

Центральноукраїнський національний технічний університет

ЦЗДО

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« ____ » _____ 2025 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:

«Механізація вирощування картоплі з обґрунтуванням параметрів бункера-
вивантажувача картоплекопача»

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,
групи АІ-24МЗ

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

_____ Комар Олександр Миколайович

« ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи

професор, канд. техн. наук

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент

професор, докт. техн. наук

_____ Віктор АУЛІН

« ____ » _____ 2025 р.

м. Кропивницький

Анотація

Комар О.М. Механізація вирощування картоплі з обґрунтуванням параметрів бункера-вивантажувача картоплекопача: кваліфікаційна робота за другим (магістерським) рівнем вищої освіти / кер. О.М. Васильковський; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький: ЦНТУ, 2025. – 50 с.

Магістерська робота присвячена удосконаленню конструкції картоплезбиральної техніки шляхом інтегрування бункера-накопичувача для підвищення рівня механізації та ефективності збиральної операції.

У роботі проведено комплексний аналіз сучасної технології вирощування картоплі та конструкцій серійних картоплезбиральних машин, на основі чого запропоновано модернізацію конструкції картоплекопача шляхом встановлення бункера-накопичувача. За результатами теоретичного аналізу технічних та економічних показників визначено оптимальний об'єм бункера-накопичувача 2,0-2,5 м³, який забезпечує коефіцієнт використання робочого часу 65-70% при мінімальних загальних витратах 143 000-164 000 грн/рік. Встановлено оптимальні коефіцієнти завантаження системи: $\rho = 0,533$ для $V = 2,0$ м³ та $\rho = 0,427$ для $V = 2,5$ м³, що гарантує стійку роботу системи без перевантаження.

Ключові слова: картоплезбиральна машина, бункер-накопичувач, метод масового обслуговування, механізація збирання картоплі, коефіцієнт використання робочого часу, економічна ефективність.

This master's thesis focuses on enhancing the design of potato harvesting machinery through the integration of a hopper-accumulator to improve the level of mechanization and operational efficiency of the harvesting process.

The study presents a comprehensive analysis of contemporary potato cultivation technology and serial potato harvesting machine designs, upon which a modernization of the potato digger design is proposed via the installation of a hopper-accumulator. The theoretical analysis of technical and economic parameters determined the optimal hopper-accumulator volume to be 2.0-2.5 m³, ensuring a working time utilization coefficient of 65-70% while maintaining minimum total costs of 143,000-164,000 UAH/year. Optimal system load factors were established: $\rho = 0.533$ for $V = 2.0$ m³ and $\rho = 0.427$ for $V = 2.5$ m³, guaranteeing stable system performance without overload.

Keywords: potato harvester, hopper-accumulator, queuing theory, potato harvesting mechanization, working time utilization coefficient, economic efficiency.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Агротехнічний

Кафедра Сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 20 «Аграрні науки та продовольство»

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Освітньо-професійна програма «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

«___» _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

_____ Комар Олександр Миколайович _____ (прізвище,
ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Механізація вирощування картоплі з обґрунтуванням параметрів бункера-вивантажувача картоплекопача
2. Керівник роботи (проекту) Васильковський О.М., к.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
3. Строк подання роботи до захисту 09.12.2025 р.
4. Мета та завдання дипломної роботи Мета роботи: підвищення рівня механізації праці процесу збирання бульб картоплі.
5. Перелік ілюстративного матеріалу 1. Мета і задачі; 2. Огляд конструкцій машин для збирання картоплі; 3. Обґрунтування параметрів бункера-вивантажувача; 4. Практична реалізація результатів (креслення розроблених механізмів).

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Виконання розділу 1	17.10.2025 р.	
2	Виконання розділу 2	07.11.2025 р.	
3	Виконання розділу 3	21.11.2025 р.	
4	Виконання розділу 4	28.11.2025 р.	
5	Виконання розділу 5	28.11.2025 р.	
6	Формулювання загальних висновків. Оформлення пояснювальної записки, ілюстративної частини, підготовка до захисту	09.12.2025 р.	

Дата видачі завдання
«20» жовтня 2025 р.

Підпис керівника

_____ Васильковський О.М.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання
«20» жовтня 2025 р.

Підпис здобувача

_____ Комар О.М.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

1. Вступ	6
2. Стан досліджуваного питання та вибір напрямку досліджень	7
3. Наукова частина	23
4. Практична реалізація результатів досліджень	39
5. Охорона праці	43
6. Загальні висновки	43
7. Список використаної літератури	47
Додатки	50

1. ВСТУП

Картопля є однією з найважливіших продовольчих культур в Україні та світі. Ця культура відіграє ключову роль у забезпеченні продовольчої безпеки держави та є важливою складовою раціону харчування населення.

Північний Степ, що охоплює територію, Кіровоградської області, характеризується помірно-континентальним кліматом з недостатнім зволоженням, високими літніми температурами та родючими чорноземними ґрунтами. Ці умови створюють як сприятливі можливості, так і певні виклики для успішного вирощування картоплі.

Механізація вирощування і, особливо збирання картоплі є одним з найбільш складних і трудомістких процесів у сучасному землеробстві. Специфіка картоплі як культури, що характеризується некомпактним розміщенням бульб у ґрунті та їхньою високою механічною вразливістю, висуває особливі вимоги до конструкції збиральної техніки. Сучасний ринок пропонує широкий спектр машин для збирання картоплі – від простих картоплекопачів до високотехнологічних самохідних комбайнів з бункерами місткістю до 16 т. Однак використання таких машин є рентабельним лише за умови наявності значних площ, що в нашому регіоні – скоріше виключення з правил, оскільки площі, зайняті під картоплею у нас в середньому становлять 25...60 га.

Використання серійних копачів в таких умовах пов'язане з витратами великого об'єму ручної праці, що знижує продуктивність і підвищує собівартість продукції, тому актуальність нашого дослідження полягає у необхідності комплексного порівняльного аналізу різних конструктивних схем картоплезбиральних машин, зокрема визначення ефективності застосування накопичувальних бункерів у серійних копачах.

Мета роботи – підвищення рівня механізації праці процесу збирання бульб, що дозволить покращити загальні техніко-економічні показники технології вирощування картоплі.

2. СТАН ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Технологія вирощування картоплі.

Кліматичні особливості

Північний Степ України, до якого входить Кіровоградська область, має помірно-континентальний клімат з виразними особливостями. Клімат характеризується холодною зимою на сході регіону і порівняно м'якою в західній частині, а також спекотним і тривалим літом.

Середня річна температура повітря в зоні становить від 7,4 до 9,8°C. Зимовий період триває в середньому 80-110 днів – з кінця листопада-початку грудня до кінця лютого-початку березня. Середні температури січня змінюються від -5°C до -1°C, а липня – від +20°C до +23°C. Безморозний період триває 160-220 днів, вегетаційний період – 210-245 днів, що є сприятливим для вирощування картоплі.

Однак основним лімітуючим фактором для землеробства в регіоні є недостатнє зволоження. Річна кількість опадів становить 350-450 мм, причому 60-70% їх випадає у теплу пору року. Характерною особливістю є зливовий характер опадів, що призводить до поверхневого стоку та недостатнього промочування ґрунту.

Для регіону характерні часті посухи та суховії, сильні вітри, які можуть пошкоджувати рослини, висока випаровуваність (700-900 мм на рік), що значно перевищує кількість опадів і нестійкий сніговий покрив, який часто здувається вітром. Ці кліматичні особливості вимагають особливого підходу до технології вирощування картоплі, зокрема обов'язкового застосування зрошення для отримання стабільних врожаїв.

Ґрунтові ресурси

Найбільше природне багатство північного Степу – це ґрунтові ресурси. В зоні переважають чорноземи звичайні та південні, які є одними з найродючіших ґрунтів у світі. Вміст гумусу в них коливається від 3,5 до 5,5%, що забезпечує високий рівень природної родючості.

Чорноземи мають сприятливі фізичні властивості – добру структуру, достатню водопроникність і задовільну повітропроникність.

Оптимальний вміст глини для вирощування картоплі – 12-18%, а рівень рН – 5,5-6,5.

Вибір попередників

Найкращими попередниками для картоплі в степовій зоні є: озимі зернові (пшениця, ячмінь), ярі зернові, бобові культури і ранні овочі (за винятком пасльонових – томатів, баклажанів, перцю).

Ці культури швидко дозрівають, звільняючи поле для своєчасної підготовки під картоплю та не мають спільних з нею хвороб і шкідників.

Підготовка ґрунту під картоплю

Підготовка ґрунту є одним з найважливіших елементів технології вирощування картоплі, оскільки від якості обробітку залежить розвиток кореневої системи, формування бульб та врожайність культури. В умовах центрального степу система обробітку ґрунту спрямована на максимальне збереження та накопичення вологи.

Осінь підготовка включає наступні операції.

Луцання стерні на глибину 8-15 см одразу після збирання попередника

Внесення органічних добрив – 35-40 т/га гною перед оранкою. Органічні добрива покращують структуру ґрунту, збільшують вміст гумусу та забезпечують рослини поживними речовинами протягом всього вегетаційного періоду.

Оранка плугом з передплужником на глибину 20-27 см.

Нарізання гребенів висотою 18-20 см культиваторами з підгортачами перед замерзанням ґрунту.

Весняна підготовка ґрунту

При традиційній оранці здійснюють:

- *дискування* поля важкою дисковою бороною або чизелювання на глибину 25-27 см;

- *фрезерування* культиваторами достиглого виораного ґрунту.

