

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра технічного сервісу та інженерного менеджменту  
імені М.П.Момотенка**

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

Завідувач кафедри технічного сервісу  
та інженерного менеджменту  
імені М.П.Момотенка

\_\_\_\_\_ **Роговський І.Л.**

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

## **МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**на тему: «ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ  
РИСОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ ДЛЯ УМОВ ПІВДНЯ  
УКРАЇНИ»**

Спеціальність – 208 «Агроінженерія»  
Освітня програма – «Агроінженерія»  
Орієнтація освітньої програми – освітньо-наукова

**Гарант освітньої програми:**

Доктор технічних наук, проф. \_\_\_\_\_  
«підпис»

**Голуб Г.А.**

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи**

к.т.н., професор \_\_\_\_\_  
«підпис»

**Михайлович Я.М.**

**Виконав**

\_\_\_\_\_  
«підпис»

**Галак М.В.**

**Київ – 2025**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**  
Кафедра технічного сервісу та інженерного менеджменту  
імені М.П.Момотенка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри технічного сервісу та  
інженерного менеджменту  
імені М.П.Момотенка,

\_\_\_\_\_ **І.Л.Роговський**  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ**

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**

Галаці Миколі Володимировичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність – 208 «Агроінженерія»  
Освітня програма – «Агроінженерія»  
Орієнтація освітньої програми – освітньо-наукова

**Тема магістерської кваліфікаційної роботи:** «Дослідження експлуатаційних показників  
рисозбиральних комбайнів для умов півдня України».

затвержені наказом ректора НУБіП України від «07» грудня 2023 року №2223 «С»

**Термін подання завершеної роботи на кафедру:** 25.05.2025 р.

**Вихідні дані до роботи:**

1. Особливості регіонів вирощування рису в Україні та проблеми організації виконання виробничих процесів вирощування і збирання рису.
2. Існуючі методики оптимізації технологічних процесів та використання технічних засобів для забезпечення виробничих процесів збирання зернової частини рису

**Перелік питань, що підлягають дослідженню:**

1. Стан питання виробництва рису в Україні і завдання досліджень по оптимізації вибору машин для підвищення виробництва рису
2. Теоретичні передумови та основи оптимізації вибору комбайнів для збирання рису та технології збирання рису методом очісування
3. Методика і програма експериментальних досліджень процесу збирання рису на основі оптимізаційних моделей
4. Результати експериментальних досліджень оптимізаційних показників роботи зернозбиральних комбайнів під час збиральних робіт
5. Оцінка ефективності результатів досліджень використання комбайнів і жнивarki для збирання рису методом очісування

Дата видачі завдання 18.09.2023 р.

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи** \_\_\_\_\_ **Я.М. Михайлович**  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

**Завдання прийняв до виконання** \_\_\_\_\_ **М.В. Галак**  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

Вступ .....	4
1 СТАН ПРОБЛЕМ ВИРОБНИЦТВА РИСУ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ .	7
1.1. Аналіз стану рівня виробництва рису .....	7
1.2. Обґрунтування вибору оптимального марочного складу комбайнів для збирання рису.....	11
1.3. Аналіз досліджень використання комбайнів для збирання рису .....	22
2. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИБОРУ КОМБАЙНІВ .....	29
2.1. Алгоритм обґрунтування вибору типу комбайнів.....	29
2.2. Оптимізаційна задача вибору кількості та марочного складу комбайнів ...	34
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ РИСУ ..	39
3.1. Програма експериментальних досліджень .....	39
3.2. Вибір об'єктів досліджень .....	40
3.3. Методика проведення експериментальних досліджень.....	43
4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	52
4.1. Результати з визначення особливостей збирання рису.....	52
4.2. Результати випробувань .....	62
4.3. Результати досліджень роботи очисних жниварок для збирання рису.....	68
5. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА .....	72
ВИСНОВОК .....	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	76

## ВСТУП

Досягнення цілей продовольчої безпеки та реалізація завдань аграрного розвитку є неможливими без належного технічного і організаційного забезпечення сільськогосподарського виробництва сучасними технологіями, технікою та нормативно-технічною документацією (включаючи стандарти, регламенти, інструкції, рекомендації, електронні інформаційні бази, каталоги технічних засобів), адаптованими до зональних ґрунтово-кліматичних особливостей та господарських умов. Зазначена проблема потребує комплексного наукового підходу та раціонального вирішення, що повинно здійснюватися з урахуванням принципів сталого економічного розвитку, підвищення продуктивності праці, зміцнення продовольчої незалежності держави та вирішення актуальних соціальних питань.

Одним із основних регіонів вирощування рису є південь України. Потреби у крупі рису населення не повністю задовольняється з допомогою власного виробництва.

У 2022 році, на тлі повномасштабної війни, виробництво рису зазнало значного скорочення – у 16 разів порівняно з попереднім роком, сягнувши лише 3,1 тис. тонн. За офіційними даними, експорт також зменшився у 8 разів – з 10,3 тис. тонн у 2021 році до 1,3 тис. тонн у 2022-му. Частково компенсувати різке падіння вдалося за рахунок збільшення імпорту, який зріс на 6% – з 81,8 тис. тонн до 86,9 тис. тонн. Проте скорочення внутрішнього виробництва призвело до зменшення споживання рису в країні на 27%, із 121 тис. тонн до 88,7 тис. тонн. У 2023 році ситуацію вдалося частково стабілізувати – обсяги виробництва почали зростати.

За даними, в поточному році в збиральній компанії було задіяно 158 одиниць комбайнів. Віковий склад рисоозбиральних комбайнів понад 10 років експлуатації – 38%.

З цих причин існують втрати на полі при збиральних роботах. Крім того, амортизаційна вартість комбайнів більше 10 років експлуатації значно відбивається на собівартості рису, також варто врахувати, що в основному вся

техніка імпортується за високою ціною з-за кордону, Німеччини та США, такі як CAS8 2388», «John Deere STS 9770» та «CLAAS Lexion 750» та інші комбайни.

Наявні в рисівницьких господарствах і пропонувані на ринку рисозбиральні комбайни, що імпортують за високою ціною з-за кордону, в більшості випадків не відповідають регіональним умовам збирання рису.

В даний час випробування призначені для оцінки технічного рівня зарубіжних рисозбиральних комбайнів протягом останніх десятиліть не проводилися.

Наразі практично відсутні науково обґрунтовані рекомендації щодо раціонального використання рисозбиральних комбайнів різних типів і конструкцій. Існуючий парк комбайнової техніки в регіоні не відповідає вимогам агропромислового комплексу ані за кількісними показниками, ані за технічними характеристиками, ані за структурною відповідністю сучасним агротехнологічним умовам.

Серед актуальних проблем, що стримують розвиток рисівництва на півдні країни, особливе значення має необхідність оптимізації машинно-комбайнового парку. Саме це є ключовою умовою для своєчасного збирання врожаю у визначені агротехнічні строки та запобігання втратам зерна й погіршенню його якості. Реалізація зазначених вимог можлива лише за наявності у сільськогосподарських підприємств достатньої кількості комбайнів, що відповідають сучасним вимогам за технічним рівнем та функціональністю.

Підвищення ефективності виробничих процесів може бути досягнуто лише завдяки впровадженню високопродуктивної збиральної техніки. Попри складну економічну ситуацію, в останні роки на півдні України ведеться робота з оновлення машинно-тракторного парку. Пріоритет надається сучасним високопродуктивним моделям іноземного виробництва. Водночас імпортні комбайни, які закупаються за значно вищою ціною, нерідко не адаптовані до місцевих ґрунтово-кліматичних умов та не забезпечені належною сервісною підтримкою. Це, своєю чергою, ускладнює технічне обслуговування та експлуатацію техніки.

Наявний парк рисозбиральних машин не відповідає реальним потребам аграрного сектору ні кількісно, ні якісно. Надмірна різноманітність марок імпортованих комбайнів призводить до труднощів в організації якісного сервісного обслуговування, постачанні запасних частин і паливо-мастильних матеріалів, що додатково ускладнює процес експлуатації техніки в господарствах.

**Метою** дослідження є наукове обґрунтування оптимального складу та типу комбайнового парку, а також визначення перспективної технології збирання рису методом очісування, адаптованої до агрокліматичних умов південного регіону України.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні науково-практичні завдання:

- здійснити дослідження агрокліматичних та природно-виробничих умов вирощування рису в Одеській області та проаналізувати їх вплив на технологічні процеси збирання врожаю;
- обґрунтувати оптимальний варіант використання наявних у господарствах комбайнів шляхом порівняльної оцінки їх експлуатаційних характеристик;
- розробити математичну модель для оптимізації чисельного і типового складу комбайнового парку, з урахуванням специфіки функціонування рисівничих господарств південного регіону;
- сформулювати перспективні прогнози ефективності застосування модернізованого типу комбайнів і раціональної технології збирання рису на основі трендових (трендових) моделей аналітичного аналізу.

**Об'єктом** дослідження є технологія роботи рисозбиральних комбайнів при виконанні збиральних робіт в умовах Одеської області.

**Предметом** наукового дослідження є встановлення закономірностей взаємозв'язку між технічними характеристиками та технологічними параметрами й ефективністю експлуатації рисозбиральних комбайнів.

## 1 СТАН ПРОБЛЕМИ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 1.1. Аналіз стану рівня виробництва рису

Виробництвом рису займаються 114 країн, обробляють його на площі 160 млн га. Він є основним харчовим продуктом для більш ніж однієї третини населення планети за даними (FAO).

Серед зернових культур за врожайністю рис посідає одне із перше місце, а площею вирощування, завдяки сучасним проблемам, поступається майже всім культурам в Україні.

Найбільше виробництво рису традиційно зосереджено в країнах Далекого Сходу та Південно-Східної Азії. Понад 70% усього глобального виробництва рису нині зосереджено в п'яти країнах – Китаї, Індії, Індонезії, В'єтнамі й Таїланді (рис. 1.1). Завдяки сучасним технологіям, досягненням селекції та генетики продуктивність вирощування рису з кожним роком зростає.



Джерело: FAO-AMIS

Рис. 1.1. Провідні країни – Преміуми виробництва рису у світі

За останні 10 років виробництво рису виросло на 10%. За подальшої

інтенсифікації його виробництва варто очікувати пришвидшення темпів росту, адже потенціал урожайності рису є досить високим.

Таблиця 1.1.

Динаміка світового виробництва рису за різними експертними оцінками, млн тон

М/П	FAO-AMIS	IGS	USDA-PSD
2010/11	463,66	448,46	450,24
2011/12	480,04	470,19	469,67
2012/13	484,90	477,40	476,06
2013/14	490,59	481,51	481,34
2014/15	490,06	483,56	482,79
2015/16	488,58	478,23	477,13
2016/17	496,49	491,58	491,49
2017/18	499,37	494,07	494,71
2018/19	506,31	497,66	497,04
2019/20	501,10	496,87	496,07
Ріст за 10 років у %	108,1	110,8	110,2

Джерело: FAO-AMIS

Порівняно із середньостатистичним китайцем, який споживає близько 77 кг рису на рік, українець їсть небагато цієї крупи – до 3 кг. До 2014 року Україна забезпечувала себе рисом на 70%, а решту імпортувала, переважно з Пакистану чи Туреччини. На 60 тисячах гектарів рисових зрошувальних систем, розташованих на Таврії, Причорномор'ї та Бессарабії, збирали 170-180 тисяч тонн врожаю на рік. 80% посівних територій займав вітчизняний рис, якого на сьогодні зареєстровано 11 сортів.

Згідно з офіційними даними, в 2022 році в вісім разів скоротився і експорт рису, впавши до показника 1,3 тис. т, проти 10,3 тис. т у 2021 році. Стрімке падіння частково вдалося компенсувати ростом імпорту рису, який склав 6%. Ввезення збільшилось з 81,8 тис. т до 86,9 тис. т. Однак скорочення виробництва стало причиною зменшення споживання цього продукту в країні на 27% – з 121 тис. т до 88,7 тис. т.

Незважаючи на загальне зменшення українського продукту, під час воєнного 2022 року щорічне середнє споживання рису збільшилось, при розрахунку на одну особу, з 3,2 кг (показник 2021 року) до 3,3 кг.

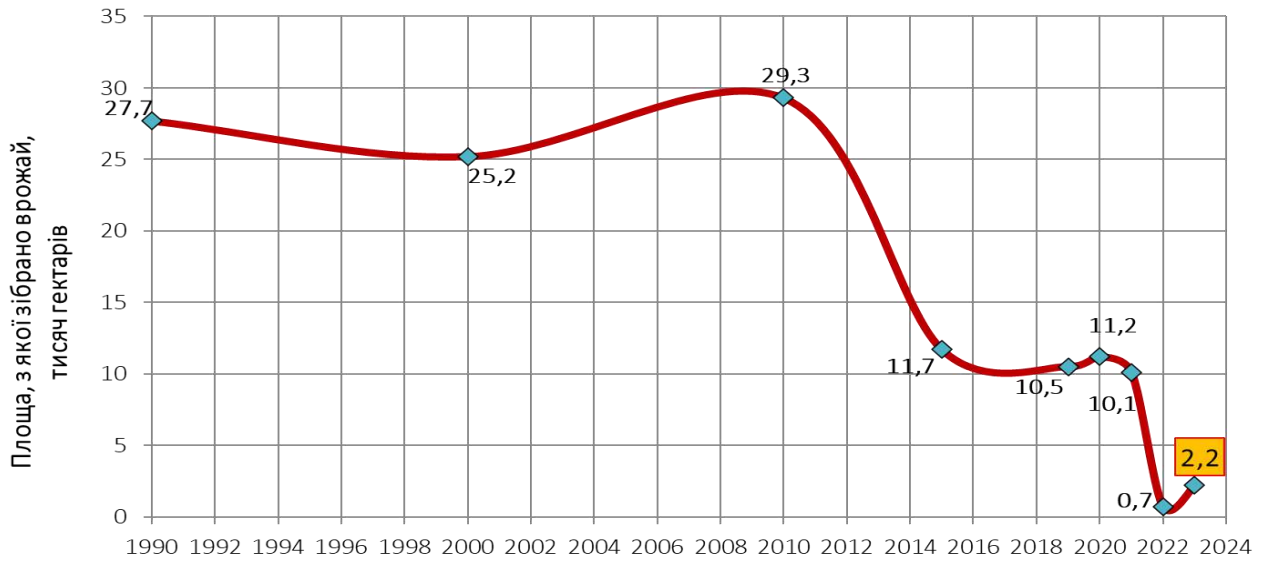


Рис. 1.2 - Посівна площа рису в Україні

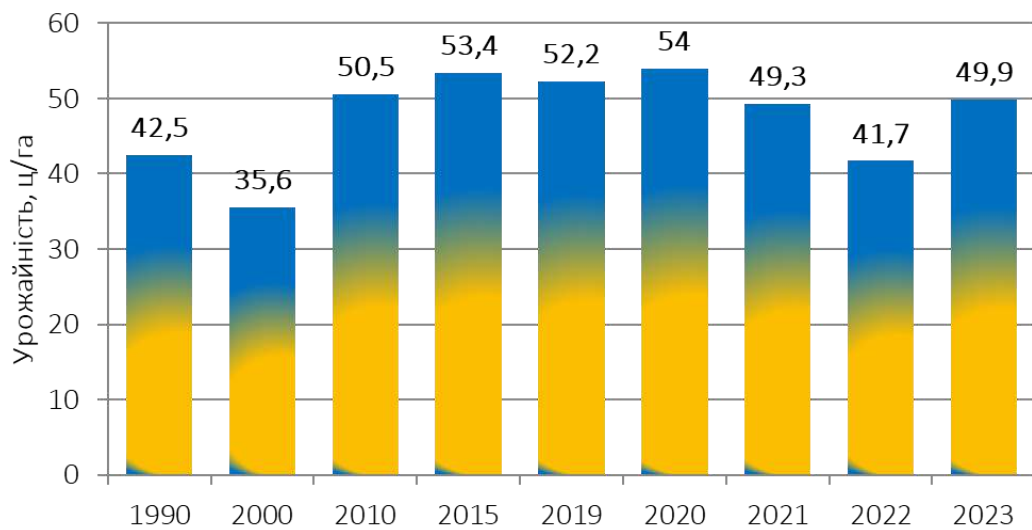
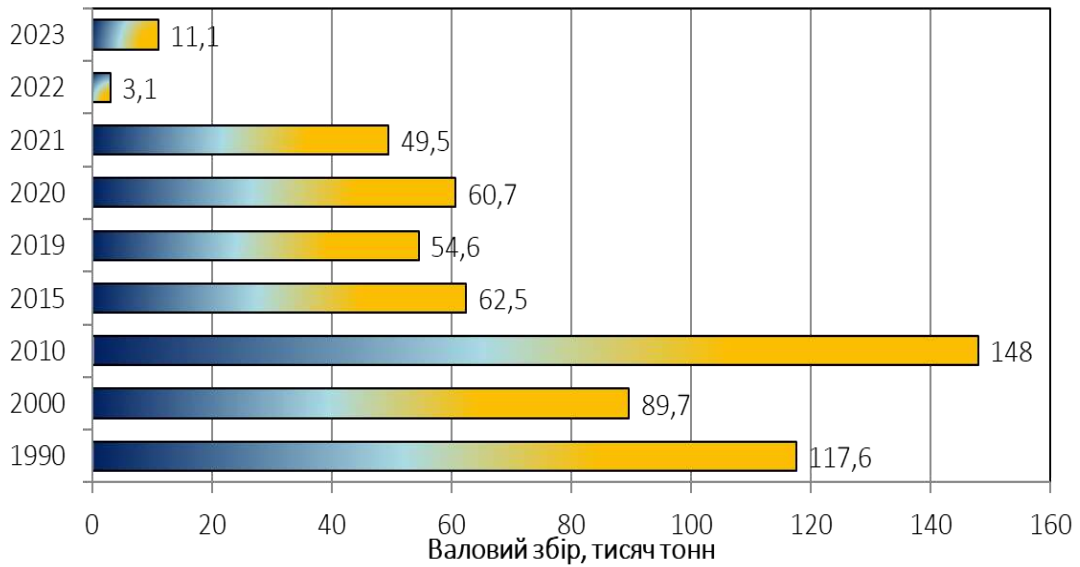


Рис. 1.3 - Валовий збір та врожайність рису в Україні

З анексією території Криму Україна втратила майже половину рисових систем. Окрім того, що півострів був одним із осередків рисівництва, туди часто навідувалися наукові співробітники та працівники рисових систем для дослідів та обміну досвідом. Нині у Криму рис не вирощують через відсутність води у Північно-Кримському каналі: його закрили і він починає заростати.

Виробництво рису через повномасштабну війну скоротилося в 2022 році в 16 разів, якщо порівнювати з попереднім роком, і становило лише 3,1 тис. т.

Зазначається, що вирощуванням рису до війни займалися Одеська та Херсонська області.

«Через напад росії частина території Херсонської області була окупована, відповідно Україна ще минулого року втратила можливість вирощувати рис на цих землях. Варто зазначити, що виробництвом цієї культури займалась в основному лівобережна частина Херсонської області, яка все ще знаходиться в тимчасовій окупації. Тож уже півтора року ми не маємо можливості отримувати рис з цієї частини України. А після підриву Каховської ГЕС подальша ймовірність вирощувати рис на цих територіях мінімальна», – вважають експерти.

Залишилася лише Одеська область, яка в 2022 році виростила близько 3,1 тис. т. Такі невеликі обсяги виробництва пов'язані з невизначеністю на початку війни та переорієнтацією на інші більш пріоритетні культури. У 2023 році ситуація в Одеській області трішки покращилася, і очікується власне виробництво близько 11 тис. т, додають фахівці.

Україна завжди імпортувала більше рису, ніж вирощувала самостійно, оскільки є країни, де природно-кліматичні умови більш сприятливі для вирощування цієї культури. Однак можливість самостійно забезпечувати себе необхідними продуктами харчування, гарантуючи власну продовольчу безпеку, теж важлива.

«Незважаючи на війну та руйнування традиційних логістичних маршрутів, обсяги імпорту рису залишаються на відносно сталому рівні. У 2022 році було імпортовано 87,6 тис. т рису, що на 5% більше попереднього року. Основними

країнами-постачальниками традиційно були: Китай, Індія та Пакистан. У 2023 році здійснили імпорту на рівні 73 тис. т, що на 17% менше показника 2022 року. Скорочення імпорту постачань зумовлене зростанням світових цін на рис та низькою платоспроможністю українців».

В Інституті рису розробили план розвитку галузі. За найбільш оптимістичним сценарієм, ґрунтово-кліматичні умови дозволяють мати близько 220 тис га рисових полів у Миколаївській, Херсонській та Одеській областях.

У Херсонській області всі рисові поля після укрупнення районів опинилися в межах Скадовського району. Загалом їх тут близько 17 тис га. Ще близько 13 тис га – на землях колишніх солончаків у Кілійському районі Одеської області.

Комбайновий парк регіону в основному представлений комбайнами наступних країн: СКІФ-250, КЗС-9 Славутич, СКІФ-330, СКІФ-310; VECTOR 450, "John Deere", "CASE 2388", "New Holland" (США); "CLAAS TUCANO 580", "CLAAS LEXION 750" (Німеччина); "Laverda" (Італія) та ін.

Імпортуна сільськогосподарська техніка у 1,5...3 рази за вартістю перевищує аналоги України.

Серйозні наслідки може викликати велика різномарочність імпортуних рисозбиральних комбайнів, що закуповуються. У цьому виникають труднощі у створенні їхнього сервісу, у забезпеченні запасними частинами.

