирівнює ґрунт над насінням формуючи шар незначного ущільнення безпосередньо над насінням. За рахунок прямолінійної форми і вертикальної дії котка рядок вирівнюється, а при виникненні додаткових навантажень прямолінійна частина шини деформується за рахунок змінній товщини стінок в середині, при цьому загальний тиск на ґрунт від дії котка не змінюється. Після проходження котка борозна має рівномірно ущільнені зони з обох боків і менш ущільнений ґрунт безпосередньо над насінням, що покращує умови проростання насіння овочевих культур.

Ефективність роботи прикочуючого котка полягає в тому, що:

1. За рахунок конструкції шини атмосферного тиску насіння не тільки розміщується рівномірно, як по довжині так і по глибині рядка, а і загортається шарами ґрунту різної щільності, навколо насіння щільність ґрунту більша, а над насінням в зоні росту менша.

2. За рахунок комбінованої конструкції шини котка відбувається пошарове ущільнення ґрунту в рядку і утворення сприятливих умов для його росту та виконується її самоочищення.

3.3 Розробка математичної моделі взаємодії котка з ґрунтом

Для можливості розробки математичної моделі взаємодії прикочуючого котка овочевої сівалки з ґрунтом необхідно визначити які геометричні параметри конструкції здійснюють вплив на процес. На рис. 3.7 наведені конструктивні параметри запропонованого котка.

Параметри які можуть бути враховані в моделі:

B - ширина котка, м;

$B_{ц}$ - ширина циліндричної ділянки шини атмосферного тиску, м;

B_k - ширина конічної ділянки на закінчені конусної частини котка по зовнішньому контуру, м;

γ - кут розхилу конічної частини котка, град;

h - товщина стінки шини атмосферного тиску по центру котка, м;

$D_{\text{ц}}$ - діаметр внутрішньої циліндричної поверхні котка, м;

D - зовнішній діаметр котка, м.

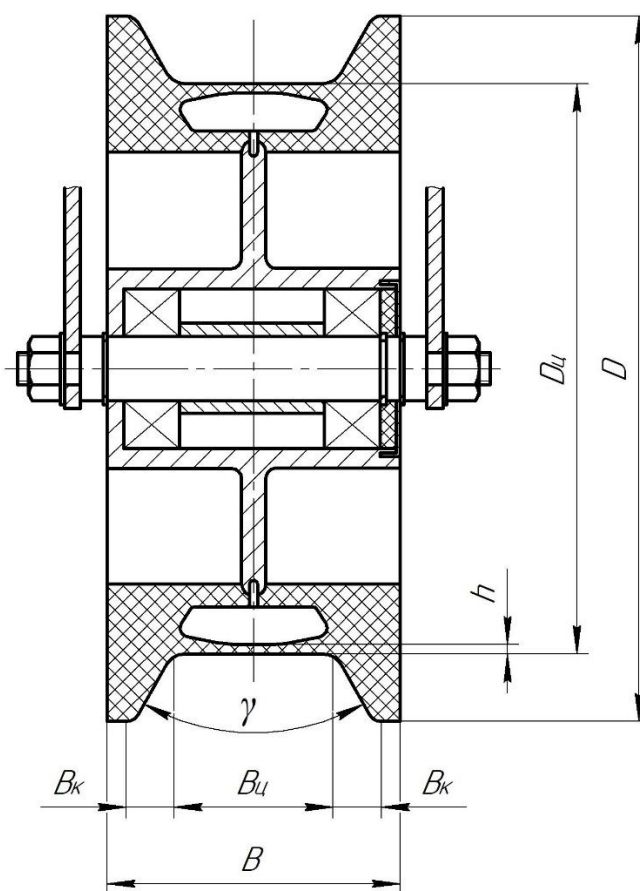


Рис. 3.7 Конструктивні параметри котка

Розглянемо переріз котка в площині, перпендикулярній до напрямку руху (YOZ). Початок координат розмістимо в центрі симетрії котка на рівні осі обертання. Прийmemo систему координат: X - напрямок руху, Y - поперечна вісь (ширина), Z - вертикаль (глибина) (рис. 3.8).

Ширину котка B розділимо на дві ділянки:

центральна, циліндрична - ширина B_u , радіус R_u ;

бічні, конічні - ширина робочої частини конуса з кожного боку B_k .

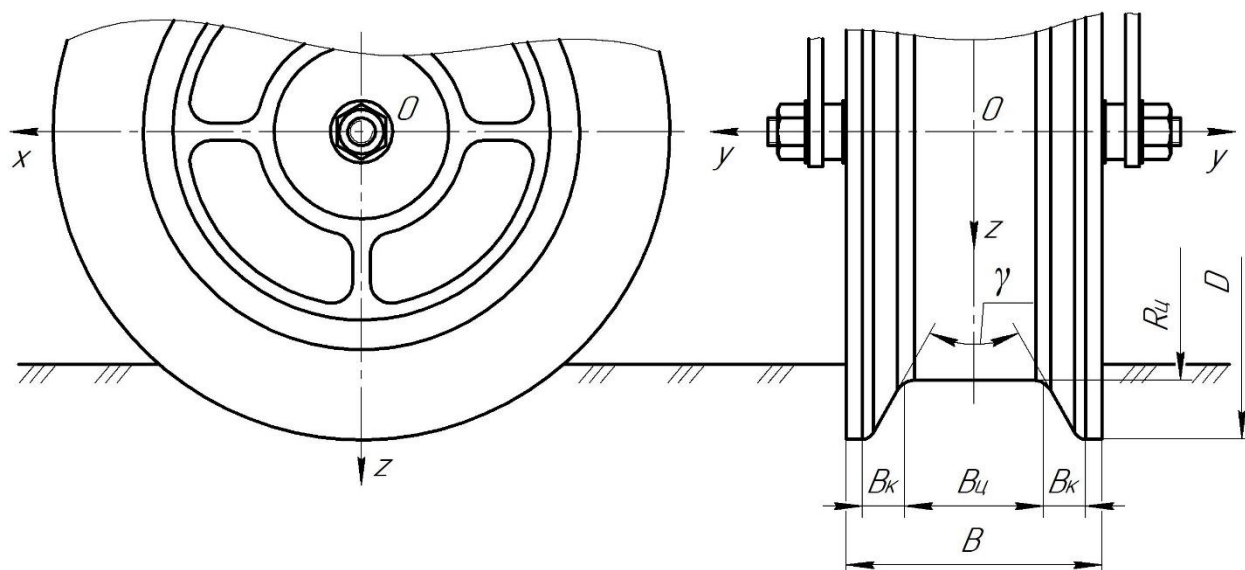


Рис. 3.8 Розрахункова схема поперечного перерізу котка

Нехай $y = 0$ - центр котка, тоді:

$$R(y) = \begin{cases} R_u, & \text{при } |y| \leq \frac{B_u}{2} \\ R_u + \left(|y| - \frac{B_u}{2} \right) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\gamma}{2}\right), & \text{при } \frac{B_u}{2} < |y| < \frac{B}{2} \end{cases} \quad (3.1)$$