Вибір сортів та підготовка насіннєвого матеріалу

Насіння займає близько 40% від вартості всієї технології вирощування картоплі, тому вибір якісного посадкового матеріалу є критично важливим. Найкращий результат дає картопля, що вирощується цілеспрямовано як насіннєвий матеріал, оскільки вся технологія її вирощування націлена на правильний підбір сортів, відповідний захист та догляд.

У північному степу надають перевагу раннім та надраннім сортам картоплі, які здатні сформувати врожай до настання спекотного періоду та дефіциту вологи. Крім того, можлива організація літніх посадок середньопізніх сортів для отримання другого врожаю, який буде придатний для тривалого зберігання в зимовий період.

Вимоги до насіннєвого матеріалу:

- здорові бульби без видимих пошкоджень та ознак захворювань;
- маса бульб 50-80 г;
- відповідність сортових якостей та репродукції стандартам України;
- відсутність вірусних та бактеріальних захворювань;
- стійкість до основних хвороб (фітофтороз, парша, вірусні захворювання)

Підготовка картоплі до посадки

Проращування бульб починається за 2-3 тижні до посадки шляхом розміщення у світлому приміщенні за температури 12-15°C до формування міцних паростків.

Обов'язкове протруювання фунгіцидно-інсектицидними препаратами від ґрунтових патогенів та шкідників проводиться безпосередньо перед посадкою або під час посадки

Садіння картоплі

Оптимальний строк посадки настає при досягненні середньодобової температури ґрунту +6...+8°C на глибині 8-10 см. В умовах північного Степу це зазвичай припадає на другу половину квітня – початок травня, залежно від погодних умов конкретного року.

При посадці в нарізані з осені гребені можна розпочинати роботи на 6-7 днів раніше, оскільки гребені швидше прогриваються та досягають необхідної температури.

Рекомендовані схеми для північного Степу:

- міжряддя 70-75 см;
- відстань у рядку 25-35 см;
- густота посадки 50-55 тис. бульб на 1 га.
- глибина – 8-10 см на легких ґрунтах або 6-8 см на важких ґрунтах.

Після посадки проводять формування гребенів, що дозволяє відмовитись від проведення міжрядних культивацій, зменшити популяцію шкідників, створити оптимальні умови для бульбоутворення, забезпечити нормальне механізоване збирання з мінімальним травмуванням.

Система удобрення

Картопля відрізняється високими показниками виносу поживних речовин з ґрунту. Через неглибоку та слабо розвинену кореневу систему, картопля має обмежену здатність поглинати поживні речовини з глибших шарів ґрунту. Тому необхідно забезпечити рослини достатньою кількістю легкодоступних елементів живлення.

Основу системи удобрення становлять органічні добрива:

- гній: 35-40 т/га (вносять перед осінньою оранкою);
- сидерати (післяживні культури);
- компости;
- мінеральні добрива

Дозування мінеральних добрив під час основного внесення N90P90K90:
(кг діючої речовини на га)

Локальне внесення при посадці:

- 10-20 кг/га азотних добрив у діючій речовині;
- 10-20 кг/га фосфорних добрив у діючій речовині.

При підживленні вносять по 20-30 кг/га NPK або 5-6 т/га гноївки

На різних типах ґрунтів необхідні специфічні мікродобрива – на підзолистих ґрунтах – борні мікродобрива, на торфових – мідні.

Догляд за посівами

Сучасна технологія вирощування картоплі передбачає два підходи до догляду за посівами.

Традиційна система догляду включає 4-5 міжрядних обробітків:

- досходове боронування через 5-7 днів після посадки для знищення проростків бур'янів;
- перша культивація на глибину 6-8 см при появі сходів;
- друга культивація на глибину 10-12 см з підгортанням через 10-12 днів;
- третя культивація перед змиканням бадилля.

Сучасна технологія майже повністю виключає додаткові механічні обробітки ґрунту – 4-5 міжрядних обробітків замінюють одним прийомом формування гребенів. Об'ємні гребені формують після садіння бульб при появі паростків біля поверхні ґрунту, для чого використовують фрезерні або дискові міжрядні культиватори. Захист від бур'янів проводять застосуванням високоефективних гербіцидів

Зрошення картоплі

В умовах північного Степу зрошення є одним із ключових елементів технології вирощування картоплі. Основна умова отримання стабільного і якісного врожаю – оптимальне забезпечення рослин водою. Дефіцит вологи є головним лімітуючим фактором для отримання високих врожаїв у цьому регіоні.

Усі операції при підготовці ґрунту мають бути спрямовані на збереження, накопичення та мінімізацію втрат вологи впродовж усього вегетаційного періоду. Однак природних опадів (350-450 мм на рік) при випаровуваності 700-900 мм недостатньо.

Особливо висока чутливість картоплі до нестачі вологи спостерігається в період бутонізації, цвітіння і бульбоутворення. Саме в цей час формується основна частина врожаю, і дефіцит вологи може призвести до значних втрат продуктивності. При цьому підтримання вологості ґрунту на рівні 70-80% від найменшої вологоємності.

Поливна норма 300-400 м³/га за один полив

Зрошувальна норма за сезон 2000-3000 м³/га залежно від погодних умов

Перший полив здійснюють у фазі бутонізації, наступні – через 8-12 днів залежно від погодних умов. Припиняють поливи за 2-3 тижні до збирання.

Захист від хвороб та шкідників

Колорадський жук – найнебезпечніший шкідник картоплі в нашому регіоні. Він пошкоджує листя на всіх стадіях розвитку і може повністю знищити посіви при відсутності контролю. Захист від нього вимагає 2-3 обробки інсектицидами за сезон.

Іншими шкідниками є дротяники, що пошкоджують бульби, золотиста картопляна нематода, капустянка і попелиця, яка є переносником вірусних захворювань.

Основною хворобою картоплі вважається фітофтороз – найнебезпечніше грибкове захворювання, яке вражає листя та бульби, швидко поширюється у вологу теплу погоду і потребує профілактичних обробок фунгіцидами

Сучасна система захисту картоплі включає комплекс заходів:

- агротехнічні заходи (дотримання сівозміни, використання здорового насіннєвого матеріалу, видалення рослинних решток, оптимальні строки посадки тощо);
- хімічний захист (протруювання бульб перед посадкою, профілактичні обробки фунгіцидами, інсектицидні обробки проти колорадського жука, застосування гербіцидів для контролю бур'янів);
- біологічний контроль (використання біопрепаратів та збереження корисної ентомофауни).

Збирання та зберігання врожаю

Збирання починають, коли бульби досягають господарської стиглості.

За 10-14 днів до збирання проводять десикацію (знищення бадилля).

Оптимальні строки – до зниження середньодобової температури до +10°C

Збирання проводять у суху сонячну погоду коли ґрунт знаходиться у стані фізичної стиглості (не переувложнений). Температура повітря – не нижче +8°C.

Збирання здійснюють використовуючи спеціалізовані картоплезбиральні комбайни, або картоплезбиральні машини – картоплекопачі з наступним ручним підбиранням.

Десикація

Знищення вегетативної маси перед збиранням припиняє відтік поживних речовин з бульб у бадилля, сприяє формуванню міцної шкірки на бульбах, зменшує ризик зараження бульб фітофторозомі полегшує механізоване збирання.

Післязбиральна обробка

Одразу після збирання картоплю просушують на повітрі 2-3 години, видаляють пошкоджені та хворі бульби, сортують за розміром і поступово охолоджують до температури зберігання.

Продовольчу картоплю зберігають при температурі $+3...+5^{\circ}\text{C}$, насінневу – при $+3,6...+4,2^{\circ}\text{C}$. При цьому важливо, щоб вологість повітря була в межах 85-90% для мінімізації втрат вологи бульбами. Вологість підтримують шляхом вентиляцій.

Провівши огляд і аналіз технології вирощування картоплі нами зроблено висновок, що всі операції достатньо обґрунтованими і оптимізованими, з високим рівнем механізації процесів. Однак, при цьому операція збирання має найнижчий показник механізації серед решти і характеризується ручним збиранням бульб.

Метою нашої магістерської роботи є підвищення ефективності збирання бульб картоплі шляхом обґрунтування параметрів накопичувального бункера картоплезбиральної машини.

2.2. Загальна класифікація машин для збирання картоплі

Картоплезбиральні машини класифікуються за кількома основними критеріями. За способом з'єднання з енергетичним засобом розрізняють причіпні, напівпричіпні, навісні та самохідні машини. За кількістю одночасно оброблюваних рядків виділяють одно-, дво-, три- та чотирирядні конструкції. За конструктивними особливостями машини поділяються на бункерні та елеваторні типи.

Бункерні варіанти обладнані ємностями для зберігання зібраних коренеплодів об'ємом зазвичай від 2 до 7 тонн для причіпних моделей та до 16 тонн для самохідних комбайнів. Елеваторна техніка – картоплекопачі вивантажують картоплю безпосередньо на транспортний засіб або на поверхню поля для подальшого ручного збирання.

2.2.1. Конструктивні особливості картоплекопачів

Картоплекопачі представляють найпростішу категорію машин для збирання картоплі. Їх призначення полягає у підкопуванні рядків картоплі, сепарації викопаного вороху та укладанні відділених бульб на поверхню поля у валок або розкиданні. За конструкцією робочих органів картоплекопачі поділяються на елеваторні, роторні, грохотні та комбіновані.

Найпоширенішим типом є елеваторні картоплекопачі, такі як КСТ-1,4А (рис. 2.1).