## **1.2. Обґрунтування вибору оптимального типу комбайнів для збирання рису**

Визначення оптимального типорозмірного ряду та типу рисозбиральних комбайнів для конкретного регіону є суто зональною задачею, що зумовлена специфікою місцевих умов. Раціональне та результативне використання комбайнів для збирання рису значною мірою детермінується комплексом чинників, серед яких – агрокліматичні, агрономічні та природно-виробничі особливості. Сукупність цих умов справляє суттєвий вплив на технологічний процес збирання, істотно обмежуючи потенційну продуктивність комбайнового агрегату.

*Агрокліматичні фактори.* У кліматичному відношенні область характеризується наявністю тепла і світла, малою річною нормою опадів і нетривалим морозним періодом, несприятливим для обробітку рису.

Клімат області помірно континентальний зі спекотним сухим літом і м'якою малосніжною зимою і вкрай посушливий з тривалим спекотним і сухим літом, ґрунт солоний, родючість низька.

Літо спекотне та тривале. Середня температура липня  $+21^{\circ}\text{C}$  на півночі і  $+24^{\circ}\text{C}$  на півдні, січня  $-5^{\circ}\text{C}$  на півночі і  $-2^{\circ}\text{C}$  на півдні. Опади випадають більше влітку, часто у вигляді злив. У південній частині області бувають посухи. Тривалість періоду із середньодобовою температурою вище  $10^{\circ}\text{C}$  – 180-200 днів, а вище  $15^{\circ}\text{C}$  – 138-158 днів.

Область посушлива. Середньорічна кількість опадів вбирається у 340–470 мм і розподіляється за сезонами року нерівномірно: 60% всіх опадів посідає зимово-весняний період. Сума опадів за вегетаційний період знаходиться у межах 168-210 мм, що дуже важливо для рису.

Різноманітність природно-кліматичних умов зумовлює необхідність раціонального та зонально обґрунтованого розміщення рисозбиральної техніки на території області згідно із системою збирання рису, адаптованою до регіональних особливостей. Аналіз даних щодо зональних відмінностей у строках досягання сортів рису дозволяє встановити оптимальні строки збирання для конкретних сортів, вирощуваних у межах регіону. Володіючи інформацією про площі, відведені під кожен сорт, та враховуючи допустимі агротехнічні строки збирання, можливо визначити сукупну площу, яку необхідно зібрати в межах певного календарного періоду. З огляду на несприятливі погодні умови та пізнє дозрівання волоті рису, жнива в північній частині регіону традиційно розпочинаються з початку вересня, тоді як у центральних і південних зонах – у середині серпня.

*Агрономічні чинники.* Ґрунти області переважно чорноземні: на півночі – реградовані та типові, в центр. частині – звичайні, на півдні – південні; є темно-каштан. солонцюваті; у річкових долинах – лучно-чорноземні та лучно-

солонцюваті.

Початок проведення скошування обумовлюється не лише ступенем стиглості зернівок і рівнем потенційних втрат урожаю, але й необхідністю забезпечення належної прохідності рисозбиральної техніки в межах чеків. Прохідність жниварок безпосередньо залежить від вологості ґрунту, яка, своєю чергою, визначається тривалістю осушення чеків після припинення подачі води. Зафіксовано, що при досягненні 80% ступеня дозрівання рису вологість зерна коливається в межах 28–32%, а ґрунт має вологість 40–70%. Після зливу води з чеків для їх повного осушення потрібно понад 20 днів. Подача зрошувальної води до чеків зазвичай припиняється у першій або на початку другої декади серпня. У північній зоні рисосіяння повне осушення чеків завершується наприкінці серпня – на початку вересня, тоді як у центральній і південній зонах скошування розпочинається вже з першої декади вересня. У момент повного осушення вологість ґрунту досягає 75–80%, а через 2–3 доби знижується до 50–55%.

Щодо виробничих чинників, найсуттєвіший вплив на проектування типорозміру рисозбиральної техніки справляють конфігурація та площа полів, довжина гону, особливості рельєфу, а також логістичні аспекти – зокрема, відстань транспортування зерна та соломи.

До специфічних особливостей рисової культури належать підвищена вологість як зерна, так і стебел, значна схильність до полягання, подвоєне порівняно з пшеницею зусилля на розрив стебла, висока вологість ґрунту у чеках, а також невеликі площі полів та коротка довжина гону.

Майже всі основні сорти рису, що вирощуються, вилягають через велику довжину стебел. Встановлено, що чим вище стебло, тим більше схильний до вилягання. При цьому зі збільшенням товщини шару води, що затоплюється, росте і довжина стебел рису. Для полеглого рису характерна відсутність певного напрямку полеглості, що значно ускладнює роботу рисозбиральних комбайнів.

При виборі типажу комбайнів слід обов'язково враховувати як агрокліматичні, агрономічні і виробничі чинники, пропускну спроможність

(клас) комбайна, а й регіональну технологію збирання рису у регіоні із застосуванням комбайнів різною продуктивністю.

Розрізняють такі способи збирання рису:

- Пряме комбайнування;
- роздільне комбайнування або двофазне збирання ;

Пряме комбайнування застосовують, коли 90-95% зерна рису досягає повної стиглості. Однак пряме комбайнування можливе лише за умови, якщо всі зерна на даній ділянці перебувають у повній стиглості і ще не обсипаються.



Однак за біологічними властивостями рису дозрівання всіх зерен відбувається нерівномірно в межах навіть одного поля і навіть в одному волоті. Крім того, період перебування всіх зерен у стані повної стиглості дуже обмежений. За даними довідників, за сухої погоди врожайність рису після настання повної стиглості зберігається з мінімальними втратами для середньостиглих сортів 7-9 днів, а для пізньостиглих - 10-12 днів. Дослідженнями встановлено, що для кожного регіону, залежно від природно-кліматичних умов, тривалість періоду повної стиглості зерен змінюється в діапазоні 2-4 днів.

У порівнянні із зерновими колосовими, рис має гнучкі та міцні стебла.

Зусилля їхнього розриву знаходиться в межах 72-247 Н, що приблизно в 2 рази більше, ніж у стебел пшениці. При організації збирання прямим комбайнуванням волога зерностебельна маса намотується на робочі органи, перетворюючись на джгути, що призводить до зупинки технологічного процесу обмолоту. Висока вологість ґрунту в чеках також ускладнює прохідність рисозбиральних агрегатів.

Використання прямого способу збирання рису значно ускладнюється високою вологістю зернової маси. Навіть при досягненні повної фізіологічної стиглості (100%), зерно зберігає вологість у межах 25–30%, а стебла – до 60–80%. Крім того, у цей період спостерігається інтенсивне полягання рослин. Щоб зменшити вологість зерна та стебел до прийняттого рівня безпосередньо на корені, необхідний тривалий період природного підсушування.

Південний регіон України належить до агрокліматичної зони, що характеризується сприятливими умовами для природного просушування валків. Саме тому в цьому регіоні пріоритетним способом механізованого збирання рису залишається роздільне комбайнування.

Наразі роздільне збирання є основним методом, який застосовується у господарствах. До його проведення приступають, коли 80–85% зерна досягає повної стиглості. У процесі такого збирання рослини спочатку зрізають, формуючи валок, який після підсушування подається у зернозбиральний комбайн за допомогою підбирача для обмолоту.

Однак застосування двофазної технології, яка передбачає обмолот із валка, супроводжується низкою негативних наслідків: збільшується кількість зерен із тріщинами, зростає рівень дроблення та обвалення, суттєво погіршуються якісні характеристики крупи, а також знижуються посівні якості рисового зерна. Отже, застосування роздільного способу має бути обмежене обґрунтованими технологічними потребами.

Результати досліджень підтверджують, що ані прямий, ані роздільний способи збирання повністю не вирішують проблему втрат зерна під час збирання рису. Сумарні втрати, з урахуванням пошкодженого зерна, можуть сягати 20–25%.

Таким чином, в умовах сучасного виробництва в регіоні сформувався нагальний запит на впровадження нової технології збирання рису, яка забезпечить підвищення продуктивності комбайнів та зменшення втрат зерна. У традиційних рисозбиральних комбайнах значна частина енергії та часу витрачається на обробку стеблової маси, яка фактично не має цінності. Під час збирання солома штучно змішується із зерном, після чого машина витрачає багато ресурсів на їхнє подальше розділення. Ефективне створення високопродуктивної техніки для якісного збирання врожаю неможливе без підвищення робочих швидкостей, однак цьому заважає саме надлишкова кількість соломи, яку змушена обробляти молотильна та очищувальна системи комбайна.

Таким чином, технологія збирання лише колосової частини дозволяє усунути основні недоліки традиційного підходу. Суть методу полягає у тому, що до молотильного апарата надходить лише колосся із зерном, тоді як стебла залишаються на полі, не обрізаними.

Проведені випробування довели ефективність нової конструкції та можливість якісного формування стерні за допомогою широкозахватної жатки прямого збирання, оснащеної очісувальним адаптером.

Очісні жатки мають низку переваг. Вони не пропускають у молотильний механізм вологу, полеглу та переплетену рисову солому, яка містить багато кремнію й значно навантажує техніку. Це суттєво знижує енергоспоживання та полегшує роботу комбайна. Оскільки вологість соломи зазвичай значно перевищує вологість зерна, використання очісувальної жатки дозволяє почати збирання раніше, зменшуючи ризик втрат через осипання зерна. До того ж це усуває проблему забивання шнека, похилої камери та молотильного барабана довгими та жорсткими стеблами.

Такі жатки можна ефективно застосовувати навіть із комбайнами, які вже відпрацювали свій ресурс, адже навантаження на двигун та інші вузли зменшуються щонайменше удвічі порівняно з роботою традиційної жатки. Очісувальний модуль складається з гвинтового бітера та нахиленої гребінки,

завдяки чому на полі залишається висока стерня, яка добре утримує сніг узимку та зменшує вітрову ерозію ґрунту. Втрати врожаю при такому способі збирання не перевищують 1%.

Проте варто зазначити, що очісувальна жатка – лише альтернатива, яка не вирішує глобальних проблем сучасного зернозбирання. Для цього необхідна поява більш досконалих очісувальних агрегатів нового покоління.

У 2012 році були проведені приймальні та сертифікаційні випробування жниварки навісної ЖО-6 в агрегаті з комбайном КЗС-9 (рис.1.4).

Стерньові куліси формувалися чергуються проходами жниварки прямого комбайнування і жниварки.

При випробуваннях жниварки ЖО-6 встановлено, що на швидкості до 9 км/год основні агротехнічні, експлуатаційно-технологічні показники та показники надійності відповідають вимогам технічних умов.



Рис. 1.4 - Зернозбиральний комбайн CLAAS MEGA 350 із жниваркою УАС

За результатами випробувань очисна жниварка ЖО-6 рекомендована до застосування.

У 2015 році розроблено макетний зразок хедера з очисним адаптером для формування стерневих лаштунків, встановленим по центру хедера (рис.1.5).



Рис. 1.5 - Зернозбиральний комбайн «Есіль-740» в агрегаті з хедером шириною захвату 7 м з адаптером, що очісує.

Лабораторно-польові дослідницькі випробування хедера з очисним адаптером проводилися в агрегаті із зернозбиральним комбайном «Есіль-740» на пшениці врожайністю 10,8 ц/га, вологістю зерна та соломи відповідно 9,8% та 9,0%. Висота рослин становила 0,47 м.

На сучасному етапі жнивarki серійно випускаються під трьома брендами: найдосконаліша «Shelboume Reynolds», її аналог – «Озон», двороторна Харківська «Слов'янка» (рис. 1.7) та аргентинська «Maizco» (репліка Shelboume).

Сама рисоочисна жнивarka RSD, XCV та CVS від фірми "Shelboume Reynolds" показана на рис. 1.6. Слід зазначити, що рис в Україні вирощується в граничних за температурними характеристиками умовах, має пізніше дозрівання, що часто змушує прибирати рис роздільним способом при високій вологості області, що традиційно склалися, що полегшить організацію збиральних робіт і знизить втрати врожаю.



Рис. 1.5 - Зернозбиральний John Deere 5760 із жниваркою Shelbourne Reynolds CVS

Комбайни підвищеної продуктивності та великі сільськогосподарські підприємства сприяли розробкам нового покоління широкозахватних очісуючих жаток.

Модельний ряд очісуючих жаток XCV представлений трьома агрегатами з робочою шириною 9,7; 11,0 та 12,8 метрів. Кожна з моделей має ремінний привод з можливістю регулювання швидкості його роботи з кабіни комбайна. Однією з основних конструктивних відмінностей жаток XCV є наявність 3 очісуючих роторів з 2 спеціальними розділювальними пластинами між ними.

Регульований ремінний привод дозволяє оператору з кабіни налаштувати швидкість обертання ротора на блоці управління залежно від зміни польових умов. Як правило, при ранковому обмолоті, коли вологість зерна висока - швидкість обертання ротора досить висока, по мірі висихання колосків вдень, швидкість ротора знижують, а ввечері та вночі – знову збільшують. Діапазон швидкості обертання ротора жаток XCV від 430 до 840 об/хв, крок регулювання - 1 об/хв.

У жатках CVS встановлений великий ротор діаметром 61 см з 8 рядами

пальців з нержавіючої сталі. В основі кожного пальця є проріз спеціальної форми, що необхідний для ефективного очісування.

У процесі роботи ротор обертається знизу вгору, піднімаючи полегли рослини та сприяючи вловлюванню колосків у прорізі біля пальців. Зерно швидко та ефективно відокремлюється від колосків та потрапляє у відповідний лоток, звідки вже подається до похилої камери.



a)



б)



г)

Рис. 1.6. Рисові очісуючі жнивварки Shelbourne Reynolds моделей а) RSD; б) CVS; г) XCV



Рис. 1.7. Очісуюча жнивварка «Слов'янка УАС»

За останні роки в області інтенсивно ведуться роботи з оновлення машинно-тракторного парку. В даний час рисівницькі господарства області вважають за краще купувати сучасну високопродуктивну сільськогосподарську

техніку іноземного виробництва. При виборі тієї чи іншої техніки після вибору її типу за продуктивністю дуже важливо правильно вибрати конструкцію, яка адаптивна до місцевих особливостей області. Наявні в господарствах і пропонувані на ринку рисозбиральні комбайни, що імпортують за високою ціною з-за кордону, в більшості випадків не відповідають регіональним умовам збирання рису.

В даний час випробування, призначені для оцінки технічного рівня зарубіжних рисозбиральних комбайнів, протягом останніх десятиліть не проводилися. Крім того, практично відсутні рекомендації щодо ефективного застосування комбайнів різних конструкцій. Відповідно до цього положення не можна довільно переносити модельний ряд, характерний для інших країн, на українські умови. Проте часто це принципове становище ігнорується. Отже, нам потрібний свій, національний, технологічно обґрунтований модельний ряд комбайнів.

### **1.3. Аналіз досліджень з оптимізації використання комбайнів**

У наукових працях запропоновано термін «типаж комбайнів», який означає впорядкований за певною ознакою (зокрема, пропускною спроможністю – у випадку зернозбиральних машин) типорозмірний ряд базових моделей та їхніх модифікацій. Виходячи з того, що продуктивність кожної окремої машини, як і загальна ефективність функціонування всього комбайнового парку, детермінуються комплексною взаємодією великої кількості факторів – агрокліматичних, агрономічних, технічних тощо – формування типу комбайнів розглядається дослідником як завдання багатопараметричної оптимізації складної динамічної системи.

Проведені дослідження виявили залежність пропускної спроможності зернозбирального комбайна від урожайності, рівня вологості зерна й соломи, а також від низки експлуатаційних чинників. У зв'язку з відсутністю усталених методик кількісного визначення пропускної здатності комбайнів, автор вводить поняття «необхідна пропускна спроможність», що дозволяє встановити цільовий

рівень продуктивності машини з урахуванням заданих умов її експлуатації.

$$q_n = \frac{m_0 S Q_0 (1 + \delta_0)}{1000 T_a t_0 n_k}, \quad (1.1)$$

де  $S$  - загальна площа, що прибирається групою з одночасно працюючих комбайнів;

$m_0$  - частка загальної площі, %;

$Q_0$  - розрахункова врожайність зерна;

$T_a$  - оптимальний агротехнічний термін збирання цієї культури;

$t_0$  - можлива середня тривалість чистої роботи комбайна у день збирання цієї культури.

Також дослідниками запропоновано формулу для визначення пропускної спроможності комбайна:

$$q_m = \eta B \log(\theta \log L), \quad (1.2)$$

де  $\eta$ ,  $\theta$  - постійні коефіцієнти для кожного типу комбайна

$B$  - ширина молотарки, м;

$L$  - довжина молотильно - соломовідділяючого пристрою, м.

Попри те, що вказана формула враховує вплив на пропускну спроможність зернозбирального комбайна лише двох основних параметрів – ширини захвату жатки ( $B$ ) та довжини гону ( $L$ ), – для широкого спектра моделей комбайнів її застосування супроводжується значним рівнем похибки. Втім, упродовж 1950–1970-х років ця залежність набула найбільшого поширення в межах теоретичних і прогностичних розрахунків, слугуючи базовим орієнтиром для оцінювання продуктивності техніки.

У результаті проведених аналітичних досліджень було запропоновано уточнений вираз, що відображає взаємозв'язок основних впливових факторів та забезпечує більш достовірну оцінку пропускної здатності.

$$q_k = 100 \eta B \sqrt{\frac{gAJ}{\pi D} \cdot e^{c \left(1 - \frac{1}{g_k}\right)}} \cdot \sigma_k \sigma_f (f_1 - f_2) \gamma \cdot b \cdot b_0, \quad (1.3)$$

де  $\eta$  - коефіцієнт використання довжини барабана

$B$  - ширина молотарки, м;

$J$  - Постійні коефіцієнти;

$D$  - Діаметр барабана, м;

$\sigma_k$  - критичний ступінь стиснення рослинної маси в молотильному зазорі;

$f_1$  і  $f_2$  - коефіцієнти тертя соломистої маси відповідно про поверхню барабана і підбарабання, м;

$A, c$  - постійні коефіцієнти;

$\gamma$  - щільність хлібної маси, що обмолочується;

$b_0$  – робоча ширина бича;

$b$  - Товщина планки підбарабання.

С.А. Алферов запропонував для опису процесів обмолоту та сепарації наступну систему рівнянь:

$$\begin{cases} x = x_0 \cdot e^{-\mu_0 l} \\ y = e^{-\mu_0 l} + \frac{x_0}{\mu_0 - \mu_c} \left[ \mu_c e^{-\mu_c l} - \mu_0 e^{-\mu_0 l} \right], \\ z = 1 - e^{-\mu_0 l} + \frac{\mu_0 x_0}{\mu_0 - \mu_c} \left( e^{-\mu_0 l} - e^{-\mu_c l} \right) \end{cases} \quad (1.4)$$

де  $x$  – необмолочене зерно;

$x_0 \cdot e^{-A}$  - безрозмірний показник, залежить від матеріалу, що обмолочується);

$\mu_c$  - постійні коефіцієнт інтенсивності сепарації зерна через підбарабання;

$\mu_0$  – коефіцієнт інтенсивності обмолоту;

$l$  - довжина розгортки підбарабання, м;

$y$  - кількість обмолоченого зерна у молотильному зазорі;

$z$  - кількість зерна, що пройшло через підбарабання.

На основі узагальненого параметричного індексу було побудовано статистичну модель, що дозволяє здійснювати кількісну оцінку пропускну здатності зернозбирального комбайна. Встановлено, що найвищий рівень кореляційного зв'язку зі значенням пропускну спроможності демонструють

чотири ключові технічні характеристики: номінальна потужність силової установки, площа зони активного сепарування (зокрема підбарабання), площа соломосепарувального пристрою та площа решітної поверхні для очищення зернового матеріалу. Сукупний вплив цих параметрів формалізується через введене поняття параметричного індексу комбайна.

Для розрахунку пропускної теоретичної здатності за технічними даними для кожного комбайна вибираємо головні параметри  $N_e, F_n, F_c, F_p, V_b, G_k$ . За цими фактичними даними розраховуємо параметричний індекс  $i$  залежно від типу молотарки комбайна. Параметричний індекс комбайнів із класичною молотаркою

$$i_k = \frac{1}{4} \left( K_{N_e} \frac{N_e}{32} + K_{F_n} \frac{F_n}{0,26} + K_{F_c} \frac{F_c}{1,5} + K_{F_p} \frac{F_p}{0,8} \right), \quad (1.5)$$

Параметричний індекс комбайнів з аксіально-роторною молотаркою

$$i_k = K_{N_e} \frac{N_e}{126} + 0,5 \left( K_{F_{nc}} F_{nc} + K_{F_p} F_p \right), \quad (1.6)$$

де  $N_e$  - ефективна потужність двигуна, л.с.;

$F_n, F_c, F_p$  - площа підбарабання, загальна площа інтенсивної сепарації і площа решіт очищення, м<sup>2</sup>

$K_{N_e}$  - Коефіцієнт використання паспортної потужності двигуна (для нового двигуна  $K_{N_e} = 1$ , що був у експлуатації  $K_{N_e} = 0,7 - 0,98$ ).

$K_{F_n}, K_{F_c}, K_{F_p}$  - коефіцієнти ефективності використання поверхні підбарабання, соломосепаратора, решіт очищення.