де γ - кут розхилу конічної частини котка;

y - відстань від центру котка вздовж осі;

R_u - радіус центральної частини.

$$R_u = \frac{D}{2} - \frac{B - B_u}{2} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\gamma}{2}\right). \quad (3.2)$$

Розглянемо модель деформації шини. Особливістю запропонованої конструкції котка є поєднання деформації ґрунту (пластична) та деформації самої шини (пружна), особливо в центрі. Оскільки шина має отвори, внутрішній тиск повітря $P = P_{atm}$, то працює лише пружність конструкції.

Деформація шини $\lambda(y)$ у точці контакту залежить від розподіленого навантаження $q(y)$. Модель жорсткості елемента шини $k_u(y)$ базується на товщині стінки h та модулі пружності матеріалу E_u :

$$k_u(y) = k_{\Pi} \cdot E_u \cdot \left(\frac{h(y)}{R_3} \right)^3, \quad (3.3)$$

де k_{Π} - коефіцієнт форми внутрішньої порожнини;

$h(y)$ - товщина стінки у перерізі y ;

$\left(\frac{h(y)}{R_3} \right)^3$ - кубічна залежність, характерна для згину оболонки/пластини.

Рівняння деформації шини:

$$\lambda(y) = \frac{q(y)}{k_u(y)}, \quad (3.4)$$

де $\lambda(y)$ - це величина, на яку прогнулася гума в точці контакту;

$q(y)$ - розподілене навантаження на ділянці контакту.

Розглянемо модель деформації ґрунту та шини [20]. Загальне вертикальне переміщення осі котка Δz складається з занурення в ґрунт $z(y)$ та деформації шини $\lambda(y)$:

$$\Delta z = z(y) + \lambda(y) = \text{const}. \quad (3.5)$$

Звідси можна отримати глибину колії (деформацію ґрунту) в кожній точці y :

$$z(y) = \Delta z - \frac{q(y)}{k_u(y)}. \quad (3.6)$$

Розподіл тиску на ґрунт $q(y)$ залежить від його фізико-механічних властивостей. Для його знаходження використаємо модель деформації ґрунту [20]:

$$q(y) = k_z \cdot [z(y)]^n, \quad (3.7)$$

де k_z - коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту;

n - показник (0,8 – 1,0).

Підставимо в залежність (3.7) рівняння (3.6) і отримаємо рівняння для знаходження тиску $q(y)$:

$$q(y) = k_z \cdot \left[\Delta z - \frac{q(y)}{k_{uu}(y)} \right]^n. \quad (3.8)$$

Це трансцендентне рівняння, яке розв'язується відносно $q(y)$. Воно показує, що чим м'якша шина (менше k_z), тим менший тиск на ґрунт і менша глибина колії, оскільки деформацію бере на себе шина.

Розглянемо силову взаємодію котка із ґрунтом (рис. 3.9).

Під час роботи на коток діють наступні сили:

Q - вертикальне навантаження;

N - нормальна реакція ґрунту, яка перпендикулярна до поверхні конуса;

F_z - вертикальна складова, сила тримає вагу котка:

$$F_z = N \cdot \cos\left(\frac{\gamma}{2}\right). \quad (3.9)$$

F_y - горизонтальна складова, сила спрямована до осі симетрії рядка:

$$F_y = N \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right). \quad (3.10)$$

Сила F_y створює ущільнення ґрунту з обох боків рядка. Чим більший кут розхилу γ , тим сильніший бічний тиск, але тим важче котку заглиблюватися.

Сумарна сила бокового стиснення (з одного боку):

$$F_{\Sigma} = \int_{B_k} q(y) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\gamma}{2}\right) dS. \quad (3.11)$$

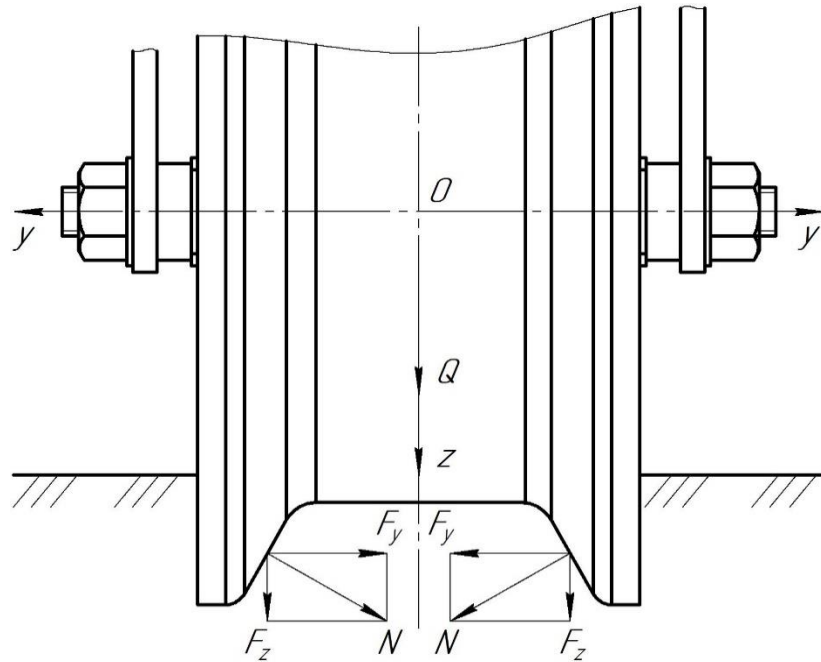


Рис. 3.9 Схема сил, що діють на коток під час роботи

Знайдемо вертикальне навантаження Q за допомогою інтегралу тиску по площі контакту S :

$$Q = \iint_S q(x, y) dx dy. \quad (3.12)$$

Для спрощеної плоскої задачі (проекція на фронтальну площину) [20]:

$$Q = \int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} q(y) \cdot L_{нк}(y) dy, \quad (3.13)$$