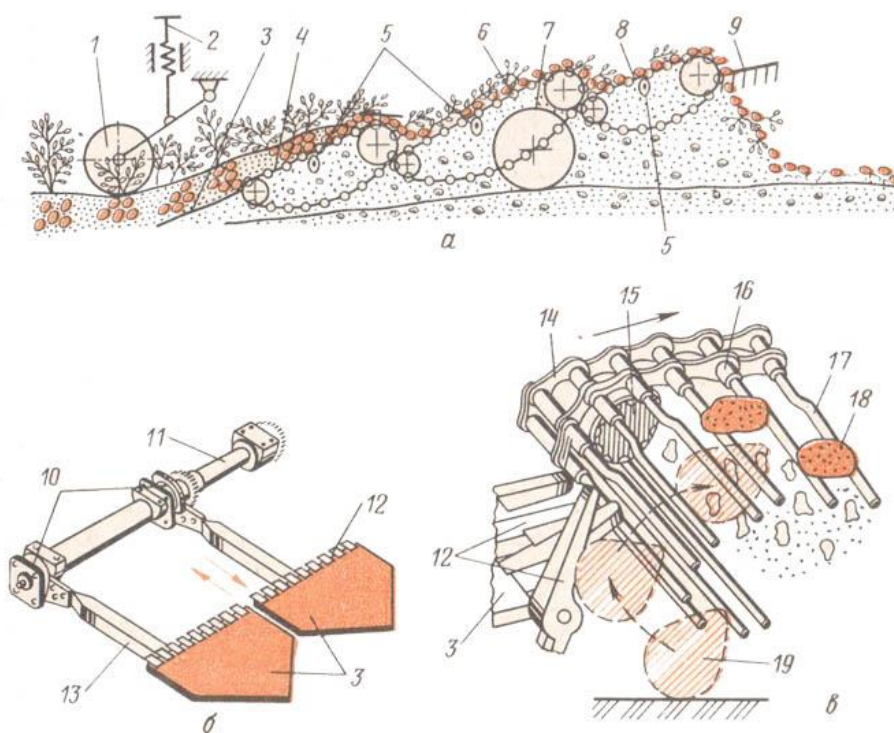


Рис. 2.1. Загальна будова картоплекопача КСТ-1,4А:

1- копіювальне колесо, 2- гвинт регулювання глибини підкопування бульб, 3- активний лемішний копач, 4- швидкісний транспортер, 5- еліпсоїдні зірочки струшувачів, 6- основний транспортер, 7- каскадний транспортер, 9- звужувальний щиток, 10- ексцентриковий механізм, 11- вал приводу лемешів, 12- відкидні пальці, 13- шатун, 14- приводний ланцюг, 15- ведуча зірочка транспортера, 16- втулка, 17- пруток, 18- бульба, 19 – грудка (камінь).

Конструкція таких машин складається з підкопувальних лемешів, швидкісного, основного та каскадного елеваторів, звужувальних щитків, опорних пневматичних коліс, механізму привода та рами.

Продуктивність таких машин становить до 0,9 га/год при робочій швидкості 1,9-6,5 км/год.

Ще більш простими машинами є картоплекопачі КТН-1Б (рис. 2.2), які здійснюють викопування бульб з одного рядка, але мають гребінчастий ротаційний сепаратор ґрунту і бічний напрям викидання коренеплодів, що становить підвищені витрати ручної праці під час збирання.



а)



б)

Рис. 2.2. Картоплекопач КТН-1Б (загальний вигляд):

а- фронтальний вид; б- вид ззаду

Вітчизняними конструкторами створено ряд малих елеваторних картоплекопачів серії КК (рис. 2.3, 2.4), призначених для агрегування з рушіями низької потужності, що говорить про затребуваність даних знарядь на малих площах.

Копачі КК 11 оснащені пасовим привідним механізмом і призначені для агрегування з мотоблоками, а більш досконалі – КК 24 мають привід від ВВП тракторів з двигунами від 20 к.с.

Важливо зазначити, що традиційні картоплекопачі не обладнані накопичувальними бункерами і працюють виключно на викладання бульб на поверхню поля.



Рис. 2.3. Картоплекопач КК 11 (загальний вигляд)



Рис. 2.4. Картоплекопач КК 24 (загальний вигляд)

Картоплезбиральні комбайни представляють собою багатофункціональні технічні комплекси, призначені для механізованого збору картоплі з одночасним відділенням бульб від бадилля, рослинних і інших домішок. Принцип дії полягає в підрізанні скиби ґрунту з бульбами, транспортуванні вороху на сепаруючі поверхні, очищенні бульб від ґрунту та домішок і накопиченні або передачі їх у транспортний засіб.

Основними машинами для збирання картоплі є дворядні уніфіковані комбайни ККУ-2А, трирядні КПК-3 (рис. 2.5), а також сучасні зарубіжні моделі виробництва компаній Grimme, ROPA (рис. 2.6), ІМАС та інших. Комбайн ККУ-2А призначений для збирання картоплі з двох рядків на полях з легкими та середніми ґрунтами за вологості 14-20%. Місткість моделі становить близько 650 кілограм при продуктивності 0,4 га на годину.

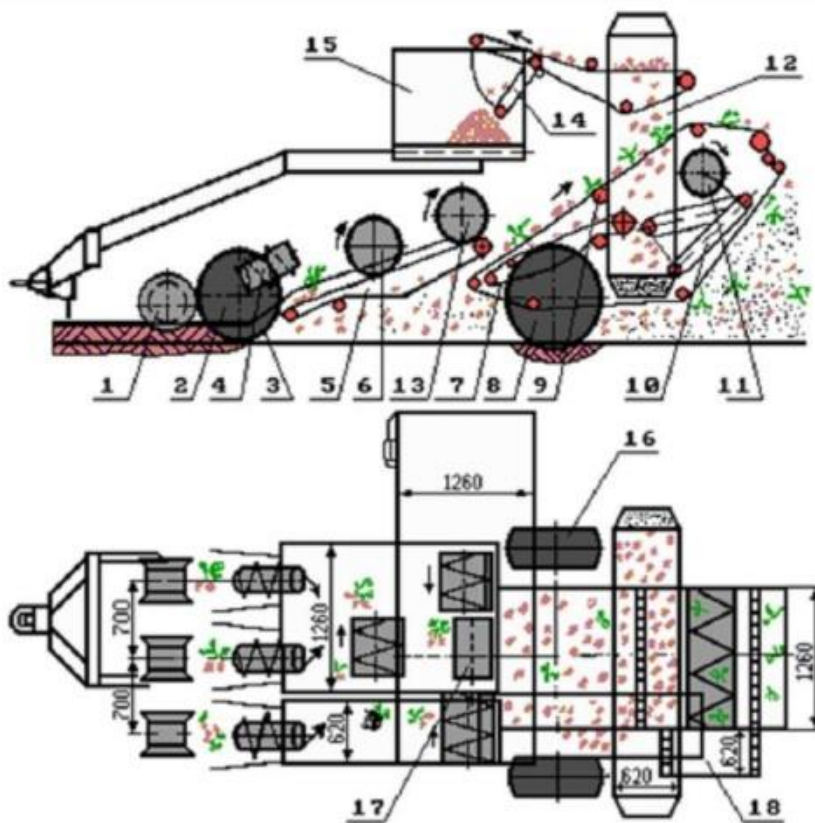


Рис. 2.5. Функціональна схема картоплекопача КПК-3:

1- копир, 2- колесо, 3- леміш, 4- шнек поздовжній, 5- основний елеватор, 6,13 – шнек поперечний, 7- додатковий транспортер, 8- кероване колесо, 9- зірочка, 10- виносний транспортер, 11- вивантажувальний шнек, 12-картопляна маса, 14- завантажувач бункера, 15- бункер, 16- кероване колесо, 17- бітер, 18- ковшовий елеватор



Рис. 2.6. Причіпний картоплезбиральний комбайн ROPA (загальний вигляд)



Рис. 2.7. Картоплезбиральний комбайн Dewulf Enduro (загальний вигляд)

Картоплезбиральні комбайни мають суттєво вищий технічний рівень ніж картоплекопачі і повну механізацію технологічного процесу з виключенням ручної праці. Однак вартість комбайнів настільки висока, що при відносно невеликих площах картоплі (до 100 га, а інколи і більше) застосування такої складної техніки економічно не вигідне. Тому переважна кількість фермерських господарств північного Степу використовує більш дешеві копачі.

Основним же недоліком копачів, як зазначено раніше, є вивантаження бульб на поверхню поля з подальшим ручним збиранням.

Таким чином постає задача введення до конструкції картоплекопача бункера-накопичувача, який дозволив би здійснювати вивантаження бульб в кінці гону.

2.3. Аналіз конструкцій бункерних систем

Технічні характеристики накопичувальних бункерів

Сучасні картоплезбиральні комбайни обладнуються накопичувальними бункерами різної місткості. Причіпні одно- та дворядні картоплезбиральні машини компанії Grimme серії SE оснащуються бункерами від 2000 до 7500 кг. Самохідні чотирирядні комбайни, такі як Grimme TECTRON 415, мають бункери місткістю 15-16 тонн.

Конструкція бункера є критично важливим елементом, що визначає продуктивність та якість роботи машини. Завантаження картоплі в бункер і вивантаження її у транспортний засіб здійснюється за допомогою елеваторної системи, конструкція якої забезпечує дбайливе транспортування картоплі невеликими порціями, що мінімізує травмування бульб.