За параметричним індексом  $i_k$  визначаємо розрахункову пропускну здатність [30] комбайна

$$q_T = 1,83i_k - 0,83, \quad (1.7)$$

Тому для комбайнів з класичною та аксіально-роторною молотаркою

$$q_T = 0,458 \left[ \frac{N_e}{32} + \frac{F_n}{0,26} + \frac{F_c}{1,5} + \frac{F_p}{0,8} \right] - 0,83. \quad (1.8)$$

$$q_T = 1,83 \left( \frac{N_e}{126} + 0,5 (F_{nc} + F_p) \right) - 0,83, \quad (1.9)$$

У працях провідних науковців, шляхом побудови детермінованих моделей, були обґрунтовані оптимальні техніко-експлуатаційні параметри зернозбиральних комбайнів та відповідні режими їх функціонування. У структурі моделей основну роль відіграє цільова функція, яка представлена у вигляді залежностей від оптимізованих параметрів комбайнової техніки.

Проблемам оптимізації структури комбайнового парку відповідно до агротехнологічних умов збирання та комплексу виробничих чинників присвятили свої наукові розвідки численні дослідники. У рамках цих досліджень було розроблено низку математичних моделей та програмних засобів для розрахунку необхідної кількості комбайнів з урахуванням урожайності, схильності культури до самоосипання, термінів проведення жнив, а в окремих випадках – навіть із врахуванням динаміки втрат зерна в часі.

Зокрема, значний внесок у розроблення методології оптимізації машинного парку зробив Липкович Є.І., який у своїх працях визначає оптимальну кількість комбайнів у господарстві. Інші науковці акцентують увагу на методах оптимального програмування, що дозволяють розробити алгоритми розподілу техніки, здатні забезпечити своєчасне завершення збиральних робіт у найкоротші строки.

Виходячи з особливостей Одеського регіону, де своєчасність проведення жнив має вирішальне значення щодо зменшення втрат врожаю, особливо рису, скорочення тривалості збирального періоду можливе або через збільшення кількості працюючих машин (у тому числі з урахуванням їх різноманітності за марками), або шляхом підвищення індивідуальної продуктивності кожної одиниці техніки.

У цьому контексті дослідження, спрямовані на формування оптимального типуажу рисозбиральних комбайнів та вдосконалення технологічного процесу обмолоту, мають особливу актуальність та значну прикладну цінність. Проте

практичне впровадження таких рішень ускладнюється наявністю низки невирішених агробіологічних та інженерно-технічних проблем.

Отже, подальші пошуки оптимальної структури та складу парку рисозбиральних комбайнів для південного регіону України становлять як науковий, так і значущий практичний інтерес. Аналіз наявних джерел літератури свідчить, що мінімізація втрат під час збирання рису можлива лише за умови наявності у господарствах відповідної кількості техніки з високими експлуатаційними показниками.

### **Висновки**

Аналіз стану комбайнового парку в Одеській області та існуючих методів оптимізації використання комбайнів дозволяє зробити такі висновки:

1. У контексті прогнозованого зростання врожайності рису в регіоні актуалізується необхідність модернізації технічного парку шляхом впровадження нових, більш ефективних та високопродуктивних моделей рисозбиральних комбайнів.

2. Попри позитивну динаміку збільшення врожайності культури, одночасно спостерігається зменшення кількості задіяних у збиральному процесі комбайнів. У господарствах і надалі використовуються морально застарілі зразки техніки поряд із сучасними моделями, що пояснюється обмеженими фінансовими можливостями більшості сільськогосподарських підприємств щодо оновлення машинно-тракторного парку.

3. Доведено, що структура парку рисозбиральних комбайнів значною мірою зумовлена специфікою природно-виробничих умов регіону. Рівень ефективності експлуатації техніки безпосередньо залежить від функціональної відповідності машин до локальних агротехнічних умов.

4. Надмірна різноманітність моделей імпортової техніки в комбайновому парку, особливо в частині рисозбиральних машин, створює суттєві труднощі при їх технічному обслуговуванні, включаючи постачання запасних частин і проведення якісного сервісного супроводу.

5. Результати проведених досліджень свідчать про те, що як пряме, так і

роздільне збирання рису не забезпечує мінімального рівня втрат. Загальні втрати, включно з пошкодженням зерном, можуть сягати 20–25%. У зв'язку з цим виникає необхідність впровадження новітніх технологій, зокрема технології обчісування рослин на корені, яка дозволить покращити продуктивність збирання та зменшити втрати.

б. З аналізу науково-технічної літератури випливає, що мінімізація втрат урожаю в процесі збирання можлива лише за умов наявності в сільськогосподарських підприємствах достатньої кількості техніки з оптимальною техніко-експлуатаційною характеристикою, адаптованої до умов вирощування рису.

## 2. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИБОРУ КОМБАЙНІВ

### 2.1. Алгоритм обґрунтування вибору типу комбайнів

Зернозбиральні комбайни класифікуються за величиною пропускної спроможності хлібної маси (кг/с) наступним чином:

- 1-кл. з пропускною спроможністю 0,5...1,5 кг/с - селекційні комбайни;
- 2-кл. із пропускною спроможністю 2,5...3 кг/с, для малих господарств із площею 70...100 га;
- 3-кл. з пропускною здатністю 5,5...6 кг/с, для збирання полів із врожайністю менше 25 ц/га;
- 4-кл. з пропускною спроможністю 7...8 кг/с, для збирання полів з урожайністю 25...40 ц/га;
- 5-кл. із пропускною спроможністю 9...10 кг/с, за врожайності 40...55 ц/га;
- 6-кл. з пропускною спроможністю 11...12 кг/с, за врожайності 55 ц/га;
- 7-кл. із пропускною спроможністю 12...14 кг/с, за врожайності 60...100 ц/га.

Під типорозмірним рядом рисозбиральних комбайнів розуміють послідовність моделей, згрупованих за певним критерієм, які найкраще пристосовані до умов вирощування зерна в різних регіонах. В Україні основним критерієм оцінки комбайнів є їхня пропускна здатність (кг/с), тобто маса обмолоченої хлібної сировини за одну секунду за умови дотримання вимог державних стандартів до якості зерна (втрати не більше 1,5 %, дроблення – до 5 %). Втрати за жниварками не враховуються через незначний вплив на загальну продуктивність комбайнового парку.

Типорозмірний ряд рисозбиральних комбайнів становить основу їх типажу як систематизованого набору базових моделей та їхніх модифікацій. Впровадження оптимального типажу в аграрне виробництво є ключовим елементом технічної стратегії агропромислового комплексу, оскільки саме він забезпечує можливість реалізації повного потенціалу збиральної техніки. Це

дозволяє дотримуватись оптимальних агротехнічних строків проведення збиральних робіт, максимально використовувати паспортні експлуатаційні характеристики рисозбиральних комбайнів і досягати високих показників продуктивності та якості збирання врожаю рису.

Загальна методика реалізації дослідження з метою обґрунтування оптимального типу рисузбиральних комбайнів подана на рисунку 2.1.

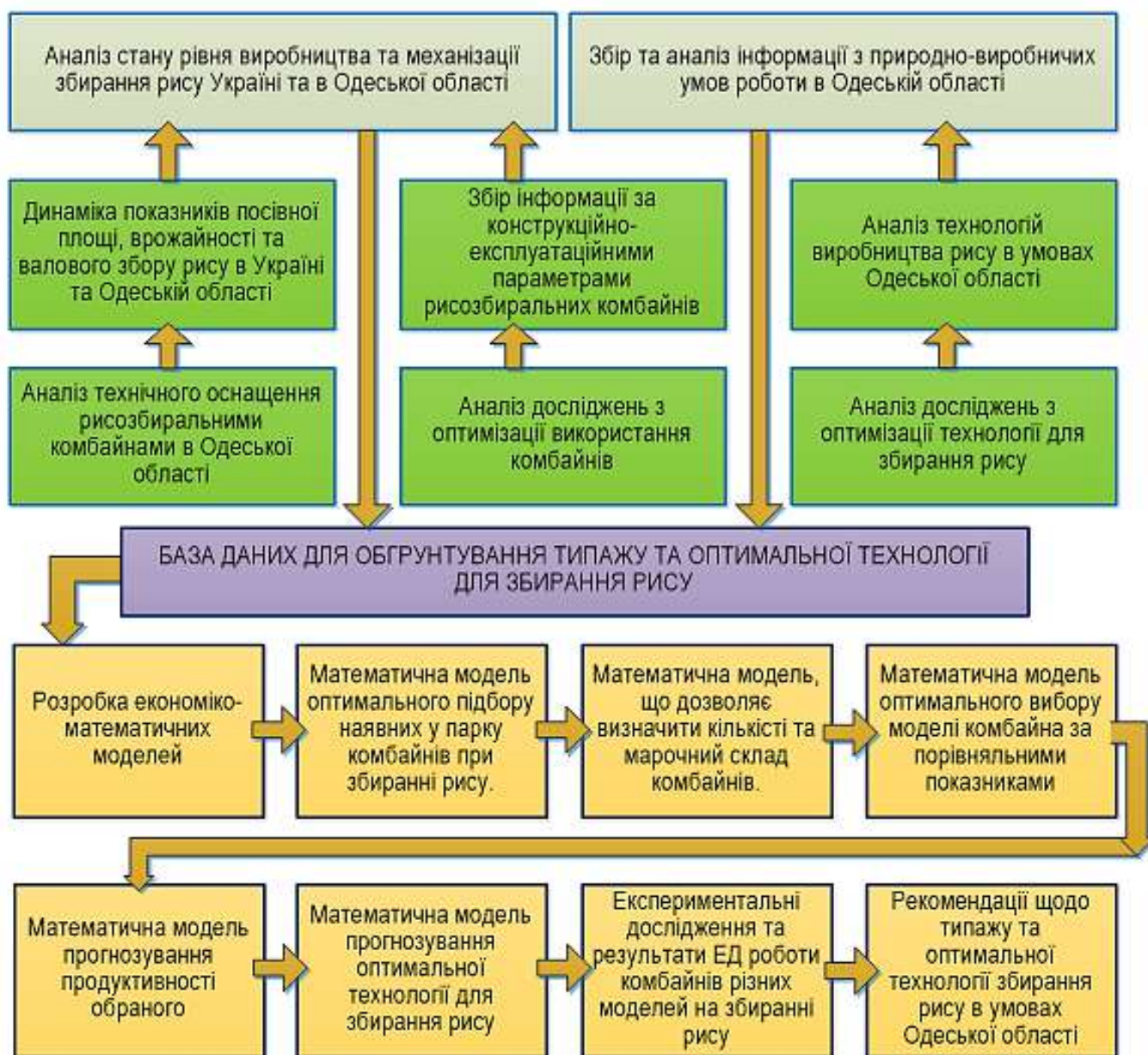


Рис. 2.1 - Послідовність реалізації алгоритму з обґрунтування типу рисузбиральних комбайнів

Вибір критерію для оцінки ефективності функціонування комбайнового

парку здійснювався на основі ретельного аналізу науково-технічних джерел, у яких розглядаються підходи до визначення продуктивності та раціонального використання сільськогосподарської техніки. Враховуючи обраний критерій, була сформована економіко-математична модель, яка слугує підґрунтям для обґрунтування оптимального складу парку комбайнів.

Процес визначення раціонального типу та кількісного складу комбайнового парку здійснювався за наступною алгоритмічною послідовністю:

1. Встановлення фактичних показників продуктивності комбайнів залежно від урожайності зерна та біомаси соломи;

2. Розрахунок необхідної кількості комбайнів кожного класу на основі фактичної продуктивності, загального обсягу робіт, нормативного напрацювання та встановлених агротехнічних строків (при цьому в моделі враховано, що для рисосіючих регіонів визначальним є термін проведення збиральних робіт, який не має перевищувати 25 днів, оскільки затягування строків призводить до втрат урожаю);

3. Класифікація комбайнів відповідно до рівня їх пропускну здатності для всього регіону збирання;

4. Оцінювання та прогнозування основних технічних параметрів комбайнів, що належать до кожного з класів;

5. Обґрунтування та вибір оптимальної технології збирання рису з урахуванням умов господарств;

6. Аналіз результативності впровадження нового типу комбайнового парку з позицій продуктивності та економічної доцільності.

Задавшись значеннями експлуатаційно-технологічних показників, визначалися його техніко-економічні показники:

- врожайність рису (використовувалися статистичні дані, врожайність змінювалася від найменшої до найбільшої з кроком 0,5 ц/га);

- вартість однієї тонни рису;

- цінові витрати (заводська вартість комбайна);

- витрати на ремонт та технічне обслуговування;

- витрати на паливо та мастильні матеріали;
- податкові видатки охорону довкілля;
- Витрати на оплату праці;
- вартості експлуатаційні витрати;
- Собівартості збирання рису.

Під час формування моделі типу рисозбиральних комбайнів необхідно обов'язково враховувати не лише їхню пропускну здатність (класифікаційний показник), а й застосовувану технологію збирання зернових культур, оскільки остання суттєво впливає на фактичну продуктивність машини.

При цьому продуктивність комбайна перебуває в прямій залежності від коефіцієнта солемистості  $\varphi$ , що наочно відображено на рис. 2.2.

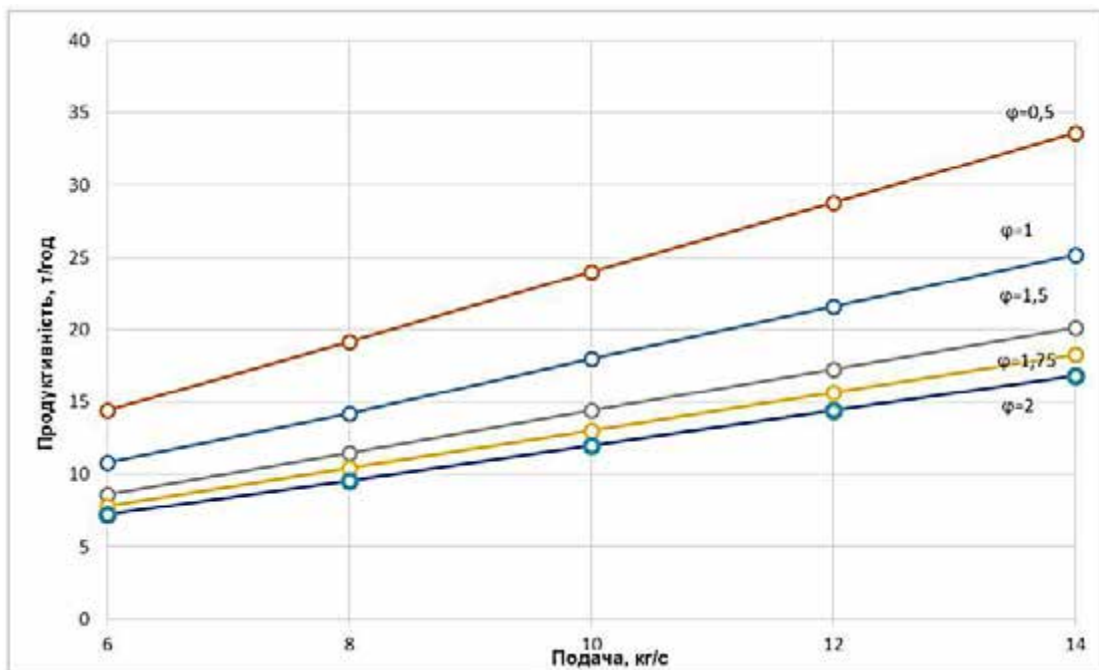


Рис. 2.2 - Діаграма зв'язку подачі комбайна та його продуктивності по намолоту

Як видно з рисунка, у випадках, коли комбайн здійснює обмолот хлібної маси з переважним вмістом соломи порівняно із зерном, навантаження на молотильно-сепаруючі системи зростає, що призводить до зниження загальної продуктивності. Навпаки, обмолот сировини з меншою кількістю солемистої частини відбувається з меншою витратою енергії, що забезпечує вищу

ефективність процесу.

Застосування технології очісу рослин безпосередньо на корені забезпечує істотне зростання продуктивності комбайна, а також дозволяє знизити втрати зерна при збиранні рису.

Беручи до уваги, що маса соломи в 1,5–3 рази перевищує масу зерна, стає очевидним обсяг зайвої соломистої маси, яка проходить через молотильно-сепаруючий блок комбайна. Це призводить до змішування зерна з соломою, вимагаючи подальшого енергозатратного розділення. Значна частина потужності комбайна витрачається саме на деформування соломистої маси, а габарити основних вузлів машини (соломотрясу, решітного стану) визначаються необхідністю ефективного розділення зерна та незернової частини.

Крім того, використання осаджувальних сіток дозволяє уникнути забивання шнека, похилої камери та молотильного барабана, що часто виникає через наявність довгої та міцної соломистої маси у врожаї рису.

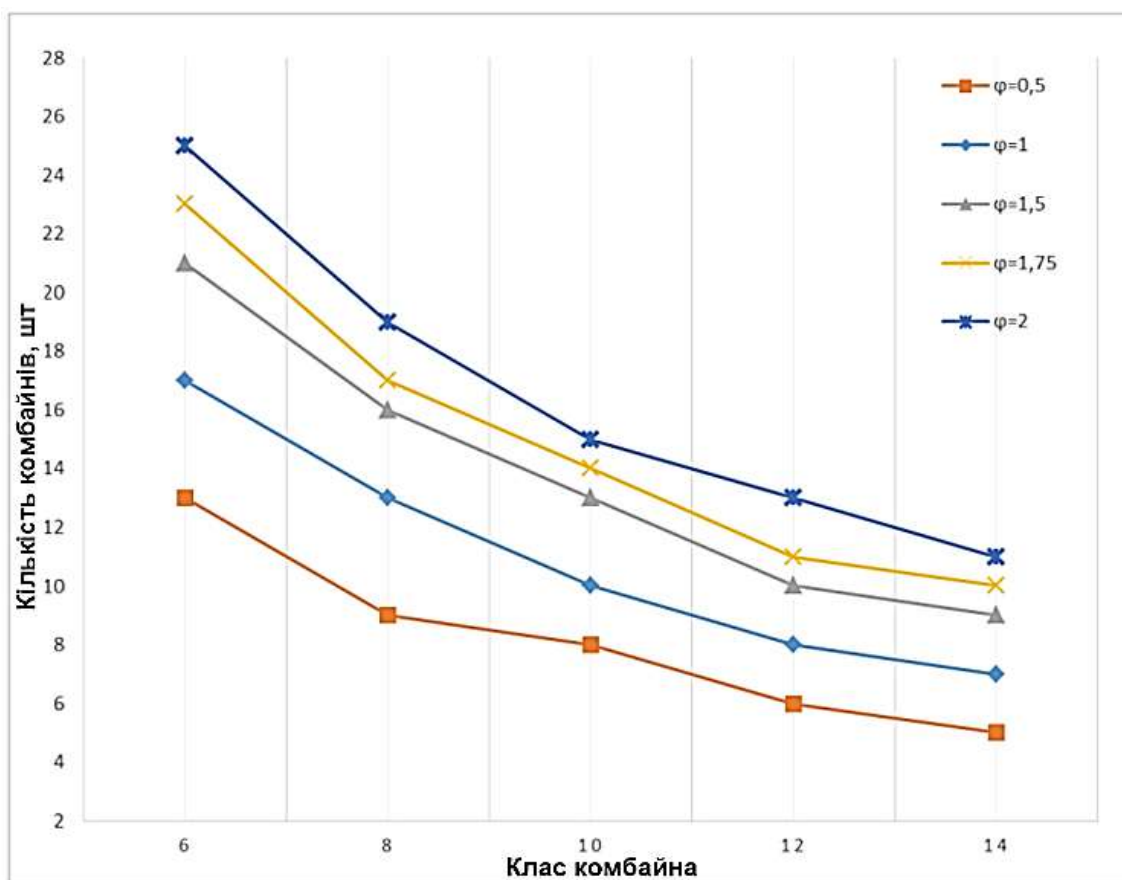


Рис. 2.3 - Визначення необхідної кількості комбайнів



По своєму змісту змінні  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$  можуть набувати лише цілі не від'ємні значення, тобто:

$$x_{1,2,3,4,5} \succ 0$$

$x_j$  - цілі числа.

Перша група обмежень забезпечує виконання заданих обсягів робіт за період збирання рису. за площею збирання

$$\sum_{j=1}^n C_j x_j \geq S, \quad (2.3)$$

по намолоту зерна

$$\sum_{j=1}^n Q_j x_j \geq Q, \quad (2.4)$$

де  $S$  – загальна збиральна площа рису, га;

$Q$  – сезонний намолот зерна, т;

Коефіцієнти при змінних у моделі відображають продуктивність рисозбиральних комбайнів за площею обробки та обсягом намолоту зерна протягом заданого періоду.

До другої групи обмежень належать експлуатаційні витрати, які характеризують ефективність функціонування рисозбирального комбайна в умовах його практичного використання.

$$\sum_{j=1}^n R_j x_j \leq R, \quad (2.5)$$

Коефіцієнти змінних у разі показують годинні експлуатаційні витрати рисозбиральних комбайнів, тис. грн.

Третя група обмежень – вартість основних фондів, млн. грн.

$$\sum_{j=1}^n F_j x_j \leq F, \quad (2.6)$$

де  $F$  - вартість валової продукції, грн., яка є валовий збір помножений на

порівняльну ціну за 1 т рису (грн.).

Четверта група обмежень показує необхідність обов'язкового виконання збирання рису за агротехнічний термін.

$$\sum_{j=1}^n \omega_j x_j \leq \frac{S}{T}, \quad (2.7)$$

де  $T$  - агротехнічний термін збирання рису, дні;  $\omega$  - продуктивність у перекладі на 10 годин роботи при підборі та обмолоті валків, га/день.