де $L_{нк}$ - довжина плями контакту в поздовжньому перерізі, яка залежить від глибини занурення:

$$L_{нк} \approx 2\sqrt{2R(y) \cdot z(y)}. \quad (3.14)$$

Визначаємо тяговий опір котка, який складається з опору зминання ґрунту та гістерезисних втрат в шині:

$$P_{\kappa} = P_z + P_{\text{ш}}. \quad (3.15)$$

Опір ґрунту:

$$P_z = \int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} \frac{k_z [z(y)]^{n+1}}{n+1} \cdot \omega(y) dy. \quad (3.16)$$

Опір шини (гістерезис), враховуємо, що шина атмосферна, а втрати енергії ідуть на тертя в гумі та перерозподіл повітря через отвори:

$$P_{\text{ш}} = k_{ок} \cdot Q, \quad (3.17)$$

де $k_{ок}$ - коефіцієнт опору коченню деформованої шини (залежить від конструкції отворів та в'язкості гуми).

Підсумовуючі визначені вище теоретичні залежності (3.1-3.17), кінцево можна прийняти наступне:

геометрія контакту шини з ґрунтом

$$R(y) = R_y + \Phi \left(|y| - \frac{B_y}{2} \right) \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\gamma}{2} \right), \quad (3.18)$$

де Φ - функція Хевісайда, 0 якщо аргумент від'ємний.

жорсткість шини (змінна товщина h):

$$k_{\text{ш}}(y) = C_0 \cdot \left(\frac{h + \Delta h(y)}{R_3(y)} \right)^3. \quad (3.19)$$

рівняння рівноваги (знаходимо осідання Δz):

$$Q = \int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} 2 \sqrt{2R(y) \cdot z(y)} \cdot k_z(z(y))^n dy, \quad (3.20)$$

за умови, що:

$$z(y) = \Delta z - \frac{q(y)}{k_z(y)}. \quad (3.21)$$

Умова формування необхідної щільності ґрунту від дії робочої поверхні

котка:

$$\rho = \rho_0 + k_{ec} \cdot q(0) + k_{ey} \cdot F_{\Sigma}, \quad (3.22)$$

де $q(0)$ - вертикальний тиск прямо над насінням;

F_{Σ} - бічний тиск від конічних поверхонь шини котка;

k_{ec} - коефіцієнт вертикального об'ємного стиснення. Цей коефіцієнт показує, наскільки збільшиться щільність ґрунту від дії вертикального тиску $q(0)$ (безпосередньо під циліндричною частиною шини);

k_{ey} - коефіцієнт бічної передачі ущільнення, показує, наскільки збільшиться щільність ґрунту навколо насіння під дією бічної зсуваючої сили F_{Σ} (від конічних поверхонь).

Таким чином, отримана математична модель дозволяє оптимізувати наступні параметри удосконаленого котка : підібрати кут γ та товщину стінки шини h так, щоб $q(0)$ було мінімальним (м'яка середня частина), а F_{Σ} був максимальним (жорсткі бічні конічні елементи котка), для ущільнення ґрунту навколо насіння.

4. Практична реалізація результатів досліджень

На основі розробленої математичної моделі взаємодії прикочуючого котка з ґрунтом виконано аналітичне дослідження впливу основних геометричних параметрів конструкції на характер контакту, розподіл тиску та формування щільності ґрунту в зоні розміщення насіння. Дослідження проведено для різних діапазонів кутів розхилу конічної частини котка при лінійному законі зміни товщини стінки шини. Коефіцієнт тертя ґрунту по гумі прийнято рівним 0,65, умови роботи відповідають добре розпушеному середньо суглинковому ґрунту, інші параметри величин необхідних для розрахунку брались із довідкової літератури [13-15,17,20-24].

На рис. 4.1 наведена залежність розподілу радіуса робочої поверхні котка по ширині. Розподіл радіуса робочої поверхні $R(y)$ характеризує зміну геометрії котка по його ширині та визначає співвідношення між вертикальною і боковою складовими сил взаємодії котка з ґрунтом.