Система контролю наповнення бункера

Провідні виробники, зокрема компанія Grimme, впроваджують у свої комбайни передові системи автоматичного контролю наповнення бункера. Автоматичний пристрій оптимізації наповнення контролює висоту падіння картоплі, яка постійно змінюється в процесі заповнення. Дистанційний датчик виявляє відстань між картоплею та елеватором, і коли вона стає меншою за попередньо задану, автоматично вмикається механізм підйому транспортера.

Така система гарантує незначну висоту падіння картоплі і максимальне збереження бульб від механічних пошкоджень. Нові моделі бункерів обладнуються функцією "Remain Control", яка реєструє висоту шару продукту в зоні завантаження приймального бункера, що суттєво покращує процес повторного заповнення, оскільки врожай падає не безпосередньо на дно бункера, а на задалегідь заданий залишок продукту.

Розвантажувальні системи

Ефективність розвантаження бункера безпосередньо впливає на продуктивність збиральної машини. Бункер обладнується транспортером з

перекладинами з гідравлічним приводом, що дозволяє плавно розвантажувати картоплю на причіп. Швидкість розвантаження сучасних бункерів становить 20-25 секунд для ємності 4 тонни.

Можливість регулювання швидкості руху донного транспортера в широкому діапазоні від 0,2 до 6,0 м/хв дозволяє операторові налаштувати пропускну здатність, встановлюючи бажану продуктивність у тоннах на годину. Зменшений кут підйому транспортера приймального бункера збільшує загальну продуктивність і покращує потік продукту. Висота вивантаження може регулюватися від 1,35 до 2,70 метрів, що забезпечує універсальність застосування з різними типами транспортних засобів.

2.4. Порівняльний аналіз ефективності різних конструкцій

Традиційні картоплекопачі, такі як КСТ-1,4А, КТН-1,4А та інші елеваторні моделі, працюють за принципом викладання бульб на поверхню поля. Продуктивність таких машин становить 0,1-0,5 га/год залежно від моделі та умов роботи. Основною перевагою є простота конструкції, низька вартість та невибагливість до умов експлуатації.

Однак технологія збирання з використанням картоплекопачів має суттєві недоліки. Після викладання бульб на поле необхідний ручний збір або застосування додаткових машин для підбирання валків. Це призводить до значних втрат робочого часу, залучення великої кількості робітників та збільшення ризику механічних пошкоджень бульб при повторному контакті з ґрунтом.

Картоплезбиральні комбайни з накопичувальними бункерами демонструють суттєво вищу продуктивність та економічну ефективність. Більшість одно- або дворядних картоплезбиральних машин обладнано бункерами для накопичення бульб, завдяки чому на 25% здешевлено собівартість збирання. Це підтверджується практичним досвідом господарств, що використовують бункерні комбайни.

Продуктивність бункерних комбайнів становить 0,8-1,1 га/год для дворядних моделей та до 1,5-2,0 га/год для чотирирядних самохідних машин. Важливою перевагою є можливість безперервної роботи комбайна з

періодичним розвантаженням бункера у транспортні засоби, що рухаються поряд або стоять на краю поля.

Агротехнічні вимоги до картоплезбиральних машин визначають, що комбайн має збирати в бункер не менше 97% урожаю картоплі. Втрати всіх видів не можуть перевищувати 4-10%. Чистота картоплі в тарі має бути не менше 80%. Кількість механічних пошкоджень бульб усіх видів допускається не більше 12 відсотків.

Бункерні комбайни з правильно сконструйованою системою завантаження та розвантаження забезпечують середній відсоток втрати бульб не більше 3%. Конструкція транспортерів та бункера забезпечує обробку картопляної маси без критичних пошкоджень. Для порівняння, при роботі картоплекопача з подальшим ручним збиранням відсоток пошкоджень може сягати 5-15% через додаткові операції та контакт бульб з ґрунтом.

Для малих фермерських господарств з площею картоплі до 20 га економічно виправданим є використання простих картоплекопачів елеваторного або грохотного типу без бункерів. Продуктивності 0,2-0,4 га/год достатньо для збирання врожаю протягом оптимального терміну.

Для господарств середнього розміру (20-100 га картоплі) оптимальним є придбання причіпного дворядного комбайна з бункером місткістю 2-4 тонни. Такі машини коштують 800 000-1 500 000 грн і забезпечують продуктивність 0,6-0,9 га/год. При площі 50 га та середній врожайності 22 т/га термін окупності становить 8-12 років за умови надання послуг іншим господарствам.

Важливим є правильний підбір транспортних засобів для роботи з комбайном. Оптимально мати 2-3 самоскидні причепа вантажопідйомністю 5-8 тонн, що дозволить організувати безперервну роботу комбайна з мінімальними простоями на розвантаження.

Великі господарства з площею картоплі понад 100 га потребують високопродуктивної техніки. Оптимальним вибором є самохідні чотирирядні комбайни з бункерами 10-16 тонн. При продуктивності 1,5-2,0 га/год такі машини дозволяють зібрати 150-200 га за оптимальний термін 10-15 днів.

Висока вартість такої техніки (10-15 млн грн) окупається за 5-7 років за умови ефективної організації робіт та надання послуг іншим господарствам. Важливим є створення власного сервісного центру з запасом критичних запасних частин для мінімізації простоїв техніки в період збирання.

На підставі проведеного комплексного аналізу конструкцій картоплезбиральних машин та економіко-технологічного обґрунтування можна зробити такі висновки:

Накопичувальні бункери є невід'ємною частиною високопродуктивних картоплезбиральних комбайнів, що підтверджується конструкціями провідних світових виробників. Бункери місткістю 2-16 т дозволяють організувати ефективний безперервний процес збирання з періодичним розвантаженням у транспортні засоби.

Обладнання традиційних картоплекопачів накопичувальними бункерами є альтернативним рішенням, яке дозволить дещо підвищити продуктивність, однак суттєво зменшить витрати ручної праці. Максимально можлива місткість бункера для копача становить 0,5-1,5 і потребує обґрунтування.

3. НАУКОВА ЧАСТИНА

3.1. Обґрунтування об'єму бункера картоплезбиральної машини методом масового обслуговування

Вихідні дані

Відстань до вивантаження: $L = 200-400$ м.

Ширина захвату машини: $B = 1,4$ м

Робоча швидкість: $v = 6,5$ км/год = $1,81$ м/с

Урожайність картоплі: $Y = 20$ т/га = 2 кг/м²

Об'ємна маса картоплі: $\rho = 670$ кг/м³

Коефіцієнт заповнення бункера: $k_3 = 0,85$

На коротких ділянках (200-400 м) особливо важливо:

- мінімізувати кількість вивантажень;
- враховувати більшу частку часу на розвороти;
- оптимізувати співвідношення час роботи / час вивантаження;
- забезпечити раціональне використання транспорту.

Розрахунок часу проходження гону

Для мінімальної довжини $L = 200$ м:

$$t_{\text{гону min}} = L_{\text{min}} / v = 200 / 1,81 = 110 \text{ с} = 1,83 \text{ хв}$$

Для максимальної довжини $L = 400$ м:

$$t_{\text{гону max}} = L_{\text{max}} / v = 400 / 1,81 = 221 \text{ с} = 3,68 \text{ хв}$$

Для середньої довжини $L = 300$ м:

$$t_{\text{гону сер}} = 300 / 1,81 = 166 \text{ с} = 2,77 \text{ хв}$$

Площа та маса картоплі за один гін

Для $L = 200$ м:

$$S_{\min} = 200 \times 1,4 = 280 \text{ м}^2 = 0,028 \text{ га}$$

$$m_{\min} = 280 \times 2 = 560 \text{ кг} = 0,56 \text{ т}$$

Для $L = 400 \text{ м}$:

$$S_{\max} = 400 \times 1,4 = 560 \text{ м}^2 = 0,056 \text{ га}$$

$$m_{\max} = 560 \times 2 = 1120 \text{ кг} = 1,12 \text{ т}$$

Для $L = 300 \text{ м}$ (середнє):

$$S_{\text{сер}} = 300 \times 1,4 = 420 \text{ м}^2 = 0,042 \text{ га}$$

$$m_{\text{сер}} = 420 \times 2 = 840 \text{ кг} = 0,84 \text{ т}$$

Формалізація задачі як системи масового обслуговування

Опис системи для коротких полів

Система масового обслуговування типу М/М/1, де:

- канал обслуговування – картоплезбиральна машина з бункером;
- заявки – операції вивантаження бункера;
- особливість: висока частота вивантажень через короткі гони.

Маємо кілька варіантів організації роботи.

Варіант А: Вивантаження після кожного гону.

Варіант Б: Вивантаження після 2-х гонів.

Варіант В: Вивантаження після 3-х гонів.