### Загальне формулювання задачі оптимального використання МТА.

У заданий календарний період ( $D$  днів) необхідно виконати певне число ( $m$ ) технологічних операцій обсягом  $S_i$  ( $i=1, \dots, m$ ) (табл. 2.1). Для цього використовують  $n$  видів агрегатів  $j$ -го типу. Годинна продуктивність  $j$ -го МТА ( $j=1, \dots, n$ ) становить  $W_{ij}$ , прямі експлуатаційні витрати на виконання  $i$ -ї операції  $j$ -м агрегатом складають  $C_{ij}$ . Кількість агрегатів кожного типу дорівнює  $n_{aj}$ . Коефіцієнт змінності при виконанні операцій становить  $K_{zm i}$ .

Таблиця 2.1.

Вихідні дані задачі

Технологічна операція	Обсяг робіт, $S$ , га	МТА				
		Продуктивність, $W_{ij}$ , га/год				
		Прямі експлуатаційні затрати, $C_{ij}$ , грн/га				
		1	2	3	...	n
Оранка	$F_1$	$W_{11}/C_{11}$	$W_{12}/C_{12}$	$W_{13}/C_{13}$	... / ...	$W_{1n}/C_{1n}$
Культивуація	$F_2$	$W_{21}/C_{21}$	$W_{22}/C_{22}$	$W_{23}/C_{23}$	... / ...	$W_{2n}/C_{2n}$
Сівба зернових	$F_3$	$W_{31}/C_{31}$	$W_{32}/C_{32}$	$W_{33}/C_{33}$	... / ...	$W_{3n}/C_{3n}$
.....	...	...	...	...	... / ...	...
$i$ -та технологічна операція	$F_m$	$W_{m1}/C_{m1}$	$W_{m2}/C_{m2}$	$W_{m3}/C_{m3}$	... / ...	$W_{mn}/C_{mn}$

Математична модель задачі оптимального використання МТА з метою мінімізації прямих експлуатаційних затрат на виконання всього обсягу робіт.

Побудову математичної моделі проводимо виходячи з того, що змінною величиною буде площа  $X_{ij}$  (табл.2.2), яку повинен обробити  $j$ -й МТА на  $i$ -й операції.



2. Розроблено математичну модель, що дає змогу здійснити оптимальний вибір моделі комбайна на основі порівняльних характеристик.

3. Сформовано економіко-математичну модель, яка дозволяє визначити необхідну кількість комбайнів кожної марки з урахуванням площі збирання та середньосезонної продуктивності техніки.

### **3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ РИСУ**

Основне завдання експериментальних досліджень полягає у встановленні вихідних параметрів, необхідних для побудови моделей і подальшої оптимізації складу парку рисозбиральних комбайнів з урахуванням регіональних умов, а також у перевірці достовірності результатів, отриманих шляхом теоретичних розрахунків.

#### **3.1. Програма експериментальних досліджень**

Програмою експериментів у своїй передбачалося виконання наступного обсягу робіт:

1. Узагальнення статистичних даних;
2. Визначення основних факторів, що характеризують природно-виробничі умови вирощування рису;
3. Вивчення основних біологічних та технологічних характеристик зернової та незернової частин урожаю рису;
4. Проведення хронометражних спостережень за роботою рисозбиральних комбайнів при скошуванні та обмолоті валків рису;
  - 4.1. Проведення агротехнічної оцінки комбайнів;
  - 4.2. Проведення експлуатаційно-технологічної оцінки;
5. Визначення вихідних техніко-економічних показників роботи комбайнів для збирання рису;
6. Польові дослідження щодо визначення параметрів робочих органів очисного апарату:
  - а) перевірка ефективності пластикових напрямних за винятком забивання робочої щілини;
  - б) дослідження потоку стебел, що входить у робочу щілину;
  - в) підйом полеглих стебел пальцями апарата залежно від напрямку їхньої полеглисті.

### 3.2. Вибір об'єктів досліджень

Для забезпечення точності досліджень основним місцем для проведення експериментів було обрано Одеську область, яка є основним типовим регіоном вирощування та збирання рису в Україні.

У зв'язку з цим експериментальні дослідження проводилися в ТОВ СГП "ДУНАЙ - АГРО" Кілійського р-ну, м. Кілія, Одеської області.

Головними об'єктами при дослідіах були: рисові чеки та карти, окремі рослини рису та їх волоті, валкові жнивварки ЖРК-5; ЖВК - 5, прес - підбирачі ППЛ-Ф-1,6, ПРП - 1,6, рисозбиральні комбайни CASE 2388 (США), John Deere STS 9770 (США), CLAAS TUCANO 580 (Німеччина), КЗС-9-2 «Скіф-250р» (Україна) і CLAAS LEXION 750 (Німеччина).



Рис. 3.1- Рисозбиральний комбайн CASE 2388 (США)

Спираючись на наявні вихідні дані та характеристики досліджуваних об'єктів, увесь комплекс запланованих експериментальних і польових досліджень було реалізовано у визначені строки.



Рис. 3.2 - Рисозбиральний комбайн СКІФ 250



Рис. 3.3 - Рисозбиральний комбайн John Deere STS 9770 (США)



Рис. 3.4 - Рисозбиральний комбайн CLAAS TUCANO 580 (Німеччина)



Рис. 3.5 - Рисозбиральний комбайн CLAAS LEXION 750 (Німеччина)

### **3.3. Методика проведення експериментальних досліджень**

Експериментальні дослідження проводилися згідно з загальновизнаними методиками польових випробувань та методами оцінки ефективності сільськогосподарської техніки.

Перша серія дослідів стосувалася аналізу природно-виробничих умов, що супроводжують процес збирання рису в межах досліджуваного регіону.

Друга серія експериментів була спрямована на визначення біологічних і технологічних характеристик врожаю рису, які безпосередньо впливають на виробничі аспекти процесів збирання зерна та соломи.

До ключових визначуваних параметрів належали: площі збирання, урожайність за роками та сортами, об'єм соломи тощо.

Для опису біологічних особливостей рису на корені визначалися такі показники: густина стояння рослин на 1 м<sup>2</sup>, ступінь полеглисті, рівень стиглості, вологість на момент збирання, висота стебел, кількість зерен у волоті, маса 1000 зерен, діаметр і маса стебел.

Окремі параметри, що впливають безпосередньо на технологічний процес збирання, визначалися шляхом проведення натурних польових досліджень. До них належали площа рисових чеків і карт, довжина гону тощо.

Для отримання зразків рослин у межах кожного чека здійснювався відбір у 10 контрольних точках по діагоналі, з яких формувалася снопок. З обмолоченого зерна випадковим чином формували три групи по 100 зерен. Проводилися вимірювання вологості та маси 100 зерен зразків, відібраних у 10 чеках протягом 30 діб. Вологість зерна визначалася за допомогою електронного експрес-воломіра «WILE» з максимальною похибкою  $\pm 2$  %. Процес вимірювання зображено на рис. 3.6.



Рис. 3.6 - Електронний експрес-вологомір « WILE» для вимірювання вологості зерна

Вологість рисової соломи визначали за допомогою електронного експрес-вологоміра "WILE" з точністю  $\pm 2\%$  у 10 контрольних точках по діагоналі кожного рисового чека, при цьому дослідження проводили на 10 чеках з інтервалом у три години.

Масове відношення води у ґрунті визначалися в лабораторії (рис.3.7).



Рис. 3.7 - Визначення вологості ґрунту

Перед початком збирання для досліджень було сформовано 50 контрольних ділянок за допомогою спеціальної рамки розміром 1×1 м. На цих ділянках шляхом підрахунку кількості рослин визначали густоту стояння рису. Для оцінки полеглисті проводили вимірювання довжини рослин у випрямленому стані ( $h$ ) та висоти від поверхні ґрунту до вершини рослини ( $h_i$ ) у 100 екземплярів, відібраних по діагоналі рисового чека.

Довжину стебел визначали від основи стебла до нижньої частини волоті ( $l$ ), а висоту стебла – по вертикалі від основи волоті до ґрунту ( $h$ ). Вимірювання проводили на ділянках із типовим для поля хлібостоєм. Загалом досліджено 500 стебел – по 20 штук у кожному з 25 послідовно розташованих місць в одному рядку.

Для обраних рослин окремо вимірювали довжину волоті ( $h_m$ ) – від її основи до вершини.

Втрати зерна через самоосипання визначали шляхом підрахунку кількості осипаних зерен та зерен, що залишилися в колосках, у межах рамки 1×1 м. Спостереження проводили в 10 точках по діагоналі кожного з 10 рисових чеків протягом 10 днів після настання повної стиглості. Загальний вигляд рисового чека перед скошуванням подано на рис. 3.8.



Рис. 3.8 - Загальний вигляд рисового чека перед скошуванням

Технологічні характеристики рисового врожаю визначалися за такими основними параметрами: ширина та товщина валків, відстань між ними, довжина стебел у валку, тривалість висихання рису у валках, а також втрати зерна під час скошування. Значення цих показників встановлювалися шляхом багаторазових вимірювань у польових умовах.

Особливості умов збирання рису в Одеській області – зокрема невеликі розміри рисових чеків, висока вологість ґрунту тощо – унеможливають використання копної або потокової технології. Унаслідок цього соломисті залишки, що формуються у вигляді валків за комбайном, нерідко спалюються, що спричиняє значну шкоду довкіллю.

### **Методика обробки результатів експериментальних досліджень**

Оброблення результатів, отриманих під час порівняльних господарських випробувань, здійснювалося із використанням сучасних методів теорії ймовірностей та математичної статистики. Оскільки значення параметрів, зафіксовані у ході обмеженої кількості експериментів, завжди містять випадкову складову, отримані експериментальні дані розглядаються як випадкові величини. Такі наближені значення параметрів прийнято вважати статистичними оцінками.

### **Методика проведення випробувань при скошуванні та обмолоті валків рису**

При проведенні порівняльних випробувань за роботою комбайнів при скошуванні та обмолоті валків рису виконано наступні операції:

1. Технічна експертиза комбайна;

1.1. Призначення випробуваного комбайна, конструкційні та технічні характеристики

*конструкційні характеристики:*

-ширина захвату жниварки, м

-потужність двигуна, к. с.

-Діаметр молотильного барабана(ротора), м

-кут обхвату підбарабання, град.

-довжина молотильного барабана (ротора), м

- Площа підбарабання, м<sup>2</sup>
- Площа вирішує очищення, м<sup>2</sup>
- площа соломотрясу, м<sup>2</sup>
- Тип трансмісії
- Маса, т.

*Технічні характеристики:*

- ширина захвату, м
- ширина молотарки, м
- номінальна продуктивність комбайна, т/год;
- місткість бункера зерна, м<sup>3</sup>
- швидкість руху комбайна, км / год.

1.2. Технічні характеристики жнивarki, молотильного апарату та підбирача

1.3. Опис технологічного процесу, що виконується комбайном та організація робіт згідно з посібником з експлуатації

2. Агротехнічна оцінка

2.1 Умови випробувань:

- культура
- сорт
- врожайність зерна, ц/га
- відношення маси зерна до маси соломи над фактичною висотою зрізу - маса 1000 зерен,г -вологість зерна та соломи,%
- тип валка,
- висота валка, см -товщина валка, см,
- просвіт між ґрунтом і валком, см -ширина валка, см -маса одного метра валка, кг -довжина стебел у валку, см -розподіл зерна по ширині валка, %
- відстань між валками, м -втрати зерна за валковою жнивarkою, %
- засміченість валка ґрунтом, %
- тріщинуватість зернівок рису, %
- Вологість ґрунту в шарі 0-10 см, %
- твердість ґрунту в шарі 0-10 см, %

2.2. Режими та показники якості роботи підбирача та молотарки комбайна;

### 3 Експлуатаційно – технологічна оцінка

- режим роботи (робоча швидкість та шириною захвату);
- якість роботи (сумарні втрати за комбайном, за молотаркою, вміст бур'яну домішки в зерні з бункера, дроблення та обвалення зерна тощо);
- продуктивність за годину основного, змінного та експлуатаційного часу;
- питома витрата палива, кг/га;
- число обслуговуючого персоналу, люд.;
- експлуатаційно – технологічні коефіцієнти і т.д.

Баланс часу роботи комбайна за нормативну зміну включає такі елементи:

#### 1. Технологічний час:

- Час основної роботи;
- Час на повороти;
- Час технологічного обслуговування;
- час усунення технологічних відмов;
- час технологічних переїздів;

#### 2. Змінний час:

- час транспортних переїздів;
- Час підготовки комбайна до роботи;
- Регламентовані витрати часу зміни;
- час щозмінного технічного обслуговування.

#### Експлуатаційний час:

- Час періодичного технічного обслуговування;
- час усунення технічних відмов;
- час на переобладнання та комплектування.

При спостереженні фіксувалися такі показники:

- загальна площа, у тому числі прибрана в оптимальний агротехнічний термін, та середня площа, прибрана за 2-3 контрольні робочі зміни;
- продуктивність у тоннах зерна за годину змінного часу в середньому за ці 2-3 робочі зміни;
- витрата палива кг/т і кг/га за цей же час;
- загальний намолот та середньодобовий.
- дроблення зерна у відсотках;

- засміченість бункерного вороху (зміст бур'янів та іншої домішки);
- абсолютна вага 1000 цільних зерен у грамах;
- втрат зерна молотарками комбайнів різних вікових груп протягом усього періоду збирання рису.

До ключових показників експлуатаційно-технологічної ефективності належать: продуктивність за годину основного, змінного та експлуатаційного часу; питома витрата пального; чисельність обслуговуючого персоналу; а також коефіцієнти, що відображають витрати часу.

Номінальною продуктивністю комбайна вважають кількість основного продукту, зібраного за одну годину основного часу, виражену в тоннах. Вона визначається при роботі машини в типовому для зони випробувань режимі, з урахуванням врожайності, вологості, співвідношення зернової та соломистої маси, а також при втраті зерна не більше 2,0%. Показник нормується відповідно до встановленого співвідношення маси зерна до маси соломи (1:1).

Продуктивність комбайна за масою убраного зерна в одну годину чистої роботи  $W_o$ , т/год. та за площею збирання в одну годину чистої роботи  $W_o$ , га/год.:

$$W_o = \frac{3,6q_T}{1 + \alpha_{cm}}, \text{ т/год} \quad (3.1)$$

$$W_o = \frac{3,6q_T}{Y(1 + \alpha_{cm})}, \text{ га/год} \quad (3.2)$$

де  $q_T$  - теоретична пропускна здатність, кг/с.

$\alpha_{cm}$  - відношення маси соломи до маси зерна, прийняте за стандартне.

$Y$  - врожайність зерна, т/га.

Продуктивність комбайна в гектарах або тонах зерна за годину змінного часу:

$$W_{cm} = k_{cm} W_o, \text{ т/год} \quad (3.3)$$

де  $k_{cm}$  - коефіцієнт використання змінного часу роботи комбайна з врахуванням втрат часу на технологічні та організаційні простой.

Зниження змінної продуктивності комбайна значною мірою обумовлене втратами часу, що виникають під час виконання технологічного обслуговування, усунення технічних несправностей, а також під час проведення регламентованих щозмінних технічних операцій. Перелічені фактори істотно впливають на зниження коефіцієнта використання змінного часу.

Продуктивність комбайна в розрахунку на гектари або тонни зібраного зерна за годину експлуатаційного часу визначається з урахуванням усіх простоїв і фактичного часу безперервної роботи машини.

$$W_{екс} = k_{екс} W_o, \text{ т/год} \quad (3.4)$$

де  $k_{екс}$  - коефіцієнт використання часу зміни з урахуванням всіх видів простоїв комбайна, включаючи втрати часу на усунення технологічних та технічних відмов комбайна.

Для кожного збирального масиву розраховують гранично можливу продуктивність комбайна:

$$W_o = \frac{3,6q_T k_{зон} k_{перек}}{Y(1 + \alpha_{ст})}, \text{ га/год} \quad (3.5)$$

де  $k_{зон}$  – коефіцієнт зональності. Цей коефіцієнт відображає вплив зональних умов збирання (таких як полеглість посівів рису, розміри та рельєф поля, вологість зерна й соломи, ступінь солomистості, спосіб збирання, рівень урожайності та застосована технологія) на обчислену пропускну здатність комбайна.

$k_{перек}$  - коефіцієнт порівняння, рівний відношенню ширини валка до ширини захоплення підбирача при роздільному збиранні рису, що впливає на розрахункову пропускну здатність комбайна.

Розрахунок потрібної кількості комбайнів кожного класу виконаємо на основі фактичної продуктивності комбайнів у кожній зоні розподілу збиральних площ, обсягів збирання та заданих агростроків.

Потрібна кількість рисозбиральних комбайнів  $N_k$  кожного класу знаходимо за формулою:

$$N_k = \frac{S_o}{W_c T_c}, \text{ га/год} \quad (3.6)$$

де  $N_k$  - потрібна кількість комбайнів, шт.;

$S_o$  - загальна збиральна площа, що прибирається комбайном окремого класу;

$W_c$  - добова продуктивність комбайна в умовах рядової експлуатації в господарстві;

$T_c$  - прийняті терміни збирання, виходячи з мінімальних втрат зерна  $T_c = 5$  днів.

### **Висновки**

1. Розроблена експериментальна програма охоплює весь спектр польових і виробничих досліджень, необхідних для збору вхідної інформації, яка слугує основою для моделювання та оптимізації конструкції рисозбиральних комбайнів.

2. Вибір рисівницьких господарств північної та південної частин Одеської області як бази для експериментальних досліджень дав змогу отримати регіонально характерну вихідну інформацію.

3. Розроблена методика виконання експериментів і аналізу отриманих даних забезпечила збір інформації у кількості та якості, що відповідає вимогам точності.

4. Результати проведених досліджень підтвердили обґрунтованість та всебічність розробленої програми і методики експериментів.

5. Запропоновані методи проведення польових і виробничих дослідів під час збирання рису, а також отримані експериментальні дані, можуть бути застосовані в подальших дослідженнях, пов'язаних з переробкою рису.

## **4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **4.1. Результати з визначення особливостей збирання рису**

Лабораторно-польові випробування рисозернозбиральних комбайнів проводилися у ТОВ СГП "ДУНАЙ - АГРО" Кілійського р-ну Одеської області. Машини працювали на підборі та обмолоті валків.

Основним методом збирання рису в зоні проведення досліджень є роздільне збирання, яке охоплює практично всю площу посівів. До моменту жнив приблизно 90% посівів зазнають вилягання, при цьому ступінь полеглисті є надзвичайно високим. Жнивarki комбайнів не здатні ефективно скошувати полегли рослини, тому випробування методу прямого комбайнування не проводилися.

Під час експериментальних досліджень спостерігалися коливання температури повітря. Клімат району характеризується посушливістю, а валки, які підлягають обмолоту, формуються за чотири доби до підбирання та мають достатній рівень підсушування. У зв'язку з цим загальні втрати за валковою жнивarkою ЖРК-5 сягнули 3,5%, переважно через втрати вільного зерна. Враховуючи посушливі погодні умови, збирання врожаю не можна затягувати, оскільки це призводить до зниження якості зерна. Вологість зерна під час збирання повинна перебувати в межах 18–20%. Рис слід рівномірно розкласти на сушильному майданчику та витримувати на сонці протягом 2–3 днів.

Дані щодо врожайності рису та її структурних елементів подано в таблиці 4.1. Характеристики дослідної ділянки та вирощуваної культури наведено у таблицях 4.2 і 4.3.

Як ключовий показник було обрано врожайність рису у період збирання. Імовірнісну щільність розподілу врожайності представлено на рисунку 4.1. Для кращого розуміння результатів спостережень побудовано діаграму емпіричного розподілу вибіркової щільності ймовірності та криву нормального розподілу врожайності рису, що дозволяє проаналізувати частотність появи подій у різних інтервалах (див. рис. 4.1).