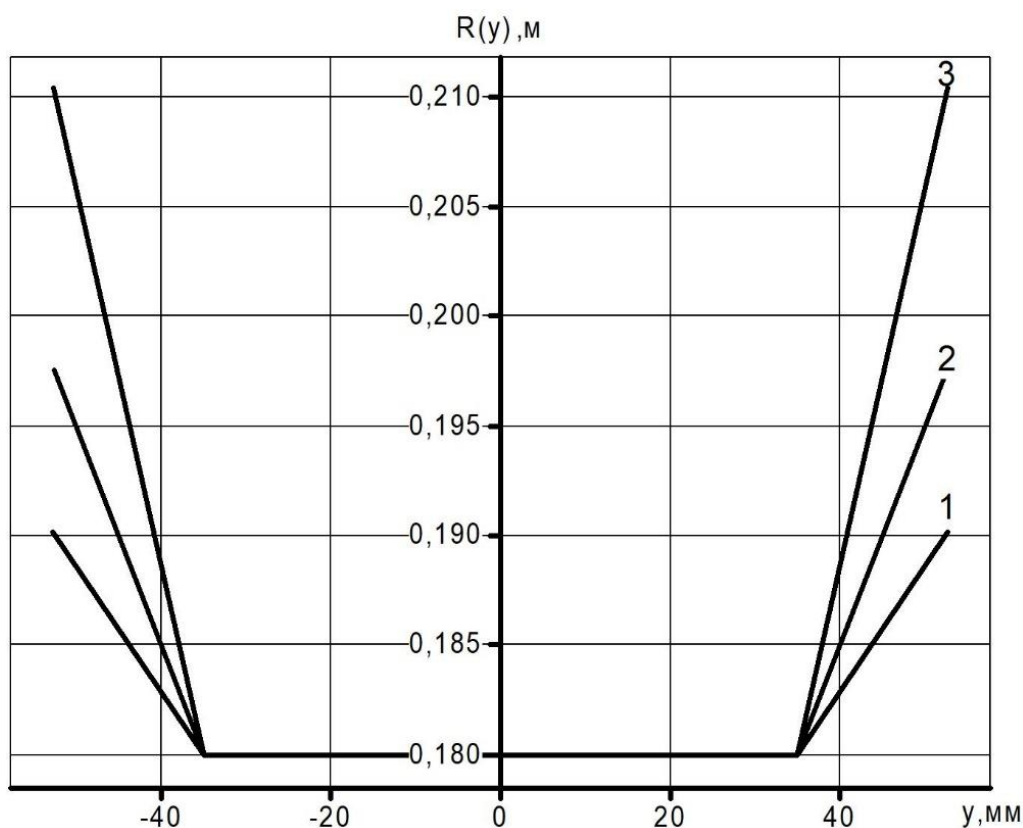


Рис. 4.1 Розподіл радіуса робочої поверхні котка по ширині:

1 - $\gamma = 30^\circ$; 2 - $\gamma = 45^\circ$; 3 - $\gamma = 60^\circ$

В центральній циліндричній частині котка радіус залишається сталим, що забезпечує рівномірний вертикальний тиск над насінням. В бічних зонах спостерігається лінійне зростання або зменшення радіуса, інтенсивність якого зростає, зі збільшенням кута конічні ділянки мають найбільш крутий профіль, що призводить до концентрації бокових контактних сил і підвищення ефекту зсувного ущільнення ґрунту.

На рис. 4.2 наведений розподіл жорсткості шини $\lambda(y)$ по ширині котка, який ілюструє зміну жорсткості шини вздовж ширини котка при лінійному законі зміни товщини стінки.

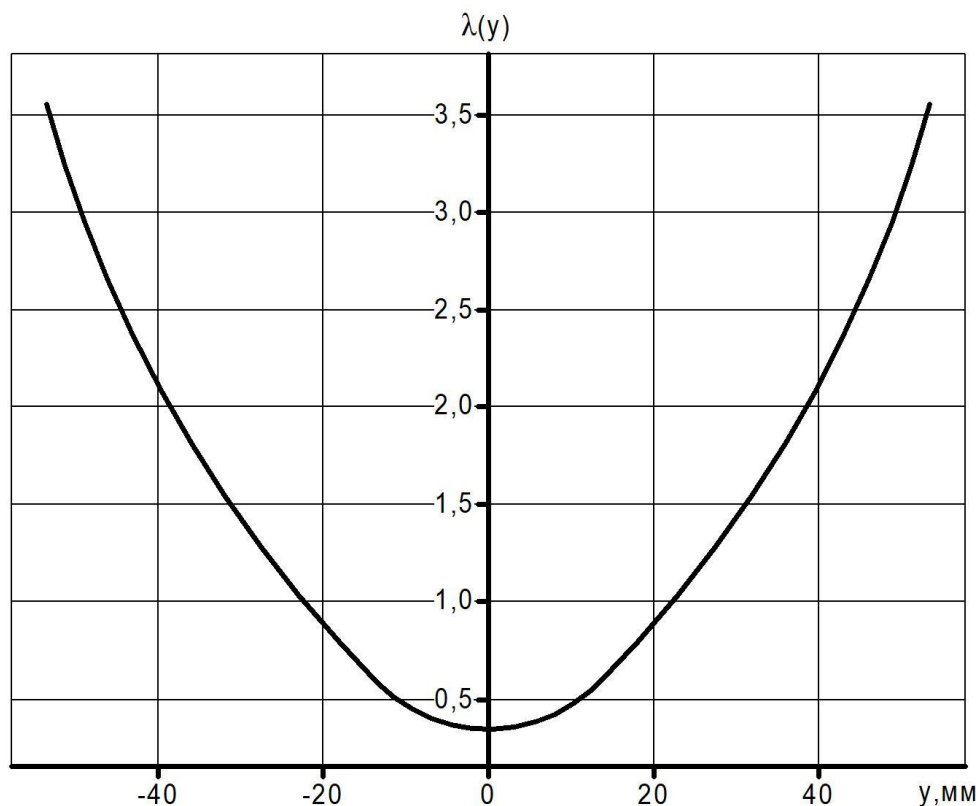


Рис. 4.2 Розподіл жорсткості шини $\lambda(y)$ по ширині котка

Мінімальні значення жорсткості спостерігаються в центральній частині котка, що зумовлює більшу деформацію шини і зменшення питомого тиску на ґрунт безпосередньо над насінням. В напрямку до конічних частин жорсткість шини зростає за кубічним законом, що забезпечує підвищену передачу зусиль на ґрунт і формування ущільнених бокових зон.

На рис. 4.3 показано загальне вертикальне переміщення осі котка Δz . Залежність побудована на основі рівняння сумісності деформацій, яке враховує пластичну деформацію ґрунту та пружну деформацію шини з лінійно змінною товщиною стінки. Локальне осідання котка визначалося з урахуванням зміни жорсткості шини по ширині та степеневій моделі змінання ґрунту. Як видно з рис. 4.3 в центральній зоні переміщення є максимальним за рахунок меншої жорсткості шини, однак переважна частина деформації припадає саме на гумову оболонку, а не на ґрунт.