Визначення параметрів системи

Продуктивність збирання

$$Q = B \times v \times Y = 1,4 \text{ м} \times 1,81 \text{ м/с} \times 2 \text{ кг/м}^2 = 5,07 \text{ кг/с} = 18,25 \text{ т/год}$$

Розрахунок для різних об'ємів бункера

ВАРІАНТ 1: Бункер $V = 1,5 \text{ м}^3$

Місткість бункера:

$$m_{\text{бункера}} = V \times \rho \times k_{\text{з}} = 1,5 \times 670 \times 0,85 = 854 \text{ кг}$$

Час наповнення:

$$t_{\text{напов}} = m / Q = 854 / 5,07 = 168 \text{ с} = 2,80 \text{ хв}$$

Кількість гонів до наповнення:

$$\text{При } L = 200 \text{ м: } n = 854 / 560 = 1,53 \text{ гону} \approx 1\text{-}2 \text{ гони}$$

$$\text{При } L = 300 \text{ м: } n = 854 / 840 = 1,02 \text{ гону} \approx 1 \text{ гін}$$

$$\text{При } L = 400 \text{ м: } n = 854 / 1120 = 0,76 \text{ гону} < 1 \text{ гону}$$

Інтенсивність надходження заявок:

$$\lambda_1 = 1 / t_{\text{напов}} = 1 / 2,80 = 0,357 \text{ заявок/хв} = 21,4 \text{ заявок/год}$$

ВАРІАНТ 2: Бункер $V = 2,0 \text{ м}^3$

Місткість бункера:

$$m_{\text{бункера}} = 2,0 \times 670 \times 0,85 = 1139 \text{ кг}$$

Час наповнення:

$$t_{\text{напов}} = 1139 / 5,07 = 225 \text{ с} = 3,75 \text{ хв}$$

Кількість гонів до наповнення:

$$\text{При } L = 200 \text{ м: } n = 1139 / 560 = 2,03 \text{ гону} \approx 2 \text{ гони}$$

$$\text{При } L = 300 \text{ м: } n = 1139 / 840 = 1,36 \text{ гону} \approx 1-2 \text{ гони}$$

$$\text{При } L = 400 \text{ м: } n = 1139 / 1120 = 1,02 \text{ гону} \approx 1 \text{ гін}$$

Інтенсивність надходження заявок:

$$\lambda_2 = 1 / 3,75 = 0,267 \text{ заявок/хв} = 16,0 \text{ заявок/год}$$

ВАРІАНТ 3: Бункер $V = 2,5 \text{ м}^3$

Місткість бункера:

$$m_{\text{бункера}} = 2,5 \times 670 \times 0,85 = 1424 \text{ кг}$$

Час наповнення:

$$t_{\text{напов}} = 1424 / 5,07 = 281 \text{ с} = 4,68 \text{ хв}$$

Кількість гонів до наповнення:

$$\text{При } L = 200 \text{ м: } n = 1424 / 560 = 2,54 \text{ гону} \approx 2-3 \text{ гони}$$

$$\text{При } L = 300 \text{ м: } n = 1424 / 840 = 1,69 \text{ гону} \approx 2 \text{ гони}$$

$$\text{При } L = 400 \text{ м: } n = 1424 / 1120 = 1,27 \text{ гону} \approx 1-2 \text{ гони}$$

Інтенсивність надходження заявок:

$$\lambda_3 = 1 / 4,68 = 0,214 \text{ заявок/хв} = 12,8 \text{ заявок/год}$$

ВАРІАНТ 4: Бункер $V = 3,0 \text{ м}^3$

Місткість бункера:

$$m_{\text{бункера}} = 3,0 \times 670 \times 0,85 = 1710 \text{ кг}$$

Час наповнення:

$$t_{\text{напов}} = 1710 / 5,07 = 337 \text{ с} = 5,62 \text{ хв}$$

Кількість гонів до наповнення:

$$\text{При } L = 200 \text{ м: } n = 1710 / 560 = 3,05 \text{ гону} \approx 3 \text{ гони}$$

$$\text{При } L = 300 \text{ м: } n = 1710 / 840 = 2,04 \text{ гону} \approx 2 \text{ гони}$$

$$\text{При } L = 400 \text{ м: } n = 1710 / 1120 = 1,53 \text{ гону} \approx 1-2 \text{ гони}$$

Інтенсивність надходження заявок:

$$\lambda_4 = 1 / 5,62 = 0,178 \text{ заявок/хв} = 10,7 \text{ заявок/год}$$

Інтенсивність обслуговування

Час вивантаження бункера:

$$t_{\text{вив}} = 2,0 \text{ хв (стандартне значення)}$$

$$\mu = 1 / t_{\text{вив}} = 0,50 \text{ заявок/хв} = 30,0 \text{ заявок/год}$$

Для малих об'ємів можливе швидше вивантаження:

$$t_{\text{вив.швидке}} = 1,5 \text{ хв}$$

$$\mu_{\text{швидке}} = 1 / 1,5 = 0,667 \text{ заявок/хв} = 40,0 \text{ заявок/год}$$

Розрахунок характеристик системи масового обслуговування

Коефіцієнт завантаження системи (ρ)

$$\rho = \lambda / \mu$$

При $t_{\text{вив}} = 2,0$ хв, для $V = 1,5$ м³:

$$\rho_1 = 21,4 / 30,0 = 0,713 \text{ (71,3\%)}$$

Для $V = 2,0$ м³:

$$\rho_2 = 16,0 / 30,0 = 0,533 \text{ (53,3\%)}$$

Для $V = 2,5$ м³:

$$\rho_3 = 12,8 / 30,0 = 0,427 \text{ (42,7\%)}$$

Для $V = 3,0$ м³:

$$\rho_4 = 10,7 / 30,0 = 0,357 \text{ (35,7\%)}$$

При $t_{\text{вив}} = 1,5$ хв (швидке вивантаження):

$$\text{Для } V = 1,5 \text{ м}^3: \rho_1' = 21,4 / 40,0 = 0,535 \text{ (53,5\%)}$$

Для $V = 2,0 \text{ м}^3$: $\rho_2' = 16,0 / 40,0 = 0,400$ (40,0%)

Для $V = 2,5 \text{ м}^3$: $\rho_3' = 12,8 / 40,0 = 0,320$ (32,0%)

Ймовірність простою системи (P_0)

$$P_0 = 1 - \rho$$

При $t_{\text{вив}} = 2,0$ хв:

Для $V = 1,5 \text{ м}^3$: $P_{01} = 1 - 0,713 = 0,287$ (28,7%)

Для $V = 2,0 \text{ м}^3$: $P_{02} = 1 - 0,533 = 0,467$ (46,7%)

Для $V = 2,5 \text{ м}^3$: $P_{03} = 1 - 0,427 = 0,573$ (57,3%)

Для $V = 3,0 \text{ м}^3$: $P_{04} = 1 - 0,357 = 0,643$ (64,3%)

Середній час очікування в черзі (W_q)

$$W_q = \rho / (\mu \times (1 - \rho))$$

При $t_{\text{вив}} = 2,0$ хв:

Для $V = 1,5 \text{ м}^3$: $W_{q1} = 0,713 / (0,50 \times 0,287) = 0,713 / 0,144 = 4,95$ хв

Для $V = 2,0 \text{ м}^3$: $W_{q2} = 0,533 / (0,50 \times 0,467) = 0,533 / 0,234 = 2,28$ хв

Для $V = 2,5 \text{ м}^3$: $W_{q3} = 0,427 / (0,50 \times 0,573) = 0,427 / 0,287 = 1,49$ хв

Для $V = 3,0 \text{ м}^3$: $W_{q4} = 0,357 / (0,50 \times 0,643) = 0,357 / 0,322 = 1,11$ хв

Коефіцієнт використання робочого часу ($K_{\text{вик}}$)

$$K_{\text{вик}} = t_{\text{напов}} / (t_{\text{напов}} + t_{\text{вив}})$$

При $t_{\text{вив}} = 2,0$ хв, для $V = 1,5$ м³:

$$K_{\text{вик1}} = 2,80 / (2,80 + 2,0) = 2,80 / 4,80 = 0,583 \text{ (58,3\%)}$$

$$\text{Для } V = 2,0 \text{ м}^3: K_{\text{вик2}} = 3,75 / (3,75 + 2,0) = 3,75 / 5,75 = 0,652 \text{ (65,2\%)}$$

$$\text{Для } V = 2,5 \text{ м}^3: K_{\text{вик3}} = 4,68 / (4,68 + 2,0) = 4,68 / 6,68 = 0,701 \text{ (70,1\%)}$$

$$\text{Для } V = 3,0 \text{ м}^3: K_{\text{вик4}} = 5,62 / (5,62 + 2,0) = 5,62 / 7,62 = 0,738 \text{ (73,8\%)}$$

При $t_{\text{вив}} = 1,5$ хв: Для $V = 1,5$ м³:

$$K_{\text{вик1}'} = 2,80 / (2,80 + 1,5) = 0,651 \text{ (65,1\%)}$$

$$\text{Для } V = 2,0 \text{ м}^3: K_{\text{вик2}'} = 3,75 / (3,75 + 1,5) = 0,714 \text{ (71,4\%)}$$

$$\text{Для } V = 2,5 \text{ м}^3: K_{\text{вик3}'} = 4,68 / (4,68 + 1,5) = 0,757 \text{ (75,7\%)}$$

Детальний аналіз для середньої довжини поля ($L = 300$ м)

Цикл роботи для різних об'ємів

Для $V = 1,5$ м³ (≈ 1 гін):

Робота: $1 \text{ гін} \times 2,77 \text{ хв} = 2,77 \text{ хв}$

Вивантаження: $2,0$ хв

Цикл: $4,77$ хв

Гонів за годину: $60 / 4,77 = 12,6$ гонів

Для $V = 2,0$ м³ ($\approx 1,5$ гону):

Робота: $1,5 \text{ гону} \times 2,77 \text{ хв} = 4,16 \text{ хв}$

Вивантаження: 2,0 хв

Цикл: 6,16 хв

Циклів за годину: $60 / 6,16 = 9,7$ циклів

Для $V = 2,5 \text{ м}^3$ (≈ 2 гони):