Таблиця 4.1 - Урожайність рису та складові її структурні елементи

№		Україна 96	Преміум	Віконт
1	Висота рослин, см	108	94,9	95,7
2	Густота рослин	151	158	171
3	Полягло рослин, %	74	92	93
4	Втрати зерна від самоосипання, %	2.25	1,79	2.25
5	Маса соломи, г/рослина	13.7	12.71	12.4
6	Маса зерна, г/рослина	8.4	9.3	11
7	Співвідношення: зерно/солома	1:1,76	1:1,43	1:1.14
8	Довжина волоті, см	17.7	16.4	18.6
9	Кількість колосків на волоті, шт.	97	105	113
10	Загальна кількість зерен, шт/ волоті	87	96	102
11	Маса зерна з волоті, г	2.85	2.91	3.3
12	Маса 1000 зернівок	34.1	30.4	34
13	Врожайність, ц/га	51,81	59,9	57,52

Таблиця 4.2 – Показники умов випробувань

№	Найменування показника	Значення показника	
Загальні характеристики			
1	Культура, сорт	Україна 96	Преміум
2	Спосіб збирання	підбір та обмолот валків	
3	Рельєф поля	рівний	рівний
5	Вологість ґрунту у шарі від 0 до 10 см, %	34,88	32,99
6	Твердість ґрунту в шарі від 0 до 10 см, МПА	1.13	1.13
Характеристика культури, що збирається			
7	Висота рослини, см	108	98,8
8	Полеглість рослин, %	78	95
9	Відношення: зерно/солома	1:1,72	1:1,43
10	Врожайність зерна, ц/га	52,83	57,21
11	Маса 1000 зерен, г	34.11	31.21
12	Вологість, %		
	- зерна	15.25	14.91
	- соломи	29,79	33.11
13	Засміченість культури бур'янами, %	0	0
Характеристика валка			
14	Шириною захвату жнивarki, що сформувала валок, м	5	5
15	Параметри валка, см		
	-висота	26.36	24.3
	-товщина валка	23.06	21,74
	-ширина валка	176	174
16	Відстань між валками, м	3.89	2.61
17	Маса одного погонного метра валка, кг	5.87	4.96
18	Просвіт між ґрунтом та валком, см	3.44	3.57
19	Довжина стебел у валку, см	102	91,41
20	Втрати зерна за валковою жнивarkою, %:	4.67	4120

Таблиця 4.3. Показники умов випробувань

№	Найменування показника	Значення показника	
Загальні характеристики			
1	Культура, сорт	Віконт	Преміум
2	Спосіб збирання	підбір та обмолот валків	
3	Рельєф поля	рівний	рівний
4	Вологість ґрунту у шарі від 0 до 10 см, %	24.25	26.1
5	Твердість ґрунту в шарі від 0 до 10 см, МПА	1.13	1,18
Характеристика культури, що прибирається			
7	Висота рослини, см	96,41	96
8	Полеглість рослин, %	91	91
9	Відношення: зерно/солома	1:1.13	1:1.14
10	Врожайність зерна, ц/га	57,93	59,91
11	Маса 1000 зерен, г	33	34
12	Вологість, %		
	- зерна	14.31	13,94
	- соломи	31.11	29.44
13	Засміченість культури бур'янами, %	0	0
Характеристика валка			
14	Шириною захвату жниварки, що сформувала валок, м	5	5
15	Параметри валка, см		
	-висота	26.31	27.61
	-товщина валка	22.47	23,95
	-ширина валка	199	172
16	Маса одного погонного метра валка, кг	4.95	4.99
17	Просвіт між ґрунтом та валком, см	3.78	3.77
18	Довжина стебел у валку, см	92,81	93,14
20	Втрати зерна за валковою жниваркою, %:	3.18/3.22	4.74

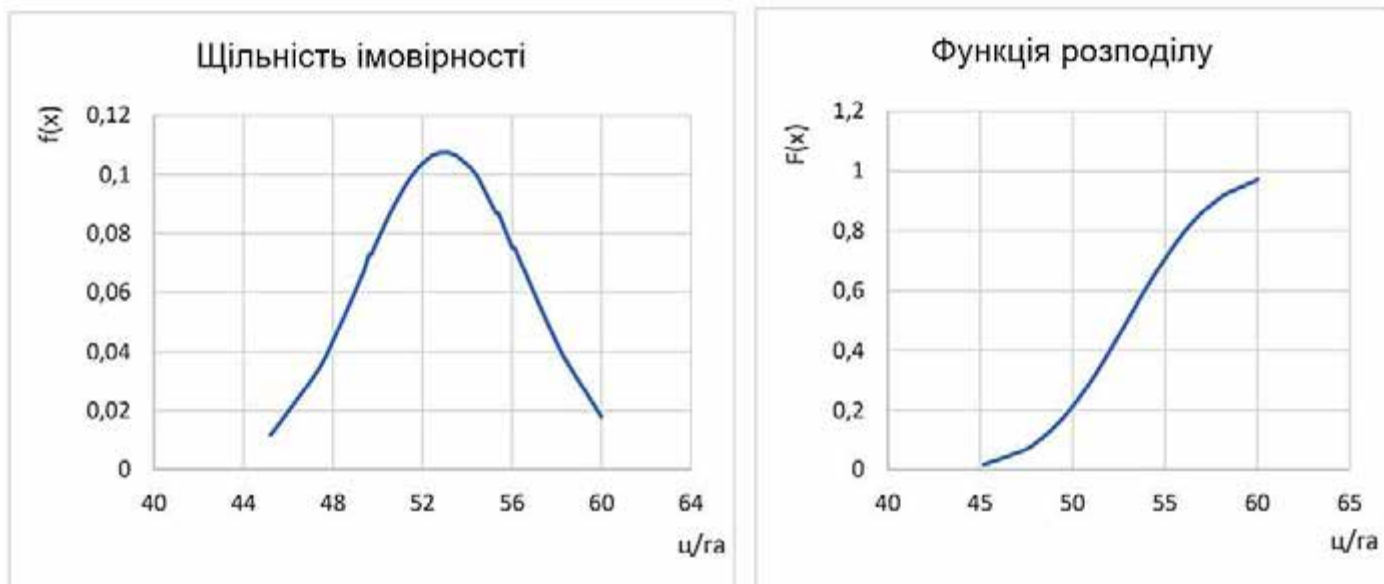


Рис. 4.1 - Функція густини ймовірності розподілу врожайності рису

Середня врожайність рису в даному регіоні Одеської області становить 57,4 ц/га, при цьому середньоквадратичне відхилення за вибіркою дорівнює  $\sigma = 3,8$  ц/га, а коефіцієнт варіації – 7%. Отримані статистичні характеристики – середнє значення ( $\mu$ ) та стандартне відхилення ( $\sigma$ ), а також гістограма щільності розподілу випадкової величини свідчать про наближення розподілу врожайності до нормального закону.

Для визначення біологічних особливостей рису на етапі досягання використовували низку показників: густоту стояння рослин на 1 м<sup>2</sup> (див. рис. 4.2), ступінь полеглості, рівень стиглості та вологість рослин у фазі повної стиглості, висоту стебла, кількість зерен у волоті, масу 1000 зерен, діаметр і масу стебла, а також втрати зерна внаслідок самоосипання та інші характеристики.

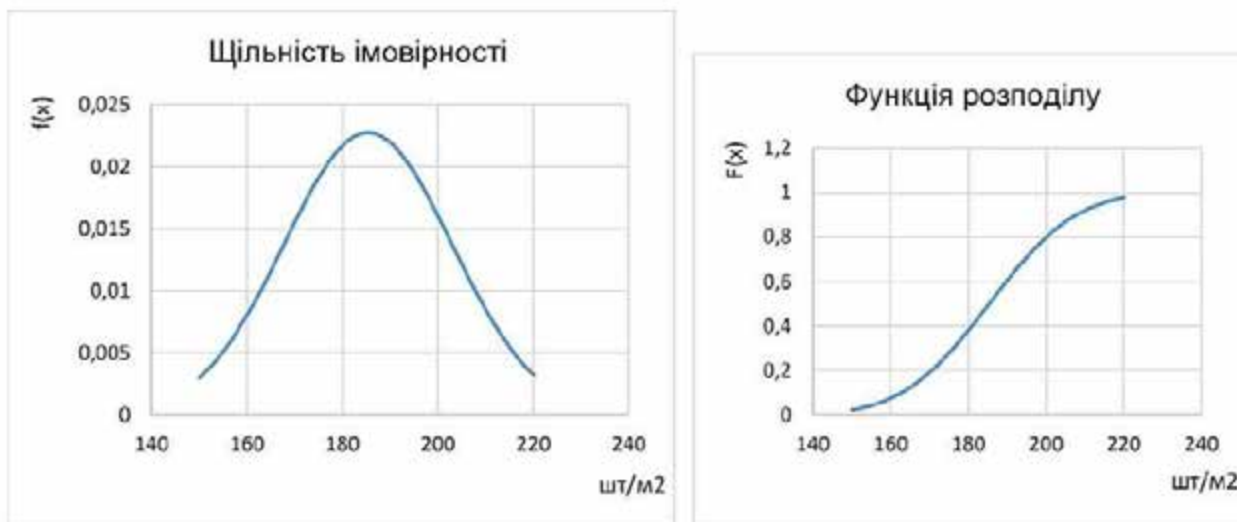


Рис. 4.2 - Функція щільності ймовірності розподілу показника густоти стояння рослин рису

Середня маса 1000 зерен рису становить 33 г, середньоквадратичне відхилення за вибіркою  $\sigma = 0,89$  ц/га та коефіцієнт варіації 3%.

Щільність ймовірностей розподілу відстаней між валками, ширина і товщина валка представлені на рисунках 4.3, 4.4, 4.5. При цьому для відстані між валками отримано математичне очікування  $l_p = 278$  см, середньоквадратичне відхилення  $\delta_l = 13,5$  см, коефіцієнт варіації  $\nu_l = 5,1$  %.

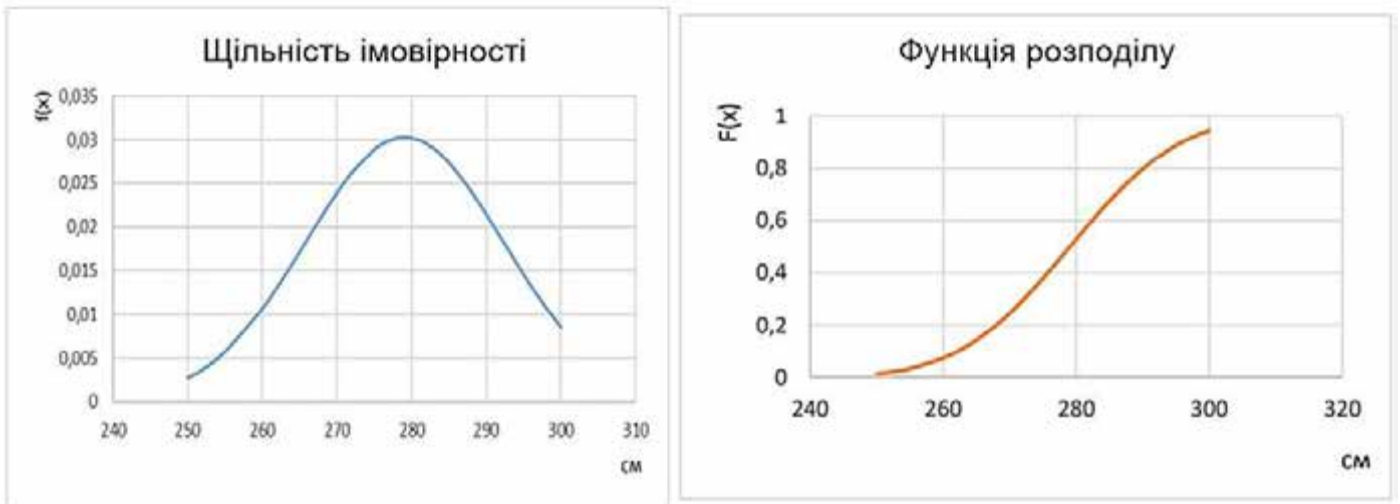


Рис. 4.3 - Функція щільності ймовірності розподілу інтервалів між валками

А для товщини валка отримано математичне очікування  $l_p = 23$  см, середньоквадратичне відхилення  $\delta_l = 3,38$  см та коефіцієнт варіації  $\nu_l = 16$  %.

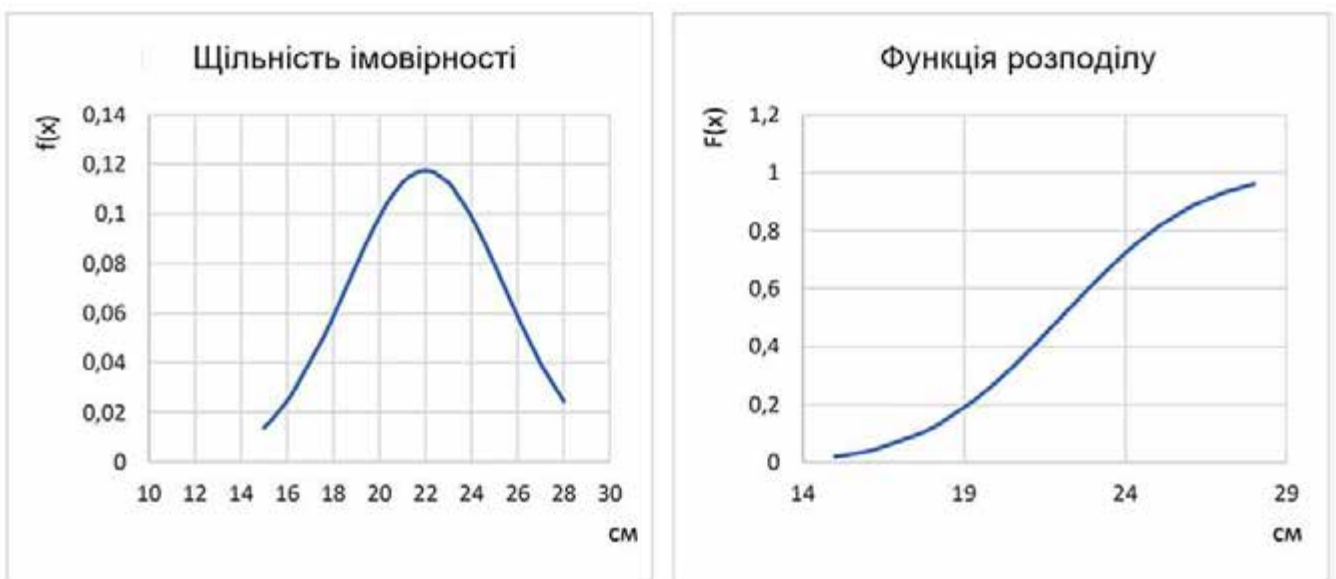


Рис. 4.4 - Функція густини ймовірності розподілу товщини валка

Ефективність процесів підбирання та обмолоту безпосередньо залежить від якості формування рисового валка жниварками. За результатами статистичного аналізу вимірювань математичне сподівання ширини валка  $l$ , середньоквадратичне відхилення та  $P^l$  коефіцієнт варіації відповідно становили  $l_p = 176$  см,  $\delta_l = 16$  см,  $\nu_l = 9,1$  %, що видно з малюнків 4.5.

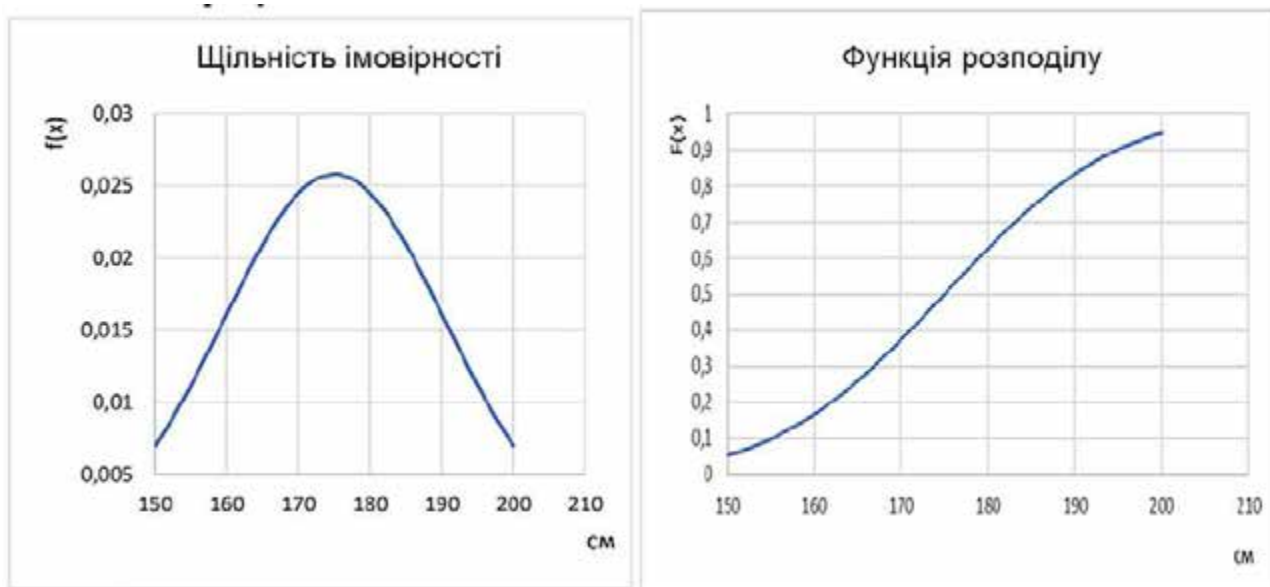
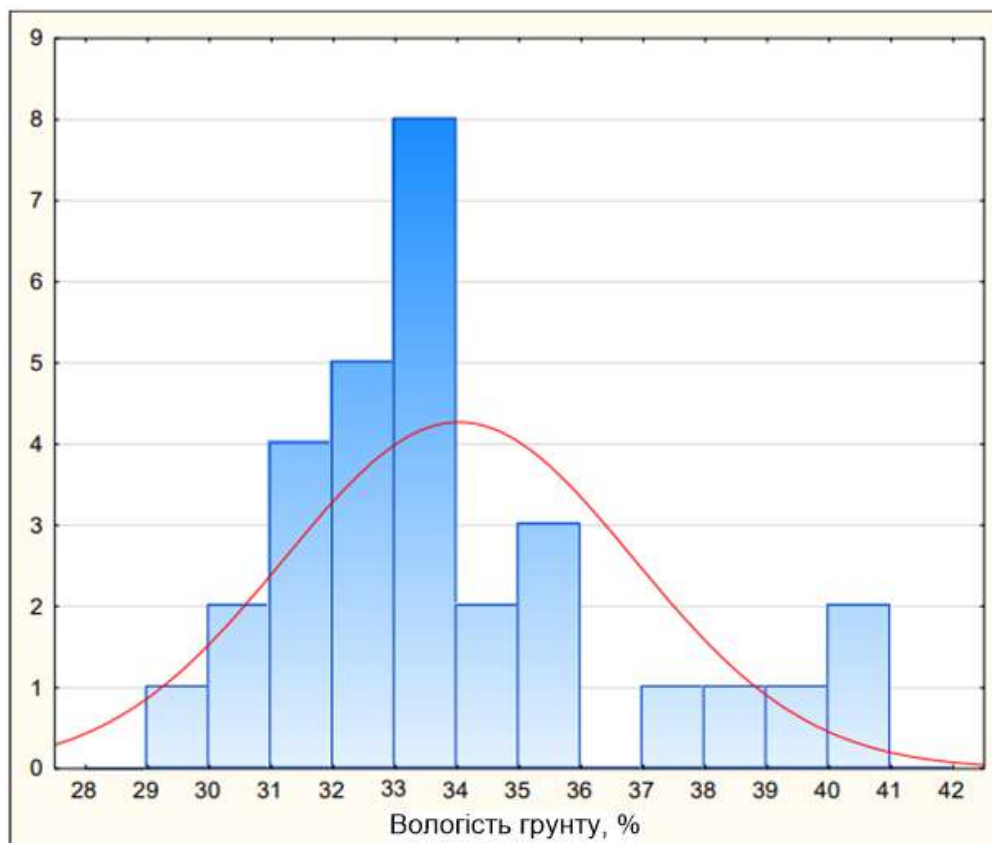


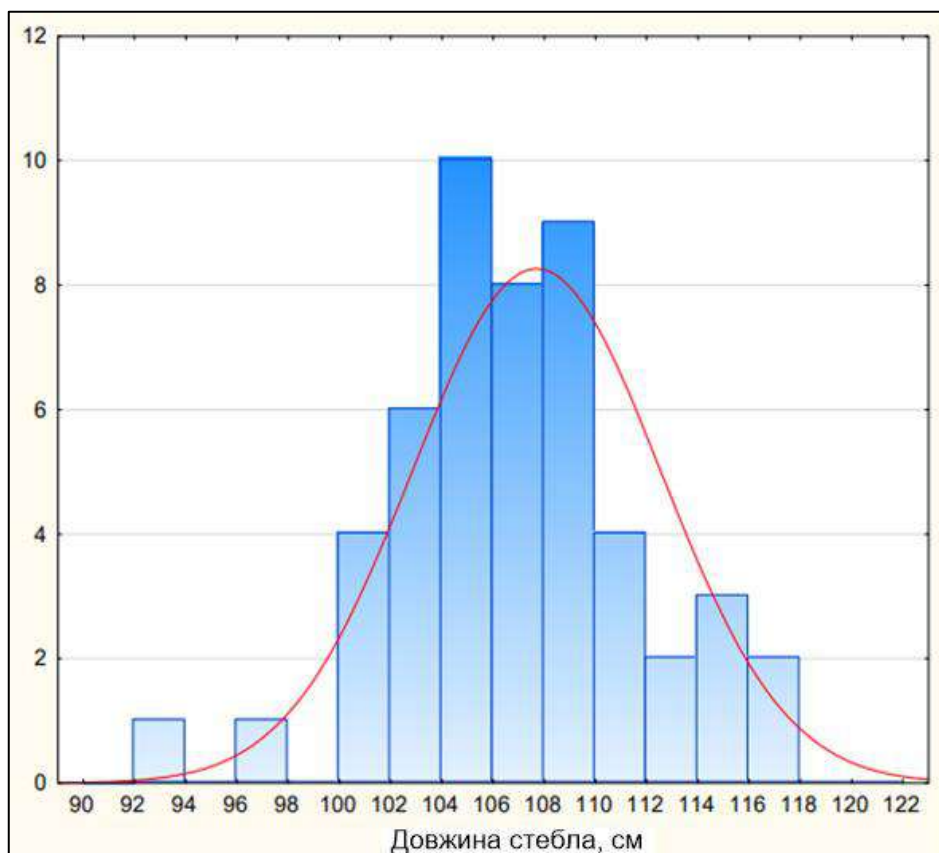
Рис. 4.5 - Функція щільності ймовірності розподілу ширини рису валка

Для цього регіону характерна наявність значної кількості дрібних чеків, підвищена температура повітря у період збирання врожаю, а також висока вологість у ґрунтовому горизонті. Показники вологості ґрунту аналізувалися з використанням методів математичної статистики. На основі проведених досліджень встановлено, що для важкосуглинистих і глинистих ґрунтів, які переважають у цій зоні, критичним показником міцності є вологість у межах 28–37%.