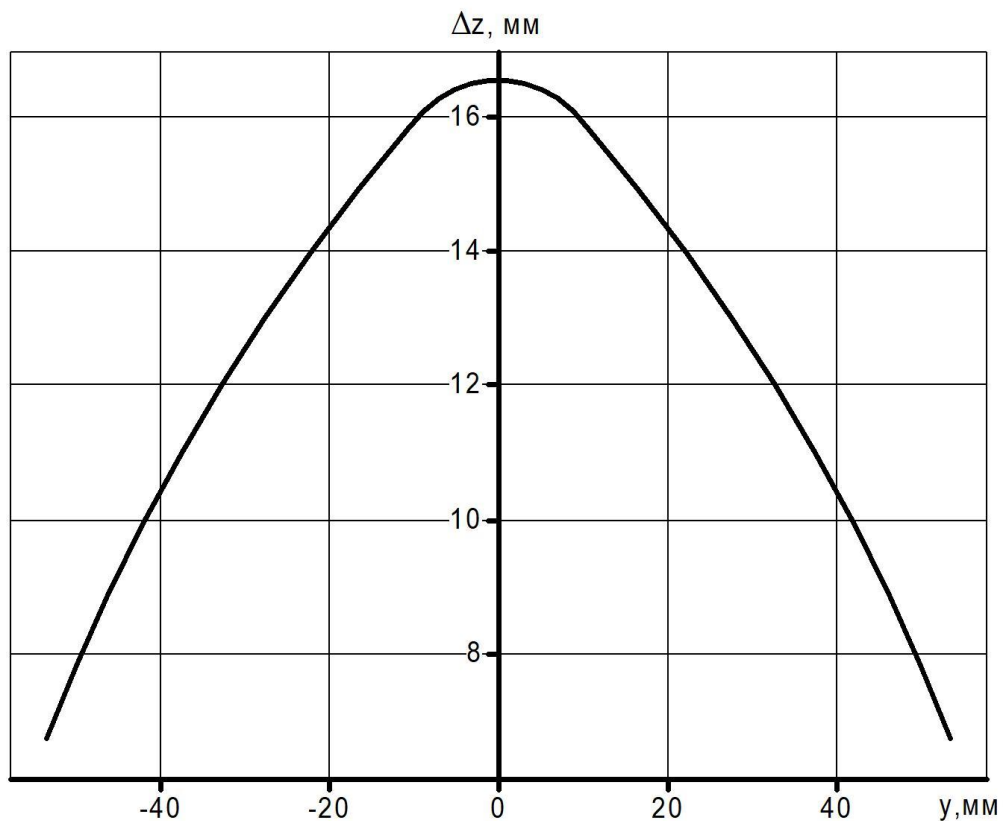


Рис. 4.3 Вертикальне переміщення осі котка Δz

При збільшенні кута γ спостерігається зменшення осідання на периферії котка, що свідчить про підвищення опору заглибленню та зростання бокових реакцій ґрунту.

На рис. 4.4 показана епюра бокового тиску F_y від дії конічних поверхонь котка. Епюра бокового тиску F_y побудована відповідно до рівняння

(3.10), як горизонтальна складова нормальної реакції ґрунту, що виникає внаслідок дії на ґрунт конічних поверхонь прикочуючого котка.

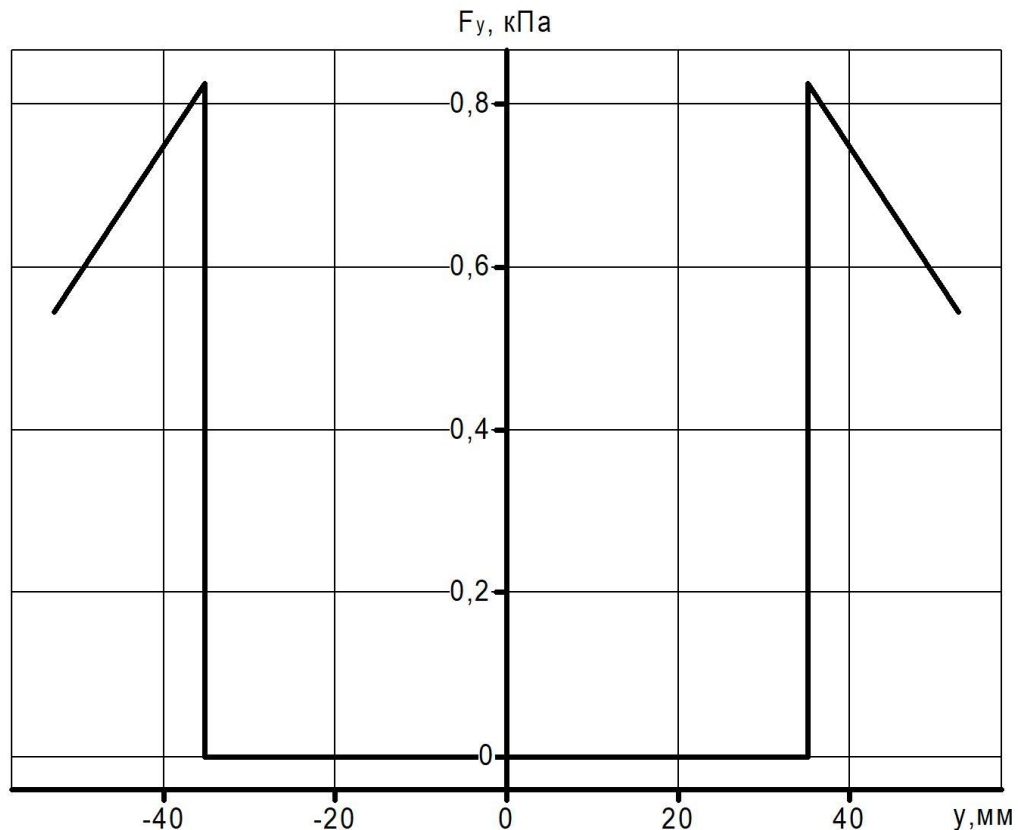


Рис. 4.4 Епюра бокового тиску F_y від дії конічних поверхонь котка

Як видно із отриманого, зі збільшенням кута γ інтенсивність бокового тиску суттєво зростає, що сприяє активному зсувному ущільненню ґрунту з обох боків рядка. Це явище є принципово важливим для стабілізації ґрунтового середовища навколо насіння без надмірного ущільнення зверху.

На рис. 4.5 побудована залежність розподілу щільності ґрунту по ширині захвату котка, яка відображує зміну щільності ґрунту по ширині котка внаслідок одночасної дії вертикального тиску центральної частини та бокового зсувного ущільнення, що створюється конічними поверхнями прикочуючого котка.

Епюра має неоднорідний, симетричний відносно осі рядка характер і чітко поділяється на три зони: центральна зона (над насінням), перехідна зона

та бічні зони ущільнення. Така форма епюра є бажаною з агротехнічної точки зору.