Робота: $2 \text{ гони} \times 2,77 \text{ хв} = 5,54 \text{ хв}$

Вивантаження: 2,0 хв

Цикл: 7,54 хв

Циклів за годину: $60 / 7,54 = 7,96$ циклів

Для $V = 3,0 \text{ м}^3$ ($\approx 2,5$ гону):

Робота: $2,5 \text{ гону} \times 2,77 \text{ хв} = 6,93 \text{ хв}$

Вивантаження: 2,0 хв

Цикл: 8,93 хв

Циклів за годину: $60 / 8,93 = 6,7$ циклів

Продуктивність машини

Теоретична продуктивність:

$$W_T = 0,1 \times B \times v \times Y = 0,1 \times 1,4 \times 6,5 \times 20 = 18,2 \text{ т/год}$$

Експлуатаційна продуктивність:

$$\text{Для } V = 1,5 \text{ м}^3: W_{e1} = 18,2 \times 0,583 = 10,6 \text{ т/год}$$

$$\text{Для } V = 2,0 \text{ м}^3: W_{e2} = 18,2 \times 0,652 = 11,9 \text{ т/год}$$

$$\text{Для } V = 2,5 \text{ м}^3: W_{e3} = 18,2 \times 0,701 = 12,8 \text{ т/год}$$

$$\text{Для } V = 3,0 \text{ м}^3: W_{e4} = 18,2 \times 0,738 = 13,4 \text{ т/год}$$

Економічні показники

Втрати від простоїв

Вартість години роботи комбайна: $C_k = 1500$ грн/год

Втрати від простоїв за годину роботи:

$$\text{Для } V = 1,5 \text{ м}^3: B_1 = 1500 \times (1 - 0,583) = 1500 \times 0,417 = 626 \text{ грн/год}$$

$$\text{Для } V = 2,0 \text{ м}^3: B_2 = 1500 \times (1 - 0,652) = 1500 \times 0,348 = 522 \text{ грн/год}$$

$$\text{Для } V = 2,5 \text{ м}^3: B_3 = 1500 \times (1 - 0,701) = 1500 \times 0,299 = 449 \text{ грн/год}$$

$$\text{Для } V = 3,0 \text{ м}^3: B_4 = 1500 \times (1 - 0,738) = 1500 \times 0,262 = 393 \text{ грн/год}$$

Річні втрати при сезонному завантаженні

При сезонному завантаженні 300 годин на рік:

$$\text{Для } V = 1,5 \text{ м}^3: B_{1\text{річ}} = 626 \times 300 = 187\,800 \text{ грн/рік}$$

$$\text{Для } V = 2,0 \text{ м}^3: B_{2\text{річ}} = 522 \times 300 = 156\,600 \text{ грн/рік}$$

$$\text{Для } V = 2,5 \text{ м}^3: B_{3\text{річ}} = 449 \times 300 = 134\,700 \text{ грн/рік}$$

$$\text{Для } V = 3,0 \text{ м}^3: B_{4\text{річ}} = 393 \times 300 = 117\,900 \text{ грн/рік}$$

Вартість виготовлення бункера

Орієнтовна вартість:

$$V = 1,5 \text{ м}^3: 65\,000 \text{ грн}$$

$$V = 2,0 \text{ м}^3: 80\,000 \text{ грн (+15\,000 грн)}$$

$$V = 2,5 \text{ м}^3: 95\,000 \text{ грн (+30\,000 грн)}$$

$$V = 3,0 \text{ м}^3: 110\,000 \text{ грн (+45\,000 грн)}$$

Термін окупності збільшення об'єму

Від 1,5 до 2,0 м³:

$$T_{\text{ок}1} = 15\,000 / (187\,800 - 156\,600) = 15\,000 / 31\,200 = 0,48 \text{ року} \approx 6 \text{ місяців}$$

Від 1,5 до 2,5 м³:

$$T_{\text{ок}2} = 30\,000 / (187\,800 - 134\,700) = 30\,000 / 53\,100 = 0,56 \text{ року} \approx 7 \text{ місяців}$$

Від 1,5 до 3,0 м³:

$$T_{\text{ок}3} = 45\,000 / (187\,800 - 117\,900) = 45\,000 / 69\,900 = 0,64 \text{ року} \approx 8 \text{ місяців}$$

Від 2,0 до 2,5 м³:

$$T_{\text{ок}4} = 15\,000 / (156\,600 - 134\,700) = 15\,000 / 21\,900 = 0,68 \text{ року} \approx 8 \text{ місяців}$$

Загальні витрати та оптимізація

7.1. Цільова функція

$$Z(V) = (C_{\text{виг}} \times V) / T_{\text{сл}} + (C_{\text{к}} \times T_{\text{роб}} \times (1 - K_{\text{вик}}(V)))$$

Приймаємо:

$$C_{\text{виг}} = 35\,000 \text{ грн/м}^3 \text{ (питома вартість)}$$

$$T_{\text{сл}} = 10 \text{ років (термін служби)}$$

$$T_{\text{роб}} = 300 \text{ год/рік}$$

$$C_{\text{к}} = 1500 \text{ грн/год}$$

Розрахунок загальних річних витрат

$$\text{Для } V = 1,5 \text{ м}^3: Z_1 = (35\,000 \times 1,5) / 10 + 626 \times 300 / 300$$

$$Z_{1\text{річ}} = 5\,250 + 187\,800 = 193\,050 \text{ грн/рік}$$

$$\text{Для } V = 2,0 \text{ м}^3: Z_{2\text{річ}} = 7\,000 + 156\,600 = 163\,600 \text{ грн/рік}$$

$$\text{Для } V = 2,5 \text{ м}^3: Z_{3\text{річ}} = 8\,750 + 134\,700 = 143\,450 \text{ грн/рік}$$

$$\text{Для } V = 3,0 \text{ м}^3: Z_{4\text{річ}} = 10\,500 + 117\,900 = 128\,400 \text{ грн/рік}$$

Визначення мінімуму витрат

Аналіз показує:

$$\text{Мінімум витрат при } V = 3,0 \text{ м}^3: 128\,400 \text{ грн/рік}$$

Але різниця з $V = 2,5 \text{ м}^3$ невелика: $143\,450 - 128\,400 = 15\,050 \text{ грн/рік}$

Врахування конструктивних обмежень

Під час проектування конструкції необхідно враховувати особливості, характерні для дослідного агрегату.

Для коротких полів важливо:

- компактність бункера;
- низький центр ваги (часті розвороти);
- швидке вивантаження;
- маневреність машини.

Порівняння варіантів

На основі проведеного аналізу нами було отримано кількісні характеристики варіантів, які для зручності сприйняття зведено до таблиці 3.1.

Порівняльна таблиця варіантів

Показник	Теоретичний об'єм бункера			
	V=1,5 м ³	V=2,0 м ³	V=2,5 м ³	V=3,0 м ³
Параметри СМО				
Інтенсивність λ , зав/год	21,4	16,0	12,8	10,7
Коефіцієнт завантаження ρ	0,713	0,533	0,427	0,357
Час очікування W_{q} , хв	4,95	2,28	1,49	1,11
Ефективність				
Коефіцієнт використання $K_{\text{вик}}$	58,3%	65,2%	70,1%	73,8%
Продуктивність W_e , т/год	10,6	11,9	12,8	13,4
Економіка				
Втрати, грн/год	626	522	449	393
Річні втрати, грн/рік	187 800	156 600	134 700	117 900
Загальні витрати, грн/рік	193 050	163 600	143 450	128 400
Практичність				
Гонів до вивантаження (L=300м)	1	1-2	2	2-3
Маса бункера повного, кг	854	1139	1424	1710
Кількість вивантажень/год	21	16	13	11

Графічну інтерпретацію отриманих даних за основними показниками наведено на рис. 3.1.



Рис. 3.1. Порівняння коефіцієнтів використання робочого часу

З отриманої графічної інтерпретації порівняння коефіцієнтів використання робочого часу видно, що варіанти з об'ємом бункера 2,0-3,0 не суттєво відрізняються. При цьому перший варіант також є прийнятним, оскільки його значення складає понад 58%.



Рис. 3.1. Порівняння загальних річних витрат

Порівняння загальних річних витрат також підтверджують тезу щодо переваг бункерів збільшеної ємності.

Вплив швидкості вивантаження

Сценарій зі швидким вивантаженням ($t_{\text{вив}} = 1,5$ хв)

Коефіцієнт використання при $t_{\text{вив}} = 1,5$ хв:

$$\text{Для } V = 1,5 \text{ м}^3: K_{\text{вик}1}' = 2,80 / (2,80 + 1,5) = 0,651 \text{ (65,1\%)}$$

$$\text{Втрати: } 1500 \times 0,349 = 524 \text{ грн/год}$$

$$\text{Річні втрати: } 157 \text{ 200 грн/рік}$$

$$\text{Для } V = 2,0 \text{ м}^3: K_{\text{вик}2}' = 3,75 / (3,75 + 1,5) = 0,714 \text{ (71,4\%)}$$

$$\text{Втрати: } 1500 \times 0,286 = 429 \text{ грн/год}$$

$$\text{Річні втрати: } 128 \text{ 700 грн/рік}$$

$$\text{Для } V = 2,5 \text{ м}^3: K_{\text{вик}3}' = 4,68 / (4,68 + 1,5) = 0,757 \text{ (75,7\%)}$$

$$\text{Втрати: } 1500 \times 0,243 = 365 \text{ грн/год}$$

$$\text{Річні втрати: } 109 \text{ 500 грн/рік}$$

Економія від швидкого вивантаження

Для $V = 1,5 \text{ м}^3$: $187\,800 - 157\,200 = 30\,600$ грн/рік

Для $V = 2,0 \text{ м}^3$: $156\,600 - 128\,700 = 27\,900$ грн/рік

Для $V = 2,5 \text{ м}^3$: $134\,700 - 109\,500 = 25\,200$ грн/рік

Таким чином, швидке вивантаження дозволяє компенсувати недоліки меншого бункера.