У ході досліджень виявлено, що більшість рослин рису сорту «Україна 96» зосереджена в діапазоні довжини від 92 до 117 см, при цьому середнє значення довжини волоті становить 17,8 см. На основі варіаційних рядів побудовано інтегральні криві розподілу довжини стебел (див. рис. 4.6).

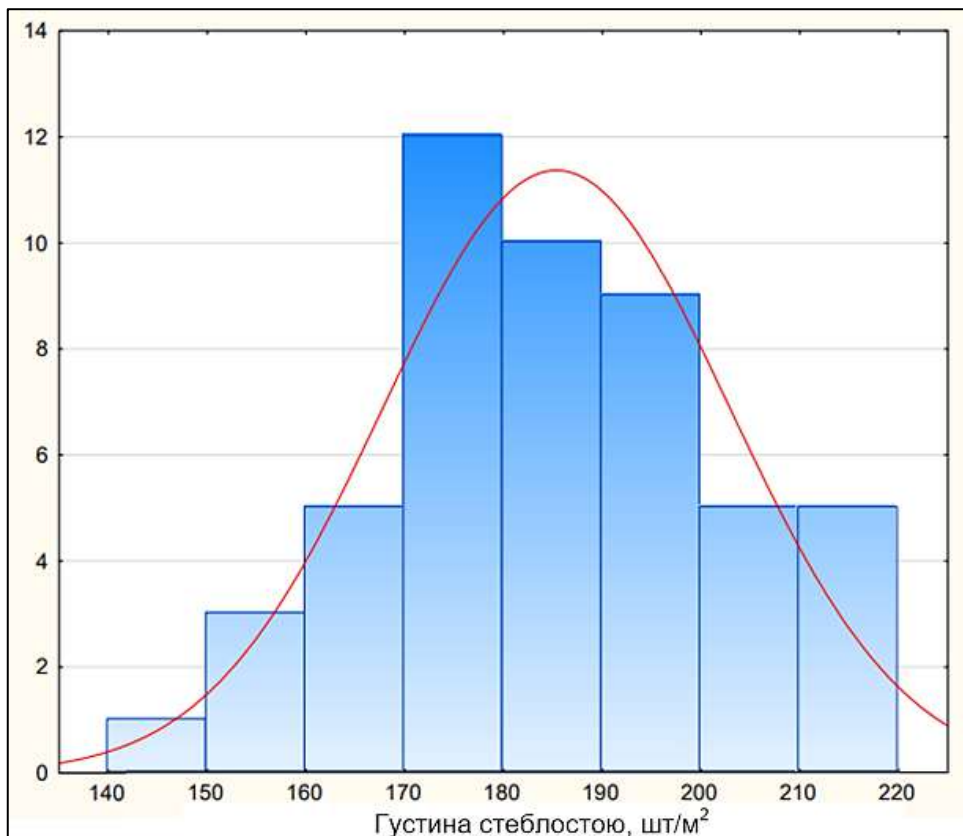


а)

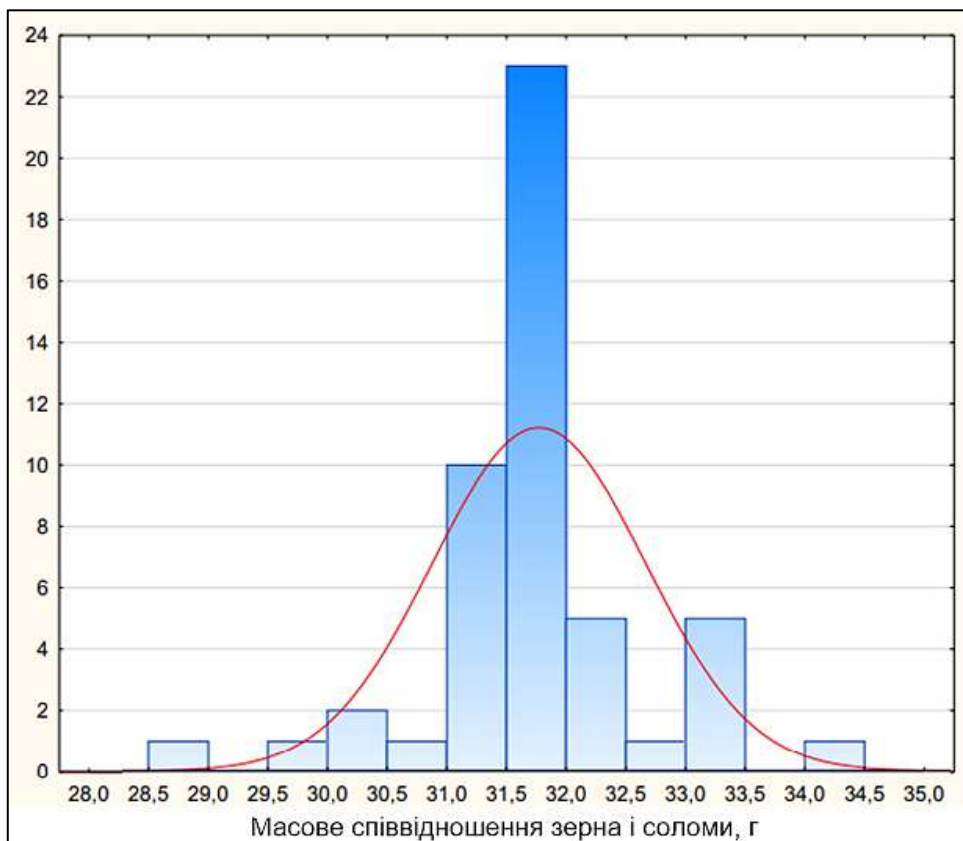


б)

Рис. 4.6 - Гістограми розподілу вологості ґрунту (а) та довжини стебел рису (б)



(B)



(Г)

Рис. 4.7 - Гістограми розподілу густоти стеблостою (в) та співвідношення маси зерна до соломи (г)

Як видно з графічних даних, основна кількість колосків розташовується на висоті 105 см і вище. Обмолот рослин із довгими стеблами супроводжується підвищеним енергоспоживанням. Це зумовлено додатковим навантаженням, пов'язаним з процесами розщеплення і розриву стебел, а також із пружною та пластичною деформацією матеріалу. Крім того, зростають сили тертя між обмолочуваною масою та робочими органами машини (декою), а також між окремими частинками соломистого вороху. Важливо враховувати й додаткові енергетичні витрати, пов'язані з ударами, подоланням інерційних сил збільшеної маси через довші стебла, а також з передачею кінетичної енергії продуктам обмолоту.

Поглиблено досліджено варіацію густоти стеблостою на всій площі дослідного чека. Статистичні параметри мінливості цього показника (для сорту рису «Україна 96») і функція щільності розподілу наведені на рисунку 4.8.

Результати аналізу свідчать про те, що густота стеблостою підпорядковується нормальному закону розподілу. Вибіркове середнє значення становить 187 рослин/м<sup>2</sup>, а стандартне відхилення – 18 рослин/м<sup>2</sup>. Загальні коливання густоти знаходяться в межах 155–235 рослин/м<sup>2</sup>. З цього випливає, що валкові жниварки піддаються змінним за величиною та розподілом динамічним навантаженням уздовж довжини валка внаслідок нерівномірної густоти стеблостою.

Аналіз масового співвідношення зерна до соломи показав, що маса соломи перевищує масу зерна в 1,5–2 рази. Надмірна кількість соломи ускладнює процес сепарації та зумовлює зростання втрат зерна, яке виноситься разом із соломою. Тому виникає потреба в зменшенні об'єму соломи, що потрапляє до збиральної машини.

При застосуванні традиційної технології збирання врожаю основна частина енергоресурсів (а отже – й палива, що споживається зернозбиральним комбайном) витрачається на зрізання стебел, їх транспортування, деформування в процесі обмолоту та сепарацію. Після обмолоту зерно змішується з соломистими залишками, і на поділ цієї маси витрачається більшість зусиль

комбайна. Саме в ході цього процесу частина зерна губиться.

Під час підбирання валків вологість зерна знижується до рівня 14,1%, тоді як вологість стеблової маси (див. рис. 4.8) залишається досить високою – на 11–21% вище, ніж у самого зерна. Унаслідок спільного обмолоту такої сировини загальна вологість зерна може досягати 25–35%, а в окремих випадках – навіть до 43%. Це суттєво підвищує рівень втрат та ступінь травмування зерна. Одночасно спостерігається зростання вологості зерна, що надходить у бункер, через вторинне зволоження від сирих залишків соломи та бур'янів. Така вологість несприятливо впливає на збереження зерна під час подальшого зберігання.

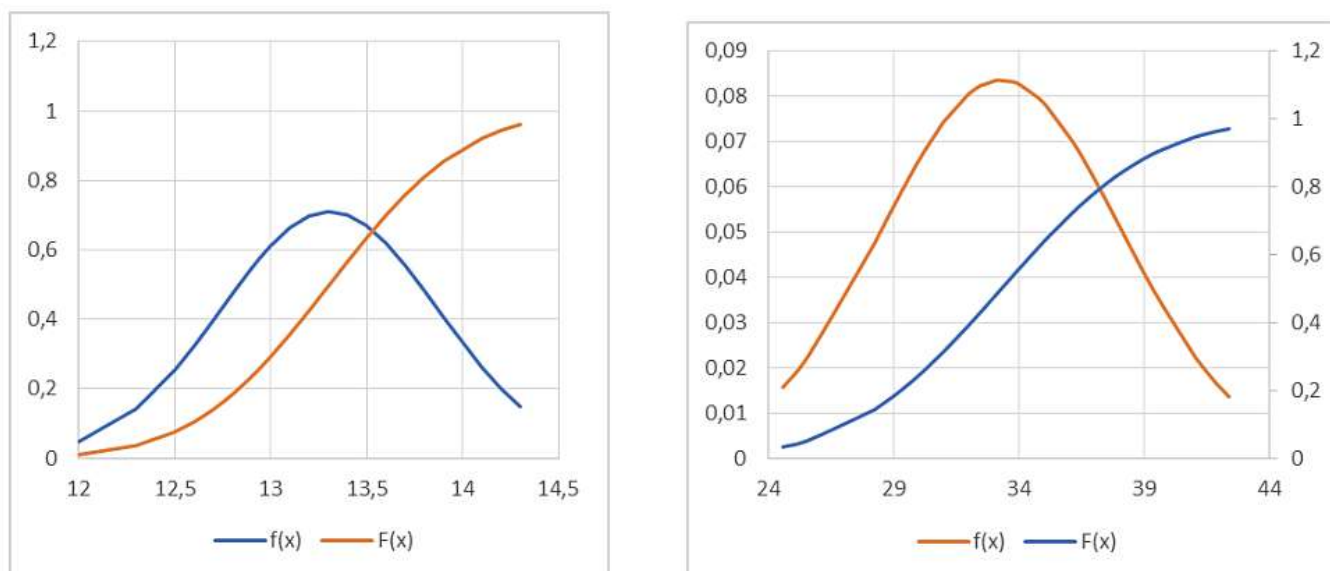


Рис. 4.8. Функція щільності ймовірності розподілу вологості зерна та соломистої маси (%)

Отримані результати дали змогу здійснити кореляційно-регресійний аналіз, який дозволив виявити вплив окремих чинників, зокрема вологості соломи, на цільовий показник – продуктивність комбайна.

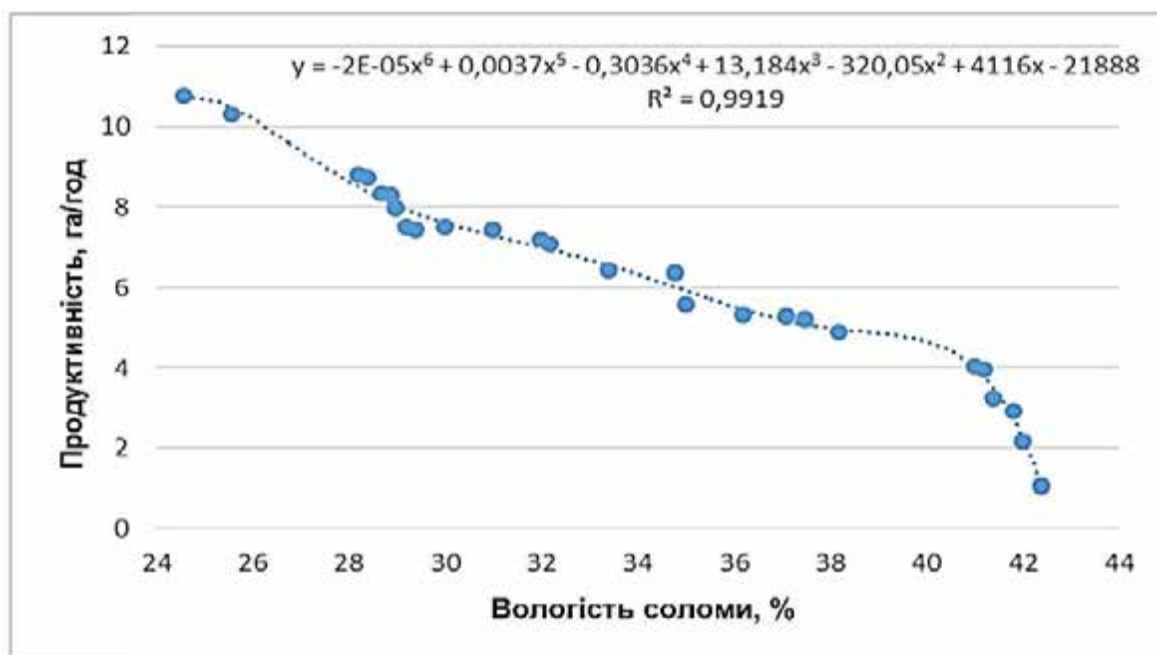


Рис. 4.9. Кореляція продуктивності та вологості соломи

Слід підкреслити, що на хід збиральних робіт суттєво впливає велика кількість чинників імовірнісної природи, зокрема: ступінь засміченості, вологість, варіативність урожайності, протяжність транспортних перевезень, довжина гону, швидкість руху техніки тощо. Наявність цих чинників порушує ритмічність технологічного процесу, що призводить до неминучих простоїв сільськогосподарських агрегатів. Результати досліджень свідчать про те, що планування необхідної кількості рисозбиральних комбайнів без врахування ймовірнісних коливань природно-виробничих факторів може спричинити подовження строків збирання врожаю на 25% у порівнянні з оптимальними термінами.

#### 4.2. Результати випробувань

Полеві дослідження проводилися на доборі та обмолоті валків рису, в т.ч. полеглого рису в рисівничому господарстві Одеської області за комбайнами "СКІФ-250", "CLAAS TUCANO 580", "CASE 2388", "John Deere STS 9770".

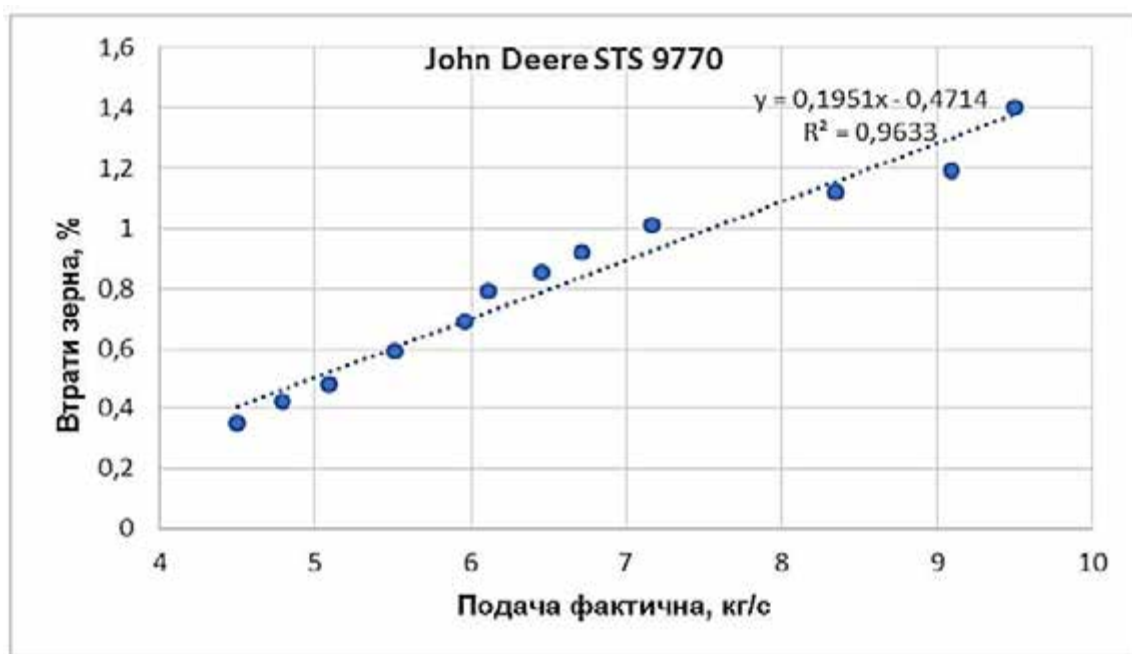
Метою даного дослідження є проведення експериментальних випробувань п'яти моделей рисозбиральних комбайнів та аналіз отриманих результатів з метою обґрунтування вибору найбільш конкурентоспроможної машини, здатної ефективно вирішувати завдання збирання зернових культур у специфічних

умовах даного регіону.

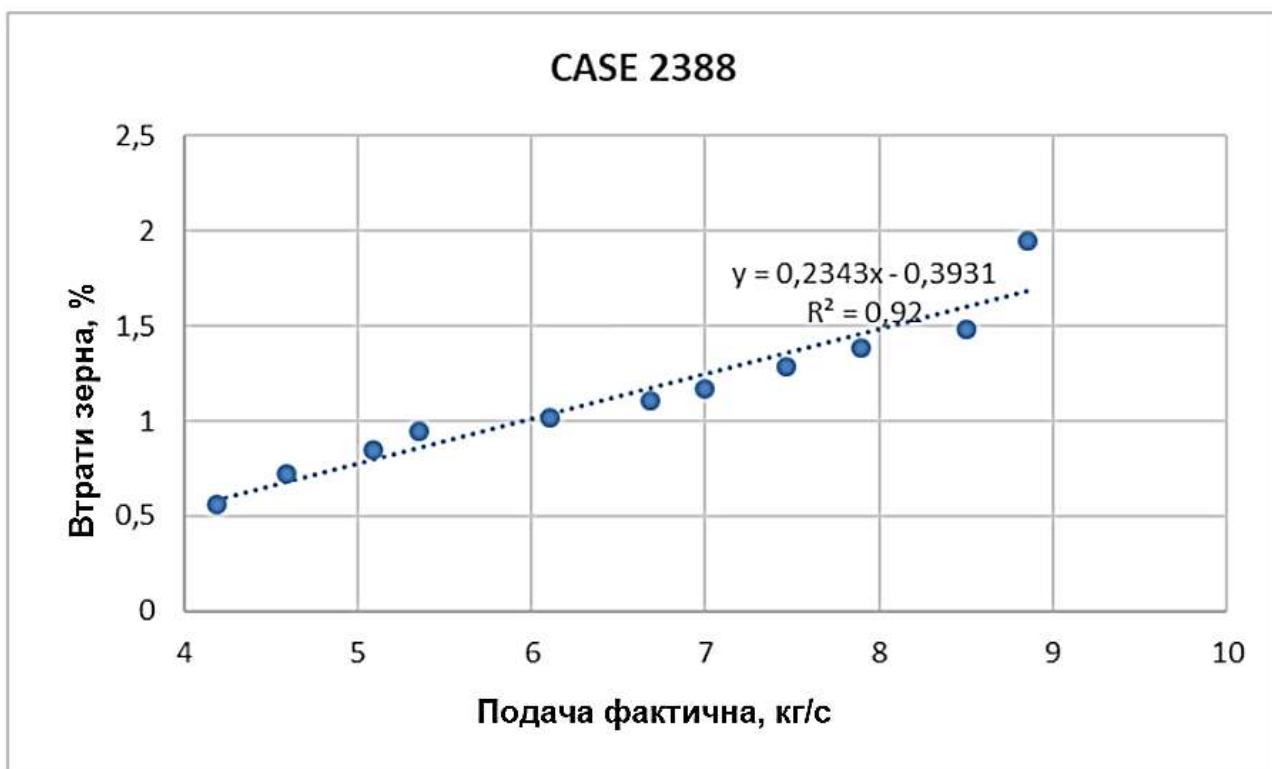
На якість зібраного зерна суттєво впливають різкі відмінності між окремими ділянками поля та чеками, зокрема за врожайністю, вологістю зерна та соломи. Під час підбирання валків вологість зерна знижується до рівня близько 15%, тоді як вологість стеблової маси залишається значно вищою – на 11–21% вище за вологість зерна. Унаслідок спільного обмолоту вологість зерна може зростати до 25–35%, а в окремих випадках – до 43%, що істотно підвищує втрати і рівень його травмування. Крім того, волога, яка виділяється сирими залишками соломи та бур'янів, зумовлює повторне зволоження зерна, що надходить до бункера, і негативно впливає на його подальше зберігання.

Агротехнічна оцінка функціонування порівнюваних моделей свідчить, що іноземні комбайни та вітчизняна машина «СКІФ-250» при допустимому рівні втрат за молотаркою 1,5% забезпечують подачу матеріалу на рівні 8,5–9,5 кг/с. Це дозволяє класифікувати їх як машини 5-го класу продуктивності за умов врожайності рису 55 ц/га.