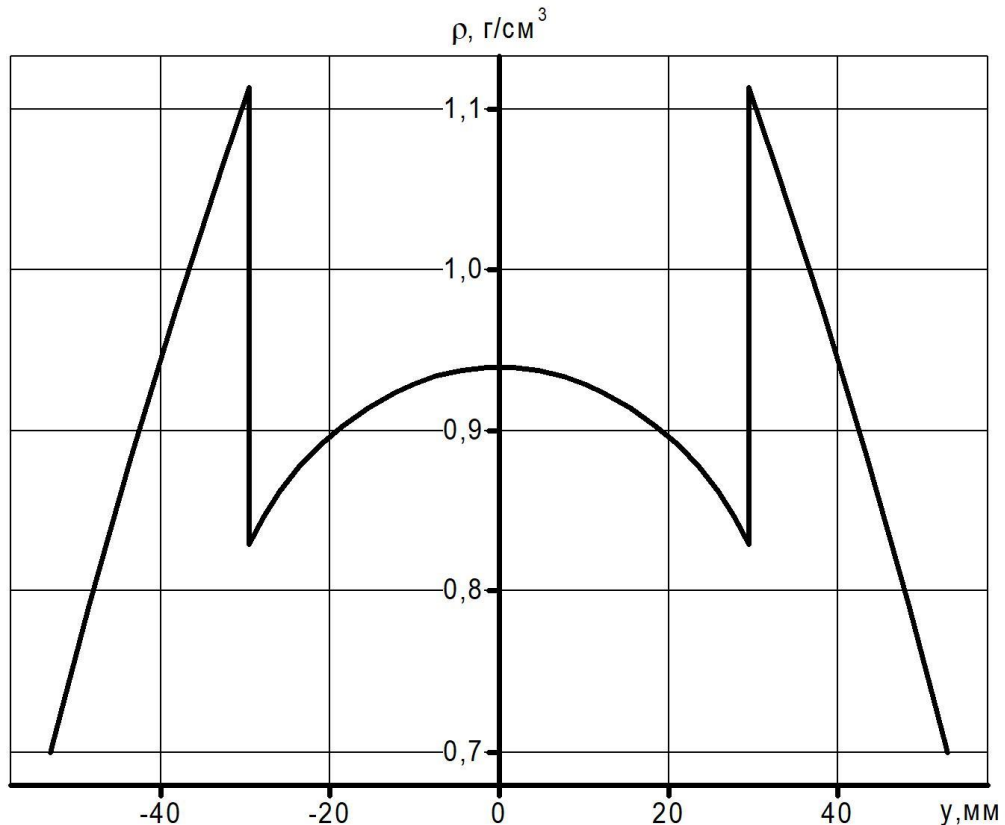


Рис. 4.5 Залежність розподілу щільності ґрунту ρ по ширині захвату котка

Як видно із рис. 4.5, зона над насінням, в межах центральної циліндричної частини котка, має щільність ґрунту $\rho \approx 0,8 - 0,9$ г/см³. Це пояснюється тим, що тиск формується переважно вертикальною складовою, а частина деформації сприймається пружною шиною, а не ґрунтом, бокові сили у цій зоні відсутні. Такий рівень щільності забезпечує добрий контакт насіння з ґрунтом, зберігаючи воду та повітропроникність, що є оптимальним для проростання.

У перехідній зоні (межа між циліндричною та кінчною частинами) починає проявлятися дія бокового тиску, спостерігається плавне зростання щільності ґрунту. Це свідчить про відсутність різких перепадів напружень, поступовий перерозподіл зусиль від центральної до бічних зон. Перехідна зона працює як демпфер, що зменшує ризик локального переущільнення ґрунту.

Бічні зони - це зона активного ущільнення. В бічних зонах, які знаходяться під дією конічних поверхонь котка, щільність ґрунту зростає до $\rho \approx 1,0 - 1,1 \text{ г/см}^3$. Таке зростання щільності зумовлене наявністю значної бокової складової тиску, зсувною деформацією ґрунту та підвищеною жорсткістю шини в цих зонах. В процесі роботи утворюються ущільнені ґрунтові ділянки, які стабілізують рядок, зменшують втрати вологи та покращують умови розвитку кореневої системи.

Таким чином, форма епюра безпосередньо залежить від кута розхилу конічної частини γ , закону зміни товщини стінки шини, співвідношення вертикального та бокового тиску. Зі збільшенням кута γ інтенсивність бокового ущільнення зростає, а різниця між щільністю над насінням і по краях збільшується.

Аналіз епюри розподілу щільності ґрунту підтвердив, що прикочуючий коток з конічними боковими поверхнями та змінною жорсткістю шини може забезпечити агротехнічно обґрунтований розподіл щільності ґрунту, сприятливий для проростання та подальшого розвитку рослин овочевих культур.

В результаті проведеної роботи можна зробити наступні висновки.

1. Розроблена математична модель взаємодії прикочуючого котка з ґрунтом адекватно описує процес формування контактних напружень і ущільнення ґрунту з урахуванням геометрії котка, пружної деформації шини та фізико-механічних властивостей ґрунту. Модель дозволяє аналітично визначати розподіл вертикального та бокового тиску, осідання котка і зміну щільності ґрунту по ширині рядка, що підтверджує її придатність для інженерного проектування прикочуючих робочих органів.

2. Встановлено, що форма робочої поверхні котка є визначальним фактором формування агротехнічно доцільного ущільнення ґрунту. Наявність центральної циліндричної ділянки забезпечує помірний вертикальний тиск над насінням, тоді як бічні конічні поверхні створюють додаткову бокову

складову тиску, що формує ущільнені зони ґрунту навколо рядка без переущільнення насіннєвого ложа.

3. Доведено, доцільність застосування шини зі змінною жорсткістю, що реалізується лінійною зміною товщини стінки по ширині котка. Мінімальна жорсткість у центральній частині сприяє сприйняттю деформації переважно шиною, а не ґрунтом, тоді як підвищена жорсткість на конічних ділянках забезпечує ефективну передачу зусиль для бокового ущільнення.

4. Аналіз епюри розподілу щільності ґрунту показав, що запропонована конструкція котка формує неоднорідний, але агротехнічно обґрунтований розподіл щільності в зоні над насінням щільність становить близько 0,8 - 0,9 г/см³, тоді як у бічних зонах досягає 1,0 - 1,1 г/см³. Такий характер ущільнення створює сприятливі умови для проростання насіння, стабілізації рядка та збереження ґрунтової вологи.