Практичні рекомендації для коротких полів

Оптимальне рішення

Для гонів або полів довжиною 200-400 м рекомендується об'єм бункера $V = 2,0-2,5 \text{ м}^3$, оскільки вони мають технічні переваги:

- достатню місткість для 1,5-2 гонів;
- компактність конструкції;
- маневреність на коротких полях;
- прийнятна маса (1,1-1,4 т);
- коефіцієнт використання робочого часу 65-70%;
- швидка окупність (< 8 місяців);
- мінімальні загальні витрати для даних умов;
- оптимальне співвідношення ціна/ефективність;
- зручність роботи на невеликих ділянках;
- менша кількість операцій вивантаження порівняно з $V=1,5 \text{ м}^3$;
- можливість роботи з легким транспортом;
- швидка адаптація до різної довжини гонів.

Рекомендації за умовами

Об'єм бункера $V = 1,5-2,0 \text{ м}^3$ можна рекомендувати при:

- дуже коротких гонах (полях < 250 м);
- низькій урожайності (< 15 т/га);

- обмеженому бюджеті;
- наявності швидкої системи вивантаження ($< 1,5$ хв);
- роботі на невеликих фермерських господарствах.

Об'єм бункера $V = 2,0-2,5$ м³ рекомендується при:

- середніх полях (250-350 м);
- урожайності 18-25 т/га;
- стандартних умовах роботи;
- наявності легкого транспорту (2-3 т);

Оптимальний варіант для більшості випадків – $V = 2,5-3,0$ м³ рекомендується при:

- довгих полях (350-400 м);
- високій урожайності (> 25 т/га);
- можливості забезпечення швидкого вивантаження;
- наявності потужнішого транспорту.

ВИСНОВКИ

Математична модель системи для коротких полів, створена на основі використання методу масового обслуговування показує:

1. оптимальний об'єм бункера: $2,0-2,5$ м³ при коефіцієнті використання робочого часу 65-70% і мінімальних показниках загальних витрат: 143 000-164 000 грн/рік.
2. Оптимальні коефіцієнти завантаження системи становлять: для $V = 2,0$ м³ – $\rho = 0,533$, а для $V = 2,5$ м³ – $\rho = 0,427$.
3. Зменшення часу вивантаження з 2,0 до 1,5 хв підвищує $K_{\text{вик}}$ на 6-7%, при економії 25 000-30 000 грн/рік. При цьому для коротких полів швидке вивантаження критично важливе

4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Визначення конструкційних параметрів бункера копача.

Бункер будемо кріпий до несучої конструкції картоплекопача за допомогою шарнірного з'єднання. При цьому його конструкцією заміщуємо каскадний елеватор. Під час переміщення картопляних бульб всередині накопичувальної ємності, що відбувається при маневруванні агрегату або розвантаженні, спостерігається природне самоочищення продукції від залишків землі. Це підтверджується практичним досвідом експлуатації. Завдяки такому ефекту застосування каскадного транспортера стає недоцільним.

Основним параметром бункера виступає його ємність, яка має забезпечувати приймання всього врожаю, зібраного з рядків на протязі проходу, для подальшого одноразового розвантаження на краю ділянки.

Визначимо геометричні параметри бункера.

У розділі 3 нами обґрунтовано оптимальний об'єм бункера, який становить $2,0 \dots 2,5 \text{ м}^3$. З урахуванням використання в якості рушія трактора тягового класу 1,4 т, приймемо мінімальний об'єм з зазначеного діапазону $V=2,0 \text{ м}^3$.

Приймемо найпростішу схему бункера, яка дозволить отримати великий об'єм, при цьому матиме малі розміри і ефективне розвантаження на поверхню поля (рис. 4.1). Ширина бункера становить $B=1,83 \text{ м}$ і дорівнює габаритній ширині картоплекопача.

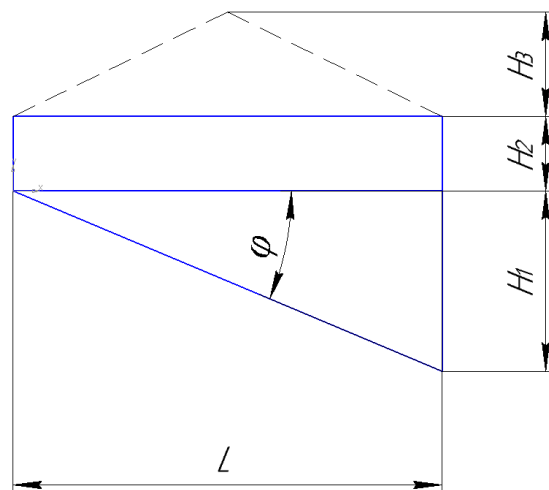


Рис. 4.1. Схема до визначення геометричних розмірів бункера.

На рисунку введено наступні позначення:

- L – довжина бункера;
- H_1 = висота денної частини;
- H_2 = висота верхньої частини;
- H_3 = висота можливого розміщення бульб над бункером;
- $\varphi \geq 25^\circ$ – прийнятий кут нахилу дна бункера.

Об'єм бункера обчислюється як

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

де V_1 - об'єм денної частини;

V_2 - об'єм верхньої частини;

V_3 - об'єм бульб над бункером.

Для забезпечення завантаження бульб з основного елеватора необхідно щоб висота бункера становила

$$H_1 + H_2 \leq 0,9 \text{ м}$$

Прийmemo значення параметрів і перевіримо значення об'єму

При $L = 1,6$ м, висота H_1 становитиме

$$H_1 = L \times \cos \varphi = 1,6 \times \cos 25^\circ = 1,45 \text{ м}$$

Прийmemo $H_1=0,75$ м для забезпечення гарантованого висипання бульб.

Тоді кут нахилу дна

$$\varphi = \arctg(H_1 / L) = 0,75 / 1,6 = 25,11^\circ$$

Висота верхньої частини

$$H_2 = 0,9 - H_1 = 0,9 - 0,75 = 0,15 \text{ м}$$

Тож об'єм денної частини:

$$V_1 = (L \times B \times H_1) / 2 = (1,6 \times 1,83 \times 0,75) / 2 = 1,1 \text{ м}^3$$

Об'єм верхньої частини:

$$V_2 = L \times B \times H_2 = 1,6 \times 1,83 \times 0,15 = 0,44 \text{ м}^3$$

Об'єм бульб над бункером залежить від кута природного укосу бульб картоплі, який становить 45° .

Тож мінімальна висота

$$H_3 = (L/2) \times \text{tg } 45 = (1,6/2) \times \text{tg } 45 = 0,8 \text{ м}$$

Об'єм бульб над бункером

$$V_3=(L \times B \times H_3)/3=(1,6 \times 1,83 \times 0,8)/3=0,78 \text{ м}^3$$

Загальний об'єм бункера:

$$V=1,1+0,44+0,78=2,32 \text{ м}^3$$

Отриманий об'єм входить до визначеного оптимального діапазону $V=2,0 \dots 2,5 \text{ м}^3$, значить залишимо отримані параметри і прийmemo їх для проєктування бункера.

Таким чином, на основі виконаних розрахунків розробимо функціональну схему машини і складальне креслення бункера (рис. 4.2), які винесемо до презентаційної частини роботи.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Загальні положення та вимоги до персоналу

5.1.1. Допуск до роботи

До керування картоплезбиральним агрегатом допускаються працівники не молодше 18 років, які мають:

- чинне посвідчення тракториста-машиніста;
- спеціальне навчання з експлуатації обладнання;
- медичний дозвіл до роботи на сільськогосподарській техніці;
- знання конструктивних особливостей агрегату.

5.1.2. Інструктажі з охорони праці

Перед початком збиральних робіт персонал проходить:

- первинний інструктаж - вивчення конструкції бункера, гідравлічної системи, небезпечних зон, порядку аварійної зупинки;
- повторний інструктаж - не рідше одного разу на 6 місяців з реєстрацією в журналі;
- позаплановий інструктаж - при модернізації обладнання, порушеннях вимог безпеки, перервах у роботі понад 60 днів.

Категорично забороняється:

- керування без посвідчення тракториста-машиніста;
- робота після вживання алкоголю, в стані хвороби або сильної втоми;
- перевезення сторонніх осіб на агрегаті;
- встановлення додаткових сидінь.

5.2. Вимоги безпеки перед початком роботи

5.2.1. Підготовка робочої зони

Обстеження поля проводиться в світлий час доби з виявленням нерівностей, ям, каміння та визначенням розворотних смуг. Організовується зона відпочинку (не ближче 200 м від поля), місця вивантаження картоплі та технічного обслуговування.

5.2.2. Технічний огляд агрегату

Перевірка бункера:

- відсутність тріщин у зварних швах та деформацій рами;

- справність шарнірних вузлів і затягнення кріпильних елементів;
- рівень гідравлічної рідини та відсутність підтікань;
- працездатність гідроциліндрів та розподільника;
- цілісність днища, стінок бункера;
- справність механізму відкривання заслінки та фіксаторів.

Перевірка захисних пристроїв:

- наявність огорожень рухомих частин;
- справність блокувальних пристроїв та аварійних вимикачів;
- наявність попереджувальних знаків.