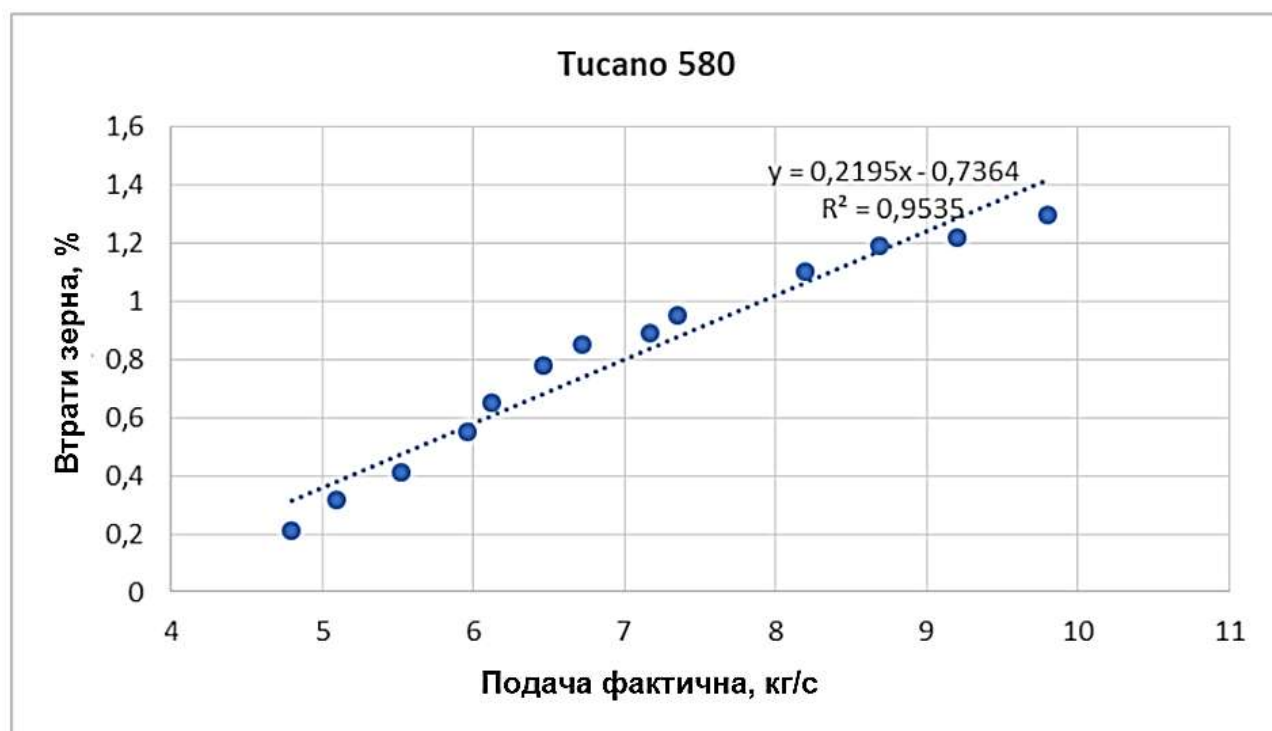
Графічна інтерпретація залежності втрат від фактичної подачі для порівнюваних моделей рисозбиральних комбайнів представлена на рисунку 4.10.



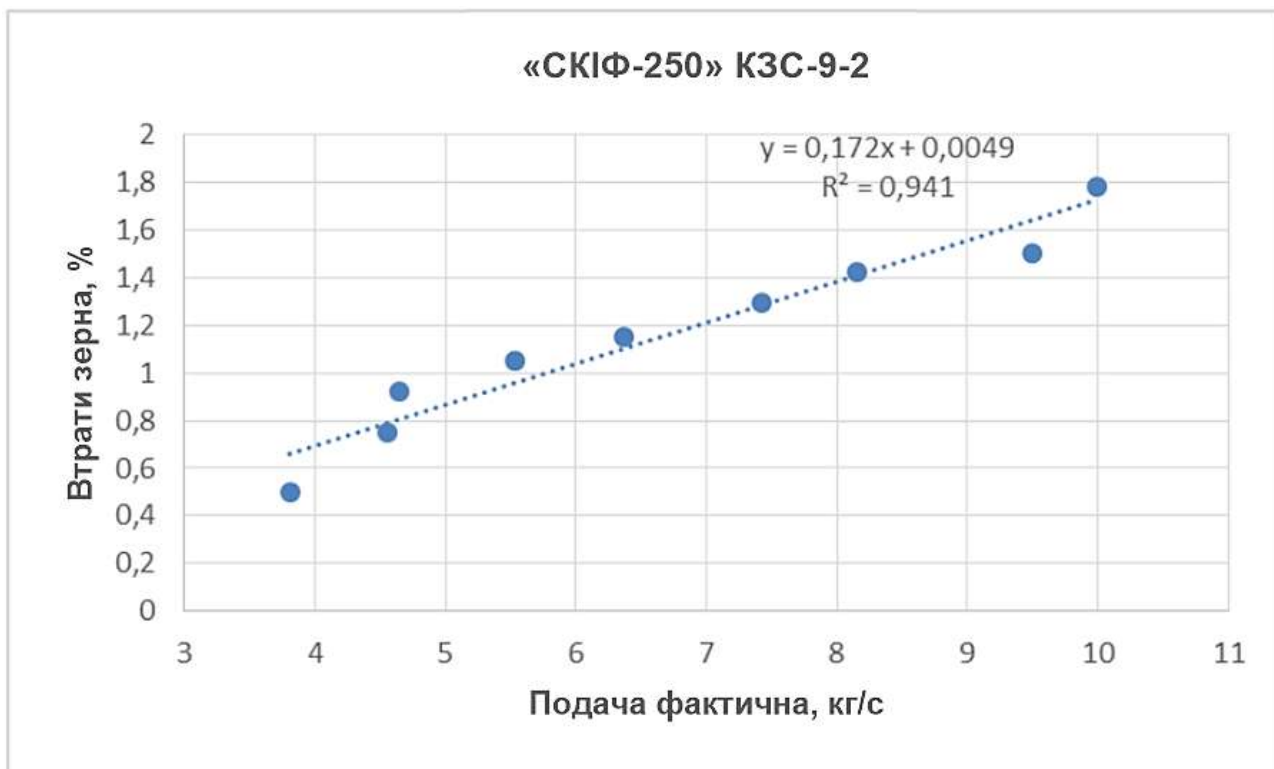
а)



б)



в)



г)

Рис. 4.10 - Графіки залежності втрат від фактичної подачі порівнюваних комбайнів

Після визначення типу техніки за класом продуктивності важливим етапом є правильний вибір адаптивної конструкції машини, навіть у межах одного класу. Конструкційно-технологічні характеристики порівнюваних моделей комбайнів наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Конструкційно-технологічні показники порівнюваних комбайнів

Показники	«Скіф-250» КЗС-9-2	TUCANO 580	CASE 2388	John Deere STS 9770
Ширина молотарки, мм	1500	1580	1162	1397
Діаметр молотильного барабана (діаметр/довжина ротора), мм	800	450	762	750/3130
Діаметр барабана прискорювача, мм	600	450	-	-
Площа підбарання (ротора), м <sup>2</sup>	2,39	-	1,699	1,1
Площа решіт очищення, м <sup>2</sup>	5,0	5,65	2,780	4,49
Площа соломотрясу (сепарації), м <sup>2</sup>	6,15	-	5,127	1,54
Місткість зернового бункера, м <sup>3</sup>	8	9	7,4	10,6
Потужність двигуна, кВт	243	278	242	294
Маса комбайна без жнивarki, кг	14950	14000	12861	14862

Серед порівнюваних моделей комбайнів найбільшу ширину молотарки (1580 мм) та площу решітного стола для очищення (5,65 м<sup>2</sup>) має CLAAS TUCANO 580. У комбайна «Скіф-250» КЗС-9-2 зафіксовані найвищі значення площі підбарабання – 2,39 м<sup>2</sup>, а також кількість клавіш соломотряса – 6. John Deere STS 9770 вирізняється найпотужнішим двигуном серед досліджених машин (294 кВт) і найбільшою масою – 14 862 кг.

Об'єм зернового бункера до 10,6 м<sup>3</sup> забезпечує тривалий час безперервної роботи без необхідності розвантаження, тоді як підвищена швидкість розвантаження дозволяє суттєво зменшити простой.

Експлуатаційно-технологічні характеристики зазначених моделей комбайнів наведено у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5. Експлуатаційно-технологічні показники порівнюваних комбайнів

Показники	«СКІФ-250» КЗС-9-2	TUCANO 580	CASE 2388	John Deere STS 9770
Обсяг роботи, виконаний за час випробування,	128,86	152,4	124,65	158,0
Середня фактична швидкість руху, км/год	4.0	4.22	3.9	4.3
Продуктивність, га/год (т/год): основна	3.2 (17.6)	3,44 (19,5)	2,9 (16,7)	3,54 (19,64)
змінна	2.39	2.54	1.97	2.88
експлуатаційна	2.36	2.5	1.98	2.78
Питома витрата палива за час змінної роботи, г/кВт година	216	223	226	218
Експлуатаційно-технологічні коефіцієнти				
Технологічного обслуговування	0,92	0,91	0,93	0,92
Надійності технологічного процесу	0,99	1,0	1,0	1,0
Використання змінного часу	0,71	0,75	0,72	0,78
Використання експлуатаційного часу	0,72	0,73	0,68	0,79
Кількість обслуговуючого персоналу	1	1	1	1
Показники якості виконання технологічного процесу				
Висота зрізу, см	13,8	14,1	12,9	14,3
Сумарні втрати зерна за комбайном, %	2,84	2,53	2,77	2,67
В тому числі за молотаркою, %	1,74	1,43	1,36	1,31
Дроблення зерна, %	2,42	1,98	2,55	0,95
Смітцева домішка, %	3,61	1,55	1,13	1,93

На ділянках, де здійснювалися підбирання та обмолот валків, було зафіксовано високий рівень урожайності – в середньому 57,5 ц/га. Найвищу продуктивність за годину основного робочого часу продемонстрували комбайни John Deere STS 9770 (3,54 га/год) та TUCANO 580 (3,44 га/год). Усі протестовані моделі забезпечили допустимий рівень втрат зерна за агрегатом, який не перевищував 3% навіть під час збирання полеглих рослин. Проте найбільші втрати серед них показав комбайн «Скіф-250» КЗС-9-2. Ступінь дроблення зерна відповідав встановленим агротехнічним вимогам.

Варто відзначити, що комбайн John Deere STS 9770, оснащений аксіально-роторною молотильно-сепарувальною системою, забезпечив найвищу продуктивність і найкращу якість зерна у бункері порівняно з іншими машинами, що мають однобарабанну або двобарабанну конструкцію.

Експлуатаційно-економічні показники порівнюваних комбайнів наведено у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6. Експлуатаційно-економічні показники порівнюваних комбайнів

Показники	«Скіф-250» КЗС-9-2	TUCANO 580	CASE 2388	John Deere STS 9770
Ціна без ПДВ, млн. грн.	1,94	4,29	3,24	4,86
Потужність, кВт	243	278	242	294
Обслуговуючий персонал	1	1	1	1
Витрата палива, кг/т	3,25	3,43	3,57	3,263
Витрати праці, чол.-ч/га (чол.-ч/т)	0,66	0,6	0,71	0,58
WS <sub>о</sub> , га/год (загальна продуктивність)	3,2	3,44	2,9	3,54
WT <sub>о</sub> , т/год (загальна продуктивність)	17,6	19,5	16,7	19,64
WS <sub>с</sub> , га/год (змінна продуктивність)	2,39	2,54	1,97	2,88
WT <sub>с</sub> , т/год (змінна продуктивність)	2,36	2,5	1,92	2,78
Витрата палива за годину основного часу, кг/год	57,9	65,18	58,88	63,98
Витрати на паливо, S <sub>q</sub> , грн./година	345,06	395,85	357,78	388,80
Охорона середовища S <sub>qn</sub> , грн./година	3,88	4,07	4,17	3,90
Витрати на зарплату S <sub>m</sub> , грн./година	36,29	36,29	36,29	36,29
Цінові витрати, грн./год	781,65	1726,14	1302,75	1954,13
Експлуатаційні витрати, грн.	1166,81	2162,30	1701,00	2383,10
Собівартість збирання, грн./га (грн./т)	511,76 (518,56)	889,83 (900,96)	867,83 (909,63)	860,30 (892,54)

На основі наведених вище оцінок можна виділити комбайни CLAAS TUCANO 580, «Скіф-250» КЗС-9-2 та John Deere STS 9770 як найбільш доцільні для використання під час збирання рису в умовах даного регіону з огляду на їх конструкційно-технологічний рівень.

Отримані окремі залежності експлуатаційно-технологічних і експлуатаційно-економічних показників становлять базу для подальшого багатофакторного моделювання техніко-економічної ефективності аналізованих комбайнів.

#### 4.3. Результати досліджень роботи очисних жниварок для збирання рису

За результатами підрахунку кількості стебел, що входять у робочу щілину при швидкості  $\mathcal{Q}_m = 3$  м/сек, було побудовано розподіл потоку стебел, яке з ймовірністю  $\rho = 0,75$  відповідало розподілу Пуассона. Параметр досліджуваного потоку склав  $a = \lambda t = 1,41$  а шукана площа потоку  $\lambda = 29,3$  т/сек. Звідки інтенсивність обслуговування  $\rho = 0,9$  за  $\mu = 33$ .

Для цього параметра маємо

$$p_0 = 0,255; \quad p_2 = 0,253; \quad p_4 = 0,044; \quad p_6 = 0,0034;$$

$$p_1 = 0,355; \quad p_3 = 0,115; \quad p_5 = 0,022; \quad p_7 = 0,00065;$$

Вид розподілу цього випадку показаний рис. 4.11.

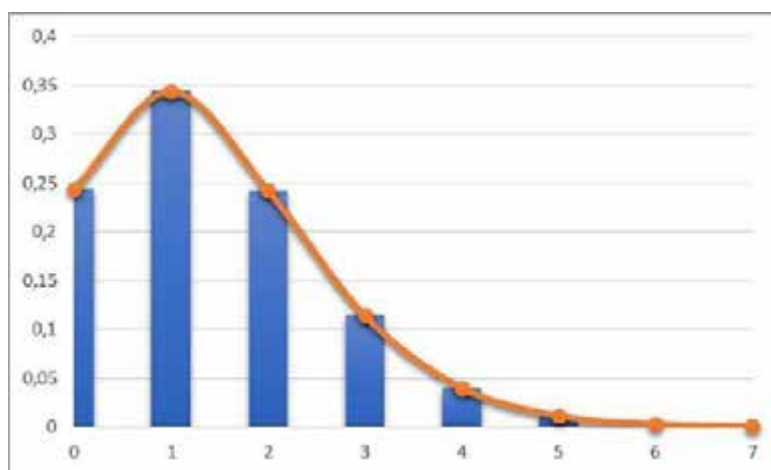


Рис. 4.11 - Розподіл потоку подій у робочій щілині апарату

При випадкових коливаннях висоти стеблостою в полі, навантаження на апарат, що вичісує, може коливатися в дуже широких межах, тому повна гарантія зрізу всіх вступників в робочу щілину мітелок очевидно буде мати в тому випадку, якщо  $\xi$  прийняти рівним одиниці. Тоді підставляючи значення  $\varphi$  знаходимо, що ширина пальців складе  $B_n = 36$  мм.

Між діаметром стебла та його довжиною спостерігається пряма залежність: із збільшенням довжини стебла зростає і його діаметр. За результатами вимірювань на різних рівнях від основи рослини побудовано регресійні лінії. Діаметр стебла у зоні волоті визначає необхідну ширину робочої щілини жнивarki. Водночас занадто вузькі щілини схильні до забивання бур'янистою масою, що стало однією з основних причин обмеженого поширення стріперних жниварних апаратів (див. рис. 4.12).

У випадку збирання рису на засмічених посівах ширина робочої щілини повинна відповідати максимальному діаметру стебла у зоні волоті. З метою визначення критичної ширини виступу пластикату, за якої не відбувається забивання робочої щілини, побудовано відповідні регресійні залежності (рис. 4.13).

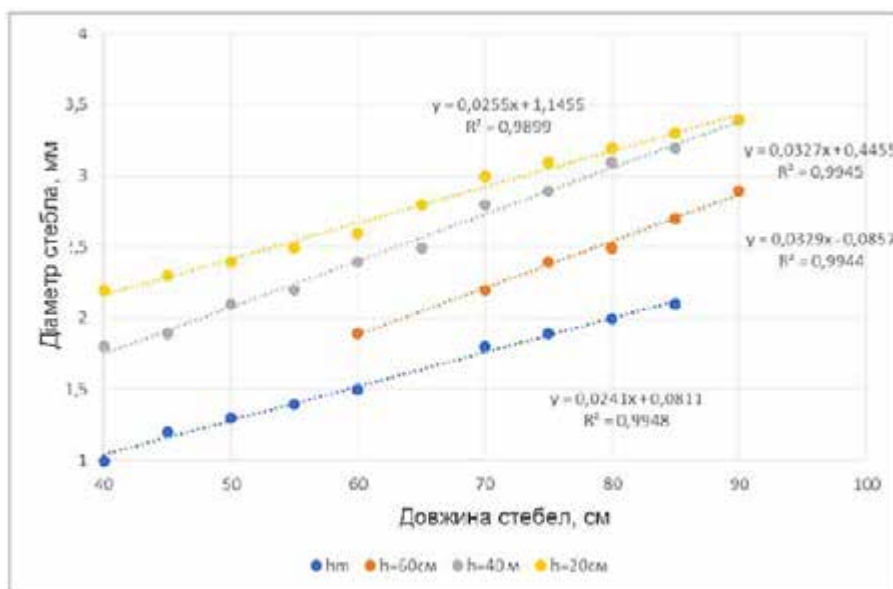


Рис. 4.12 - Залежність діаметра стебла рису від різної довжини стебел

Як видно з графіка, при ширині робочої щілини 2,15 мм надійна й ефективна робота забезпечується за умови, що ширина виступаючого елемента з

пластикату перевищує 6 мм. Для збирання мітелок на сильно засмічених полях ця величина повинна становити не менше 7 мм, тоді як на менш засмічених ділянках її доцільно зменшити.

Теоретичний аналіз показав, що ефективність роботи захватних пальців покращується зі збільшенням радіуса їх вигину. Водночас, з огляду на спрощення технології виготовлення, доцільно використовувати пальці прямої форми. У такому випадку їх довжина визначається за наступним виразом:

$$L = \frac{H_{вих} - h_n}{\sin \alpha}$$

де  $H_{вих}$  -  $h_n$  - найбільша різниця висоти розташування пальців та довжини коротких стебел;

$\alpha$  – кут нахилу пальця.

Для визначення раціональної довжини захватних пальців необхідно встановити оптимальний кут їхнього розташування. При надмірному куті нахилу існує ризик, що волоті, які потрапляють на пальці, можуть зісковзнути й не потрапити до приймальної частини очисного апарата. Натомість при надто малому куті довжина пальців може бути необґрунтовано завищеною. На практиці кут їх встановлення зазвичай не перевищує 17°.

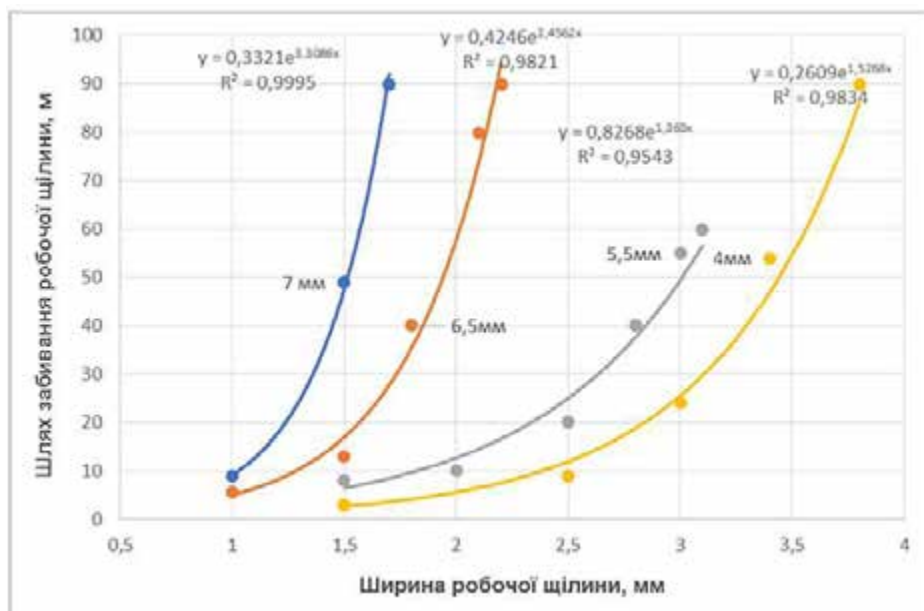


Рис. 4.13 - Залежність шляху забивання робочої щілини від ширини робочої щілини

Величина  $H_{вих} - h_n$  - знайдена за багаторічними даними параметрів

стеблестою, знаходилася з правила трьох сигм, дорівнювала 15,98 см. Звідси довжина пальців, що задовольняє вимогам всіх стеблестоїв, що піддаються аналізу, склала  $L_{max} = 57,7$  см.

## Висновки

1. Вперше в умовах реальної експлуатації проведено порівняльні випробування рисозбиральних комбайнів із класичною та аксіально-роторною молотильними системами під час збирання рису з урожайністю в межах 49,8–59,9 ц/га.