5. Встановлено оптимальний діапазон кута розхилу конічної частини котка, який для умов середньо суглинкового ґрунту та швидкості руху 2,0 м/с становить $\gamma = 45 - 55^\circ$. Менші значення кута знижують ефективність бокового ущільнення, а більші призводять до зростання опору заглибленню та небажаного збільшення тягового опору.

5. Охорона праці

Вимоги з охорони праці при посіві овочевими сівалками

Загальні вимоги безпеки [25-31]:

до керування агрегатом у складі трактора і овочевої сівалки допускаються трактористи-машиністи, яким виповнилося 18 років, що пройшли медичний огляд, вступний та первинний інструктажі з охорони праці;

оператор повинен бути забезпеченим спецодягом та ЗІЗ;

комбінезон повинен бути щільно застібнутий, щоб виключити захоплення тканини рухомими частинами (ланцюговими передачами, валами);

оскільки насіння овочевих культур часто протруюють сильнодіючими пестицидами, наявність респіратору при завантаженні насіння є обов'язковою;

на робочому місці повинні бути захисні окуляри (для захисту від пилу та дрібних часток протруйників);

якщо конструкція сівалки передбачає наявність сівача (для контролю висіву), він повинен знаходитися на спеціально обладнаному робочому місці (майданчику з поручнями). Якщо такого місця немає то перебування людей на сівалці під час руху заборонено.

Вимоги безпеки перед початком роботи [25-31]:

перед виїздом у поле необхідно перевірити технічний стан агрегату;

перевірити зчеплення та гідравліку;

з'єднання сівалки з трактором виконувати тільки при найменших обертах двигуна і відсутності людей між машинами;

перевірити надійність шплінтування пальців причіпного пристрою;

переконатися у справності гідросистеми, відсутності підтікання мастила в шлангах та гідроциліндрах (особливо важливо для керування маркерами);

перевірити робочі органи та вал відбору потужності (ВВП);

перевірити наявність та цілісність захисного кожуха карданної передачі.

Це критично для пневматичних овочевих сівалок, де ВВП приводить у дію вентилятор;

оглянути захисну сітку на повітрозабірнику вентилятора, щоб туди не потрапили сторонні предмети або руки;

перевірити надійність кріплення дисків маркерів та механізму їх підйому/опускання.

3. Вимоги безпеки під час виконання роботи [25-31]:

перед початком руху та перед кожним включенням ВВП тракторист зобов'язаний подати звуковий сигнал;

розвороти здійснювати лише при виглублених сошниках та піднятих маркерах. Розворот із заглибленими робочими органами може призвести до поломки та травмування уламками металу;

Заборонено:

сідати та зіскакувати з трактора під час руху;

перевозити людей на рамі сівалки, насінневих ящиках або крилах трактора;

завантаження насінням та добривами проводити тільки при зупиненому агрегаті та вимкненому двигуні;

засипати насіння в бункери слід обережно, стоячи з навітряного боку, щоб пил від протруйників не летів в обличчя;

категорично заборонено перемішувати або розрівнювати насіння в бункері руками. Для цього необхідно використовувати спеціальну дерев'яну або пластмасову лопатку;

слідкувати, щоб кришки бункерів після завантаження були щільно закриті фіксаторами.

Очищення та усунення несправностей:

будь-яке очищення висіваючих дисків, сошників, регулювання глибини ходу, натяг ланцюгів чи очищення вентилятора проводиться виключно при вимкненому ВВП та заглушеному двигуні трактора;

не дозволяється прочищати висіваючі отвори пальцями або металевими предметами. Використовуйте для цього спеціальні гачки або чистики;

при роботі під піднятою сівалкою (ремонт сошників) обов'язково встановлювати підставки-козли. Довіряти лише гідравлічній системі трактора заборонено;

під час роботи слідкувати за тим, щоб у зоні дії вильоту маркера (декілька метрів у бік від сівалки) не було людей. Опускання маркера відбувається швидко і може завдати тяжкої травми.

4. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях [25-31]:

розрив гідрошланга - не намагайтеся зупинити струмінь мастила руками, тиск може бути настільки високим, що рідина проникне під шкіру (масляна емболія). Негайно заглушити двигун;

отруєння хімікатами - при появі головного болю, нудоти, запаморочення під час роботи з протруєним насінням, негайно зупинити роботу, вийти із зони запилення, зняти ЗІЗ, вимити обличчя та руки водою, звернутися до лікаря;

пожежа - овочеві сівалки часто мають багато пластикових деталей (бункери), які швидко горять. Використовувати вогнегасник та засипати вогонь ґрунтом.

5. Вимоги після закінчення роботи [25-31]:

видалити залишки насіння та добрив із бункерів. Залишати протруєне насіння в сівалці на ніч заборонено;

очистити робочі органи від бруду та рослинних решток;

відчепити сівалку, встановити її на рівному майданчику, опустити опорні стійки. Гідравлічні рукава закрити захисними ковпачками;

зняти спецодяг, очистити його від пилу, ретельно вимити руки та обличчя з милом, прополоскати рот, прийняти душ.

Висновки

1. В процесі виконання роботи здійснено ґрунтовний аналіз наявних конструктивних рішень робочих органів овочевих сівалок. Виявлено їх конструктивні та технологічні недоліки, а також визначено перспективні напрями удосконалення, спрямовані на підвищення якості та ефективності посівного процесу.

2. На основі результатів теоретичних та аналітичних досліджень запропоновано нову конструкцію прикочуючого котка з комбінованою геометрією. Запропоноване технічне рішення забезпечує формування рівномірної щільності ґрунту, підвищує точність розміщення насіння на заданій глибині, зменшує його переміщення після скидання у борозну та покращує контакт насіння з ґрунтом, що створює сприятливі умови для отримання дружних сходів і підвищення врожайності овочевих культур.

3. Розроблений комбінований прикочуючий коток інтегровано до секції робочих органів овочевої сівалки ЈРН 4. Це дозволило покращити її технологічні показники без суттєвого ускладнення конструкції та без значного збільшення маси посівного агрегату.

4. В ході модернізації обґрунтовано раціональні конструктивні та геометричні параметри прикочуючого котка, які забезпечують оптимальні умови для прикочування насіння різних овочевих культур з врахуванням різних типів ґрунтів та агротехнічних вимог.