Підготовка робочого місця:

- чистота скла та справність дзеркал;
- регулювання сидіння під оператора;
- наявність засобів індивідуального захисту (спецодяг, взуття на нековзній підшві, рукавички, респіратор);
- наявність інструментів, вогнегасника, медаптечки, дерев'яної лопати.

5.3. Вимоги безпеки під час роботи

5.3.1. Початок роботи та рух по полю

Запуск двигуна:

- важіль коробки передач у нейтральному положенні;
- важіль гальм у положенні "загальмовано";
- переконання у відсутності людей поблизу;
- подача попереджувального звукового сигналу.

Рух агрегату:

- дотримання безпечної швидкості (не більше 6-8 км/год);
- уважне спостереження за робочою зоною;
- контроль заповнення бункера;
- утримання безпечної дистанції до перешкод.

5.3.2. Небезпечні зони при роботі

ЗОНА 1 - Підкопувальні органи (радіус 2 м):

- заборонено наближатися при включеному приводі;
- необхідна зупинка двигуна перед очищенням;

ЗОНА 2 - Транспортери та елеватори:

- заборонено прочищати руками на ходу;
- використовувати тільки дерев'яні палиці;
- зупинка механізмів перед усуненням забивання.

ЗОНА 3 - Бункер-накопичувач:

- заборонено перебувати під піднятим бункером без упорів;
- не заходити в бункер при працюючому двигуні;
- утримання безпечної відстані при вивантаженні.

ЗОНА 4 - Карданні вали:

- обов'язкова наявність захисних кожухів;
- заборонено торкатися обертових частин.

5.3.3. Вивантаження бункера

Підготовка:

- під'їзд до місця вивантаження на рівній площадці;
- встановлення на стоянкове гальмо;
- перевірка відсутності людей у зоні вивантаження (1 м);
- переведення важеля гідравліки в положення "вивантаження".

При вивантаженні **ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ**:

- знаходитися під піднятим бункером;
- прочищати бункер при піднятому положенні без упорів;
- притримувати заслінку руками;
- штовхати картоплю ногами або залазити в бункер.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В нашій магістерській роботі проведено огляд сучасної технології вирощування картоплі та аналіз конструкцій картоплезбиральних машин, в ході чого було встановлено наступне.

1. Найбільш недосконалою операцією в технології вирощування картоплі є збиральна, під час якої значний об'єм робіт вимагає використання ручної праці.
2. Навіть сучасні серійні картоплекопачі не дозволяють підвищити рівень механізації збиральної операції.
3. Інтегрування в конструкцію картоплекопача бункера-накопичувача дозволить підвищити рівень механізації праці, підвищити загальну продуктивність і зменшити витрати палива транспортним засобам, задіяним у збиральній операції.
4. Математична модель системи для коротких полів, створена на основі використання методу масового обслуговування дозволяє зазначити, що оптимальний об'єм бункера-накопичувача становить 2,0-2,5 м³ при коефіцієнті використання робочого часу 65-70% і мінімальних показниках загальних витрат: 143 000-164 000 грн/рік.
5. Оптимальні коефіцієнти завантаження системи становлять: для $V = 2,0 \text{ м}^3$ – $\rho = 0,533$, а для $V = 2,5 \text{ м}^3$ – $\rho = 0,427$.
6. Зменшення часу вивантаження з 2,0 до 1,5 хв підвищує $K_{\text{вик}}$ на 6-7%, при економії 25000-30000 грн/рік. При цьому для коротких полів швидке вивантаження є важливим елементом зниження економічних витрат.
7. Розраховані у практичній частині параметри бункера стали основою для проєктування його конструкції, наведеної у презентації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агротехніка та механізація збирання картоплі // Пропозиція – Головний журнал з питань агробізнесу. – URL: <https://propozitsiya.com/articles/tekhnika-ta-obladnannya/ahrotekhnika-ta-mekhanizatsiya-zbyrannya-kartopli>.
2. Бендера І. М. Проектування сільськогосподарських машин : навч.-метод. посіб. для викон. курс. проектів з розробки с.-г. техніки при підготов. фахівців напряму "Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва" / І. М. Бендера, А. В. Рудь, Я. В. Козій, Д. Г. Войтюк, П. В. Сисолін; Поділ. держ. аграр.-техн. ун-т, Борщів. аграр. коледж. - Кам'янець-Поділ. : Сисин О.В. : Абетка, 2011. - 639 с.
3. Бункери накопичувачі перевантажувальні Egritech на 2023 рік // Egritech. – 2023. – URL: <https://egritech.org/uk/bunker-ua/bunkery-perevantazhuvachi-zerna-egritech-na-2023-rik-osoblyvosti-ta-perevagy/>.
4. Картоплезбиральний комбайн // Вікіпедія. – URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Картоплезбиральний_комбайн.
5. Картоплезбиральні комбайни: види та особливості // ROPA. – 2024. – URL: <https://ropa.in.ua/news/kartoplezbiralni-kombajni-vidi-osoblivosti/>.
6. Картоплекопалки для трактора та мінітрактора // VINA VI. – URL: <https://vinavi.in.ua/ua/g6633323-kartoplekopachi>.
7. Картоплекопалки на мінітрактори та трактори // АМ. – URL: <https://am.ua/uk/kartofelekopateli/>.
8. Картоплекопалку купити в Україні // Minifermer. – URL: <https://minifermer.com/kartofelekopalki-dlya-traktorov-2>.
9. Картоплекопачі для мінітрактора // Motokosmos. – URL: <https://motokosmos.ua/ua/kartofelekopalka-dlya-minitraktora>.
10. Комбайн збирає картоплю після копача // AgroTimes. – 2021. – URL: <https://agrotimes.ua/ovochi-sad/kombajn-zbyraye-kartoplyu-pislya-kopacha/>.
11. Компанія GRIMME представляє нове покоління приймальних бункерів RH // Polymya-Agro. – URL: <https://polymya-agro.by/news/novoe-pokolenie-priemnykh-bunkerov-rh-ot-grimme/>.

12. Кулішенко Д., Васильковський О. Удосконалення конструкції картоплекопача. Матеріали XIV міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». – Кропивницький: ЦНТУ. 2023. С. 247-248.
13. Кулішенко Д., Васильковський О., Якименко С. Огляд конструкцій і напрям удосконалення картоплекопачів. Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції «Прикладні науково-технічні дослідження», Івано-Франківськ: АТНУ, 2024. С. 40-43.
14. Машины для збирання картоплі // MSD. – 2013. – URL: <https://msd.com.ua/cpravochnik-agronoma/mashini-dlya-zbirannya-kartopli/>.
15. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу "Проектування машин для збирання технічних культур" для студентів спеціальності 8.090215 - "Машины та обладнання сільськогосподарського виробництва" / Укл. О.М.Васильковський, М.І.Васильковський, В.В.Амосов, С.М.Мороз. - Кіровоград: КДТУ, 2003. - 85 с.
16. Методичні рекомендації до виконання дипломної роботи здобувачів другого (магістерського) освітнього рівня спеціальності Н7 «Агроінженерія» за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія» / уклад.: Д.І. Петренко, С.М. Лещенко, О.М. Васильковський, С.М. Мороз, Ю.В. Мачок, О.В. Нестеренко. М-во освіти і науки Укр., Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2025.– 47 с
17. Огляд сучасного стану механізації процесу збирання картоплі // International Science Journal of Engineering & Agriculture. – 2024. – Vol. 3, No. 2. – P. 47-66. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/379492219>.
18. Опис моделей картоплезбиральних комбайнів // Vergans. – URL: <https://vergans.com.ua/opis-modelej-kartoplezbiralnix-kombajniv/>.
19. Особливості збирання та зберігання овочів // Agrolines. – 2011. – №8 (37). – URL: <https://agrolines.com.ua/uk/news-ua/19-novost-6>.
20. Перевантажувальний бункер-накопичувач // Dnirovagonmash. – 2023. – URL: <https://dvmash.biz/en/product/perevantazhuvalnyj-bunker-nakopychuvach/>.

21. Приймальний бункер Grimme CLEANLOADER // Technodom. – URL: <https://www.technodom.com/catalog/agricultural/tekhnika-dlya-hranilishch/priemnye-bunkery-agricultural-grimme/priemnyj-bunker-cleanloader/>.
22. Сисолін П. В., Сало В. М., Рибак Т. І. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування : Підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. "Машини та обладн. с.-г. вир-ва". Кн. 2. Машини для рільництва. - К. : Урожай, 2002. - 364 с.
23. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. - К.: Вища освіта, 2005. - 464 с.
24. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. - К.: Вища освіта, 2004. - 544 с.
25. Техніка для вирощування картоплі. Технологія посадки картоплі // Пропозиція. – URL: <https://propozitsiya.com/articles/tekhnika-ta-obladnannya/mekhanizatsiya-vyroshchuvannya-kartopli>.
26. Урок №46. Вивчення робочих органів машин для збирання картоплі // VPL. – URL: <https://vpl.org.ua/news/17-43-58-06-04-2020/>.
27. Як обрати картоплезбиральний комбайн – поради та топ брендів // UVC. – 2025. – URL: <https://uvc.com.ua/yak-obraty-kartoplezbyralnyy-kombayn-top-brendiv-ta-porady/>.
28. Які переваги надає аграріям бункер-накопичувач зерна? // ГК «Брацлав». – 2024. – URL: <https://www.gk-bratslav.com/ua/yaki-perevagy-daye-agrariyam-bunker-perevantazhuvach-zerna/>.

ДОДАТКИ