2. Для збирання врожаю на полях у 23 га потрібно два зернозбиральні комбайни Lexion 750; 48 га - два зернозбиральні комбайни Lexion 750 і три «Скіф-250» КЗС-9-2; 79 га - два Case 2388, два John Deere STS 9770 та два Tuscano 580; 105 га - два Tuscano 580 і шість «Скіф-250» КЗС-9-2, а для 126 га - сім рисозбиральних комбайнів «Скіф-250» КЗС-9-2. Такий розподіл техніки забезпечує мінімальне споживання пального. Альтернативні варіанти розподілу агрегатів призводять до вищих витрат палива, що свідчить про оптимальність запропонованого підходу.

4. В умовах рядової експлуатації аксіально-роторні комбайни демонструють наступні показники витрат пального: Tuscano 580 – 20,99 кг/га за годину основного часу та 3,43 кг/т зібраного зерна.

5. Годинні експлуатаційні витрати (у грн/год) для Tuscano 580 становлять 1701,00, що перевищує відповідний показник комбайна «Скіф-250» КЗС-9-2 (1166,81 грн/год). Проте собівартість збирання 1 тонни зерна в Tuscano 580 є найнижчою серед усіх досліджуваних моделей.

6. На підставі результатів експериментальних досліджень та багатофакторного математичного моделювання було обґрунтовано доцільність формування перспективного типу рисозбиральних комбайнів для даного господарства. Оптимальним визнано використання 13 машин п'ятого класу – Tuscano 580.

Таким чином, у разі повної заміни наявного багатомаркового парку комбайнів на 13 одиниць Tuscano 580 очікується не лише максимізація прибутку, а й підвищення зручності експлуатації, стандартизація ремонту та обслуговування, а також можливість створення уніфікованого резерву основних запасних частин.

## 5. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА

Для техніко-економічного обґрунтування оптимального вибору технології збирання рису використано результати випробувань рисозбиральних комбайнів за умов застосування роздільного способу збирання. Експлуатаційно-економічні показники функціонування цих машин представлено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Результати випробувань рисозбиральних комбайнів під час збирання рису роздільним способом

Тип комбайна	Намолот за час випробування, цн	Напрацювання за час випробування, га	Витрати палива, л	
			за час випробування	на 1 ц, всього
CASE 2388	7332,78	127	5060	0,8
John Deere STS 9770	15459	267	9850	0,7
TUCANO 580	19882.52	339	8790	0,5
«Скіф-250» КЗС-9-2	9289.41	162	4660	0,6
LEXION 750	21394,71	368	10207	0,6

Таблиця 5.2 – Експлуатаційно-економічні показники рисозбиральних комбайнів

Найменування показників	Марки комбайнів				
	CASE 2388	John Deere STS 9770	TUCANO 580	«Скіф-250» КЗС-9-2	LEXION 750
1	2	3	4	5	6
Ціна комбайна/очисної жнивarki, грн.	3240000	5739395	4699377	1347960	5815384
	972000	972000	972000	972000	972000
Обслуговуючий персонал	1	1	1	1	1
Продуктивність за 1 год основного часу, га/т	0,86/4,6	1,16/6,26	1,36/7,89	0,65/3,85	1,45/8,34
- З очісуюч. жнивarkою	1.16/6.16	1,59/8,77	1.9/12.12	0,8/5,33	1,99/12,5
Фактично відпрацьований час, дні	18	26	26	26	27
- З очісуюч. жнивarkою	13	18	18	18	17
Витрата палива за годину основного часу, кг/год,	24,7	32,6	29,14	15,4	32,72
- З очісуюч. жнивarkою	21	27,7	24,76	13	27,8
Витрати, грн./год					
-амортизаційні відрахування комбайна /чесані жатки	491	1064	1317	167	1912
	10,57	7,12	5,57	11,79	4,84
-зарплата	157,06	224,53	287,39	240,98	299,86
- З очісуюч. жнивarkою	110,86	152,68	195,42	163,86	184,53
-ремонт та технічне обслуговування	803,28	545,13	91,77	399,57	54,68

Продовження таблиці 5.2

1	2	3	4	5	6
-дизельне паливо	217,40	286,90	255,96	120,53	287,39
- З очісуюч. жнивркою	153,45	195,09	174,05	81,96	176,85
-Охорона середовища	4,17	3,90	3,73	5,31	3,71
Часові експлуатаційні витрати, грн./год	1672,67	2124,54	1955,77	932,99	2557,78
- З очісуюч. жнивркою	1082,34	903,92	470,53	662,49	424,60
Собівартість збирання , грн./га	2260,37	2004,29	1448,71	1457,80	1814,00
- З очісуюч. жнивркою	1040,70	606,66	247,64	736,10	214,44
Собівартість збирання , грн./т	388,99	344,82	248,04	250,80	310,78
- З очісуюч. жнивркою	178,61	104,13	42,35	140,47	36,60

З розрахунків видно, що запропонована технологія збирання дає можливість зниження собівартості та годинних експлуатаційних витрат збирання рису в Одеській області.

## ВИСНОВОК

1. У зв'язку з тенденцією до зростання врожайності рису в Одеській області актуалізується проблема оновлення машинно-тракторного парку новими, більш ефективними та продуктивними рисозбиральними комбайнами.

2. Встановлено, що на формування структури комбайнового парку суттєво впливають регіональні природно-виробничі умови. Ефективність експлуатації рисозбиральних комбайнів залежить від їх функціональних характеристик та адаптивності до конкретних умов господарювання.

3. Значна різномарочність імпортової техніки, що закуповується, створює труднощі в організації сервісного обслуговування та забезпеченні необхідною кількістю запасних частин.

4. Дослідження показали, що застосування технологій прямого та роздільного комбайнування не забезпечує збирання рису без втрат. Сукупні втрати, з урахуванням пошкодження зерна, можуть досягати 20–25%. Це вказує на необхідність впровадження технології очісу рослин на корені, яка дозволить підвищити продуктивність техніки при збиранні рису.

5. Побудовано економіко-математичну модель, яка дозволяє визначити необхідну кількість комбайнів кожної моделі залежно від площі збирання та середньосезонної продуктивності машин.

6. Розроблено математичну модель оптимального вибору моделі комбайна на основі порівняльного аналізу техніко-економічних показників.

7. Вперше в умовах реальної експлуатації проведено порівняльні випробування рисозбиральних комбайнів із класичною барабанною та аксіально-роторною молотильними системами на посівах рису з урожайністю 49,7–59,5 ц/га.

8. Для збирання врожаю на полях площею 23 га потрібно два зернозбиральні комбайни Lexion 750; 48 га - два зернозбиральні комбайни Lexion 750 і три «Скіф-250» КЗС-9-2; 79 га - два Case 2388, два John Deere STS 9770 та два Tuscano580; 105 га - два Tuscano 580 і шість «Скіф-250» КЗС-9-2, а для 126 га - сім рисозбиральних комбайнів «Скіф-250» КЗС-9-2. При такому розподілі

рисозбиральних комбайнів з робіт витрата палива буде мінімальною..

9. Альтернативні варіанти розподілу техніки призводять до зростання витрат пального, тому запропонований розподіл визнано оптимальним.

10. Аксиально-роторні комбайни, зокрема Tusano 580, у порівнянні з класичними, демонструють удвічі вищу продуктивність за масою зерна – до 19,5 т/год.

11. У звичайних умовах експлуатації витрати пального на 1 га становлять 20,99 кг, а на 1 т зерна – 3,43 кг (для Tusano 580).

12. Хоча годинні експлуатаційні витрати Tusano 580 (1701,00 грн/год) вищі, ніж у «Скіф-250» КЗС-9-2 (1166,81 грн/год), собівартість збирання однієї тонни зерна у Tusano 580 є найнижчою серед усіх моделей, що брали участь у випробуваннях.

13. На основі результатів експериментів і моделювання обґрунтовано доцільність формування парку з 13 комбайнів Tusano 580 (клас 5) для господарства, в якому проводились дослідження.

14. У разі повної заміни багатомарочного парку на 13 машин Tusano 580 досягається максимальний прибуток, підвищується зручність експлуатації та ремонту, а також спрощується логістика запасних частин і сервісу.

15. Встановлено, що потік стебел, які надходять у робочу щілину, підпорядковується закону Пуассона. Це дозволяє, з позицій теорії масового обслуговування, обґрунтувати кількість робочих щілин на одиницю ширини захвату. Оптимально – 53 робочі щілини на 1 метр ширини захвату.

16. Запропонована технологія збирання рису сприяє зниженню собівартості виробництва та зменшенню годинних експлуатаційних витрат у господарствах Одеської області.

17. Побудована модель прогнозування прибутку на основі експериментальних даних та математичного моделювання дозволяє ефективно планувати збиральні роботи на перспективу та вибирати оптимальну технологію збирання рису відповідно до умов регіону.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вирощування рису в умовах України. Поради науковців – SuperAgronom.com
2. Ванцовський А.А. Вожегова Р.А. Рис – технічні умови ДСТУ. – Київ. – 2005.
3. Ванцовський А.А. Культура рису на Україні. Монографія. – Херсон: Айлант. – 2004
4. Вожегова Р.А., Судін В.М., Петкевич З.З. Національна колекція рису України. Херсон: Айлант, 2004.
5. Одеська область – Енциклопедія Сучасної України <https://esu.com.ua/article-75193>
6. Природоохоронне нормоване водокористування при вирощуванні рису: [монографія] / В.В. Морозов, В.В. Дудченко, В.Г. Корнбергер ; НААН України, Ін-т рису, Херсон. держ. аграр. ун-т. - Херсон: ХДУ, 2010. - 248 с.: рис., табл. - Бібліогр.: с. 232-247.
7. <https://www.techsystemskft.com/uk/shelbourn>
8. Рис в Україні: [монографія] / [Бежук В.М. та ін.]; за наук. ред.: Сташука В.А. - д-ра техн. наук, проф., чл.-кор. НААН України, Рокочинського А.М. - д-ра техн. наук, проф., Грановської Л.М. - д-ра екон. наук, проф.; Нац. акад. аграр. наук України [та ін.]. - Київ; Рівне; Херсон: Грінь Д. С., 2014. - 975 с.: рис., табл. - Бібліогр. в кінці розд. - 300 прим. - ISBN 978-617-7243-12-9
9. Рис Придунав'я: колект. монографія / [Ващик С.М. та ін.]; за наук. ред. Сташука В.А., д-ра техн. наук, проф., чл.-кор. НААН України [та ін.]; [упоряд.: Мендусь С.П., Приходько Н.В.]; Нац. ун-т вод. госп-ва та природокористування. - Київ; Рівне; Херсон: Грінь Д.С. [вид.], 2016. - 619 с.: рис., табл. - Бібліогр. в кінці розд. - 300 прим. - ISBN 978-966-930-122-2
10. Технологія вирощування рису на краплинному зрошенні в Україні / [В. В. Дудченко та ін.]; Нац. акад. аграр. наук України, Ін-т рису, Нетафім ЛТД. - Херсон : Грінь Д.С. [вид.], 2016. - 30 с.: рис., табл. - Бібліогр.: с. 29-30. - 300 прим. - ISBN 978-966-930-116-1

11. Культура рис. Особливості вирощування, догляд, зберігання, обробіток ґрунту, захист від шкідників | ІАС "Аграрії разом". <https://agrarii-razom.com.ua/culture/ris>
12. Де є рис в Україні? - Ukraïner. <https://www.ukraïner.net/rysivnytstvo/>
13. "Біле золото" півдня. Де і як вирощують рис в Україні - Економічна правда <https://epravda.com.ua/publications/2021/10/22/678949/>
14. [https://vukladach.pp.ua/MyWeb/manual/agronomija/tehn\\_vur\\_prod\\_rosl\\_I\\_chast\\_una/2\\_15/2\\_15.htm](https://vukladach.pp.ua/MyWeb/manual/agronomija/tehn_vur_prod_rosl_I_chast_una/2_15/2_15.htm)
15. Комплексна механізація виробництва зерна: Навчальний посібник / В.Д.Гречкосій, М.Я.Дмитришак, Р.В.Шатров та ін.. За ред. В.Д.Гречкосія, М.Я.Дмитришака. – Київ: ТОВ «Нілан–ЛТД», 2012. – 288 с.
16. Демко О.А. Обґрунтування техніко–технологічної ефективності використання зернозбиральних комбайнів // Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук / 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва . – 2016 – 260с.
17. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Степу України / Редкол.: М.В.Зубець, В.П.Ситник, В.О.Круть та ін.. – К.: Аграрна наука, 2004. – 844 с.
18. Оптимізація комплексів машин і структури машинного парку та планування технічного сервісу / Мельник І.І., Гречкосій В.Д., Бондар С.М. [та ін.]. – К.: Видавничий центр НАУ, 2004. – 151с.
19. Іванишин В.В. Організаційно-економічні засади відтворення ефективного використання технічного потенціалу аграрного виробництва: монографія / Іванишин В.В. – К.: ННЦ ІАЕ, 2011. – 350с.
20. Наукові основи ведення зернового господарства /В.Ф. Сайко, М.Г. Лобас та ін.: За ред. В.Ф.Сайка. – К.: Урожай, 1994. – 336 с.
21. Рослинництво: підручник / С.М. Каленська, О.Я. Шевчук, М.Я. Дмитришак; за ред. О. Я. Шевчука. - К.: НАУ, 2005. - 502 с.

22. Танчик С.П., Дмитришак М.Я., Мокрієнко В.А. Технології виробництва продукції рослинництва. Підручник. – К.: Видавничий дім «Слово», 2012. – 735 с.
23. Раціональні сівозміни в сучасному землеробстві: навч. посіб. / І.Д. Примаєк, В.Г. Рошко, Г.І. Демидась та ін.; за ред. І.Д. Примаєк. - Біла Церква: БДАУ, 2003. - 384 с.
24. Саблук П.Т. Технології вирощування зернових і технічних культур в умовах Лісостепу України / За ред. П.Т.Саблука, Д.І. Мазоренка, Г.Є.Мазнева. – 2-е вид., доп. – К.: ННЦ ІАЕ, 2008. – 720 с.
25. Наукове забезпечення сталого розвитку сільського господарства в Поліссі України, Том 2., Кабінет Міністрів України, Національний аграрний університет. – К.: «Алефа», 2004. – 852с.
26. Машини для збирання зернових та технічних культур: посібник для підготовки фахівців із напр. «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва» в аграр. вищ. навч. закл. II-IV рівнів акредитації / [Ю.Ф.Мельник, Ю.Я.Лузан, Б.К.Супіханов та ін.]; за ред. В.І.Кравчука, Ю.Ф.Мельника. – Дослідницьке, 2009. – 296с.
27. Демко С.А. Визначення впливу терміну використання зернозбиральних комбайнів на їх техніко-експлуатаційні характеристики: автореферат дисертаційної роботи на здобуття кандидата технічних наук: 05.05.11 / Демко С.А./; Київ. Національний аграрний університет. - К., 2007. - 20 с.
28. Демидко М.О. Визначення впливу техніко-експлуатаційних показників і характеристик на продуктивність зернозбиральних комбайнів /М.О. Демидко, С.А.Демко// Науковий вісник Національного аграрного університету. - 2004. - Вип.73. - С.198 -206.
29. Випробування зернозбиральних комбайнів /Г.А. Удовиченко/. Полтавський інститут АПВ ім. Вавілова// Вісн. Полт.держ. аграр. акад. -2007. - Вип.3. - С. 133 -137.

30. Войтюк В.Д. Визначення коефіцієнта відновлення ресурсу агрегатів /В.Д. Войтюк, А.А. Демко, О.В. Надточій, С.А. Демко// Науковий вісник Національного аграрного університету. - К., 2003. - Вип.60. - С. 273 -280.
31. Войтюк В.Д. Визначення експлуатаційного показника технічного стану зернозбиральних комбайнів /В.Д.Войтюк, А.А.Демко, О.В.Надточій// Науковий вісник Національного аграрного університету. - К., 2005. - Вип. 80. ч.1. - С. 171 - 177.
32. Войтюк В.Д. Вплив технічного стану зернозбиральних комбайнів на їх продуктивність /В.Д. Войтюк, А.А. Демко, О.В. Надточій, С.А. Демко// Науковий вісник Національного аграрного університету. - К., 2003. - Вип.60. - С. 128 -133.
33. Стружкін І.М. Підвищення ефективності використання зернозбиральних комбайнів // Техніка сільському господарстві. - 2008. - №2. - С. 39 - 41. - 2009. - №4. - С. 42 -43.
34. Стружкін Н.І. Динаміка математичних моделей до розрахунку параметрів зернозбиральних комбайнів //Н.І. Стружкін, Е.В. Жалнін, В.Я. Гольпянин// Техніка сільському господарстві. - 2005. - №6. - С. 31 - 34.
35. Бойко А. І. Сучасні підходи до вирішення проблем забезпечення надійності складної сільськогосподарської техніки / А. І. Бойко, М. М. Мороз, К. М. Думенко // Вісник Харківського Національного технічного університету ім. П.М. Василенка. – Х. 2010. Вип 100: Проблеми надійності машин та засобів с.г. виробництва. – С. 12-16.
36. Войтюк В.Д. Вплив строків експлуатації на модель зміни працездатності комбайнів /В.Д. Войтюк, А.А. Демко, С.А. Демко// Техніка АПК. - 2005. -№8. - С.14 -18.
37. Войтюк В.Д., Шатров Р.В., Опалко В.Г. Проектування і розрахунок технологічних систем. К. НУБіП України. 2020. 326 с.
38. Мельник І.І., Бабій В.П. та ін. Оптимізація управління. машинно-тракторним парком. К. НАУ, 2000 –238с.

39. Мельник І.І., Бабій В.П. та ін. Сітьове планування механізованих сільськогосподарських робіт. К.НАУ, 2000 –222с.
40. Нагірний Ю. П. Аналіз технологічних систем і обґрунтування рішень / Ю. П. Нагірний, І. М. Бендера, С. Ф. Вольвак // За ред. Ю. П. Нагірного. – Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О.В., 2013. – 264 с.
41. Аналіз технологічних систем і обґрунтування рішень. Практикум : навч. пос. / [Ю. П. Нагірний, І. М. Бендера, С. Ф. Вольвак та ін.]. – Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О. В., 2013. – 240 с.
42. Павліський В. М. Проектування технологічних систем рослинництва: навч. посіб. / В. М. Павліський, Ю. П. Нагірний, І. І. Мельник – Тернопіль : Збруч, 2003. – 264 с.
43. Типові задачі машиновикористання в землеробстві: навч. посіб. / [Ю. П. Нагірний, Б. І. Затхей, П.В. Шолудько та ін.] За ред. Ю. П. Нагірного. – Львів : ЛДАУ, 2001. – 180 с.
44. Мельник І.І, Демидко М.О., Фришев С.Г. та ін. Планування ефективного використання техніки: Навчальний посібник.- Ніжин. Тов “Видавництво Аспект-поліграф”. 2005. 80с.
45. Камінський В.Ф., Сайко В.Ф., Шевченко І.П. та ін. Сучасні системи землеробства і технології вирощування сільськогосподарських культур. К.: ВП «Едельвейс», 2022. 196 с.
46. Веремєєнко С.І., Трушева С.С. Біологічні системи землеробства: Навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2021. 196 с.
47. Технічний сервіс в АПК: Навчально-методичний комплекс: Навч. посібник для студентів інжен. спец. на осв.-кваліф. рівні «Бакалавр» напряму ПМО АПВ / С.М. Грушецький, І.М. Бендера, С.В. Кюрчев, О.М. Шокарев та ін. - Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин Я.І. «Абетка», 2014. - 680 с.
48. Нормативи часу на розробку нормативних матеріалів з праці. - К.: 1998. - 38 с.
49. Бобчук М. Технічне переоснащення сільського господарства України / М. Бобчук, С. Коваль, В. Погорілий // Техніка АПК. - 2004. - №9. - С. 14-16.

50. Погорілий Л.В. Напрямки розвитку технології збирання врожаю зернових і переоснащення сільського господарства новою зернозбиральною технікою / Л.В. Погорілий, С.М. Коваль, М.І. Грицишин // Зб. наук. пр. НАУ «Механізація сільськогосподарського виробництва». - К., 2000. - Т .5. - С. 5-9
51. Сидорчук О.В. Наукові основи інженерного менеджменту технічного сервісу рільництва: Монографія / О.В. Сидорчук, С.Р. Сенчук, О.В. Кухарук. - Львів: ЛДАУ, 2001, - 172 с.
52. Жалнін, Е. В. Альтернативні технології збирання зернових / Е.В.Жалнін // Сільський механізатор. – 2010, №9. – С. 12-17.
53. Жалнін, Е. В. До розрахунку типорозмірного ряду зернозбиральних комбайнів / Е. В. Жалнін, М. Ш. Жилкібаєв, В. С. П'янов // Трактори та сільгоспмашини. -2009 №7. -С. 7-11.
54. Садиков Ж.С., Караіванов Д.П., Туримбетова Г.Д. Застосування математичних методів при обґрунтуванні вибору моделі рисозбирального комбайна. International Scientific Conference Industry 4.0. Volume 1/1. 2017, Borovets, Bulgaria. pp. 199-203.
55. Садиков Ж.С., Караіванов Д.П., Туримбетова Г.Д. Математичне моделювання оптимального використання рисозбиральних комбайнів у Одеської області. International Scientific Conference Mathematical Modeling. Volume 1/1. 13 - 16 December, 2017, Borovets, Bulgaria. pp. 117-121.
56. П'янов, В.С. Про роботу комбайнів за умов великотоварного виробництва зерна /В.С. П'янов// Техніка в сільському господарстві. 2010 №3.