5. Застосування модернізованого прикочуючого котка в конструкції овочевої сівалки ЈРН 4 дає змогу отримати економічний ефект, що проявляється у підвищенні врожайності овочевих культур, зменшенні витрат посівного матеріалу та післяпосівного догляду, а також у підвищенні надійності та довговічності сівалки.

Отримані результати підтверджують доцільність і перспективність використання модернізованих прикочуючих котків в конструкціях сучасних овочевих сівалок з метою забезпечення стабільного та високоякісного посіву.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Terradonis ICS. Керівництво з експлуатації сівалки JPH. URL: <https://www.terradonis.com/ouverturepdf.php?file=usermanual-jph-c%D0%B5%D1%8F%D0%BB%D0%BA%D0%B0-%D0%BD%D0%B0-%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%89%D0%BD%D1%8B%D1%85-%D0%BA%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%83%D1%80-ru-1490168979.pdf>
2. Сівалка для овочевих культур JPH 4. URL: <https://www.terradonis.com/jph-semoir-maraicher-petites-graines.html>
3. Довідковий матеріал з овочівництва /З.Д. Сич, О.Я. Жук, І.М. Бобось та ін. - К.: 2012. – 204 с
4. Барабаш О.Ю. Овочівництво. - К.: Вища школа, 1994, 374 с.
5. Барабаш О.Ю., Тараненко Л.К., Сич З.Д. Біологічні основи овочівництва: навчальний посібник. Київ: Арістей. 2005. 348 с.
6. Лихочвор В.В., Петриченко В.Ф. Рослинництво. Сучасні інтенсивні технології вирощування основних польових культур. Львів: НВФ «Українські технології», 2006. 730 с.
7. MONOSEM. The precision Planter specialist. Monosem MS. Ribouleau MONOSEM – FRANCE, 2020. 24p. URL: <https://www.monosem.com/Range/Planter-range>
8. Овочева пневматична сівалка Miniair Nova. Kverneland Group Deutschland GmbH, 2017. 28p. URL: <https://www.kverneland.de>
9. Пневматична сівалка точного висіву Calibra Evo. URL: <https://sfoggia.com/en/semina-di-precisione-3/calibra-evo/>
10. Сівалка точного висіву для овочевих культур ORIETTA – GASPARD. URL: <https://www.maschiogaspardo.com/uk/web/ukraine/orietta>
11. Овочева сівалка Agricola PKN. URL: <https://uvc.com.ua/vyrobnyk/agricola-italiana/>
12. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини. Основи теорії і розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та

ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – С. 141 – 142. URL: <https://studfiles.net/preview/5063474/page:25/>

13. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Том 1, частина 2. Машини для сівби та садіння. – Харків: Око, 2002. – 452 с.

14. Сисолін П.В. та інш. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування, Кн. 1: Машини для рільництва / П.В. Сисолін, В.М. Сало, В.М. Кропівний – К.: Урожай, 2001. – 384 с.

15. Артеменко Д.Ю., Онопа В.А., Скриннік С.С. Обґрунтування конструкції комбінованого прикочуючого котка просапної сівалки. Scientific Journal «ScienceRise» №11 (28) 2016. – С. 25-29. URL: <http://journals.uran.ua/sciencerise/article/view/80814>

16. Артеменко Д.Ю., Настоящий В.А. Обґрунтування робочої поверхні конусного прикочуючого котка просапної сівалки. Scientific Journal «ScienceRise». №5/2(34)2017. – С. 18-22. URL: <http://journals.uran.ua/sciencerise/article/view/101960>

17. Кушнар'ов А.С. Механіко – технологічні основи обробітку ґрунту / А.С. Кушнар'ов, В.І. Кочев. – К.: Урожай, 1989. – 144 с.

18. Артеменко Д.Ю., Магопєць О.С., Ауліна Т.М., Семенова Д.А. Результати експериментальних досліджень розподілу полів деформацій в ґрунті від дії прикочуючих котків бурякових сівалок. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин / КНТУ, 2007, випуск 37, 1 – С. 286 – 290.

19. Артеменко Д.Ю. Теоретичне дослідження процесу взаємодії конусного котка просапної сівалки з ґрунтом. Вісник аграрної науки Причорномор'я: науково-теоретичний фаховий журнал / В. С. Шєбанін (гол. ред.) та ін. – Миколаїв, 2012. Вип. 1 (65). – С. 171 – 177.

20. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти: підручник / Л.М. Шутєнка, О.Г. Рудь, О.В. Кічаєва та ін.; за ред. Л.М. Шутєнка; Харків. нац. ун-

т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017.
- 563 с.

21. Сільськогосподарські машини в овочівництві. /За ред.. канд. с.-г. н. А.І. Ящука. – Харків, ІОБ УААН, 2006. – 138с.

22. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин / В.Т. Павлище. – Львів: Афіша, 2003. – 560 с.

23. Деталі машин: підручник / [А.В Міняйло, Л.М. Тіщенко, Д.І. Мазоренко та ін.] – К.: Агроосвіта, 2013. – 448с.

24. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2 вид., переробл. - Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.

25. Гандзюк М.П. Основи охорони праці: Підручник для студентів вищих навчальних закладів / М.П. Гандзюк, Є.П. Желібо, М.О. Халімовський. За редакцією М.П. Гандзюка. – К.: Каравела, 2003. – 408с.

26. ДСТУ 7239:2011. Засоби індивідуального захисту.
http://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2011/09/dstu_7239_2011.pdf

27. ДСТУ 2867-94. Державний стандарт України. Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження.
https://ksvb.do.am/GOST/DSTY_ALL/DSTY3/dsty_2867-94.pdf

28. СП 4282-87. Санітарні правила по устрою тракторів та сільськогосподарських машин. https://dnaop.com/html/57502/doc-%D0%A1%D0%9F_4282-87

29. ДСТУ 2189-93. Система стандартів безпеки праці. Машини сільськогосподарські навісні та причіпні. Загальні вимоги безпеки. Київ, 1994. – 25 с.

30. ГОСТ 25942-90. Трактори і сільськогосподарські машини. Пристрої швидковідєднуючі. Вимоги до конструкції.
http://www.leonorm.lviv.ua/p/DG/CND2015_2.HTM

31. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник / В.Ц. Жидецький – Львів: Афіша, 2002.– 320 с.