

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
“ ” 2025 р.
Зав. кафедри Д.Т.Н., професор
(науковий ступінь, вчене звання)
В.В. Дідур
(підпис) (ініціали, прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА (дипломний проект)

магістр
(назва освітнього ступеня)

тема роботи **«Обґрунтування параметрів багато барабанного молотильно-сепаруючого пристрою»**

Виконав: студент 2курсу, групи 22м-ім
освітньої програми магістр
спеціальності 208 «Агроінженерія»
Ткачук О.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник доктор філософії, доцент Шевчук М.В.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2025 рік

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АКТУАЛЬНИЙ СТАН І НАПРЯМИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМИ	8
1.1. Технологічна сутність обмолоту та агротехнічні умови його ефективного виконання	8
1.2. Огляд конструкції молотильно-сепарувальних систем зернозбиральних комбайнів та їх функціональний аналіз	13
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ МОЛОТИЛЬНО-СЕПАРУЮЧИХ СИСТЕМ	20
2.1. Модель функціонування молотильно-сепаруючого пристрою при обмолоті та сепарації хлібної маси	20
2.2. Методика проведення експериментальних випробувань молотильно-сепаруючого пристрою	23
2.3. Залежність якісних показників обмолоту та сепарації зерна пшениці від параметрів роботи молотильно-сепаруючої системи.....	29
2.4. Дослідження впливу подачі хлібної маси в молотильний апарат комбайна МСП на інтенсивність сепарації зерна через підбарабання під час збирання пшениці.....	30
2.5. Висновки за розділом.....	38
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ	40
3.1. Вимоги охорони праці при виконанні робіт із збирання зернових культур	40
3.2. Техніка безпеки при збиранні зернових культур.....	42
3.3. Висновки за розділом.....	43
РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	44
4.1 Основні дані для проведення економічного аналізу	44
4.2. Вплив використання багатобарабанного МСП на економічні показники виробництва	45
4.3. Висновки за розділом.....	47
ВИСНОВКИ.....	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	50

РЕФЕРАТ

Ткачук О.А. Обґрунтування параметрів багато барабанного молотильно-сепарувального пристрою (Дипломний проект, Уманський національний університет, 2025: пояснювальна записка на 52 сторінках, у т.ч. 4 розділи, 16 рисунків, 5 таблиці, 24 найменувань літератури).

Дипломний проект присвячено проблемі вдосконалення процесу обмолочування та відокремлення зерна від решти маси у молотильно-сепарувальному пристрої. Досліджено механізм впливу бичів молотильних барабанів на зерносоломисту суміш, робочі режими та вплив характеристик барабанів на якість обмолочування і сепарації зерна в молотильно-сепарувальному пристрої.

Мета дослідження полягає у підвищенні продуктивності та вдосконаленні технологічних процесів обмолоту та сепарації зернової маси в зернозбиральних комбайнах шляхом розробки та вивчення покращеної багатобарабанної системи обмолоту-сепарації МСП з оптимальними конструктивними та технологічними характеристиками.

Об'єктом дослідження є технологічний процес обмолочування та відокремлення зерна багатобарабаним молотильно-сепаруючим пристроєм, включаючи його характеристики та робочі режими.

Предмет дослідження: узагальнені закономірності впливу структурно-технологічних параметрів молотильно-сепаруючого пристрою на дієвість обмолоту та сепарації зерна.

Ключові слова: БАРАБАНИ МОЛОТИЛЬНІ АПАРАТИ, АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ, МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ, ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИЙ КОМБАЙН, МОЛОТИЛЬНО-СЕПАРУЮЧИЙ ПРИСТРІЙ, ПАРАМЕТРИ ФУНКЦІОНУВАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ОБМОЛОТУ, РЕЖИМИ РОБОТИ.

ВСТУП

Розвиток вітчизняного комбайнобудування виступає одним із ключових стратегічних напрямів технічної політики держави, спрямованої на забезпечення стабільного та ефективного виробництва зерна. В умовах зростання масштабів сільськогосподарського виробництва та необхідності підвищення його ефективності саме створення і вдосконалення сучасних зернозбиральних машин має вирішальне значення.

Одним із найважливіших вузлів зернозбиральних комбайнів є молотильно-сепаруючі пристрої (МСП), від конструкції та параметрів яких значною мірою залежить продуктивність машини, якість обмолоту та рівень втрат зерна. Ці пристрої визначають не лише ефективність процесу відділення зерна від колосся, а й ступінь пошкодження зернової маси, рівномірність її подачі та стабільність роботи комбайна в цілому.

Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності збирання зернових культур є диференціація процесів обмолоту зернової маси, що дає змогу оптимізувати режими роботи МСП відповідно до стану та властивостей урожаю. Такий підхід дозволяє істотно знизити енерговитрати, підвищити пропускну здатність комбайна та забезпечити зменшення втрат зерна під час роботи. Реалізація цих завдань потребує постійного вдосконалення конструкцій молотильно-сепаруючих систем, впровадження нових технічних рішень і використання сучасних матеріалів.

Особливістю роботи МСП є складний характер процесів, що в них відбуваються. Зернова маса, яка надходить у молотильний апарат, характеризується різноманітними фізико-механічними властивостями — вологістю, засміченістю, міцністю зв'язку зерна з колосом тощо. Зміна цих властивостей зумовлює значну варіативність умов роботи системи. Фізичні процеси, що протікають у молотильно-сепаруючому пристрої, мають статистичний і нелінійний характер, супроводжуються ударними взаємодіями, виникненням сил тертя, випадковими коливаннями та

неоднорідними силовими навантаженнями. Усе це створює складне динамічне середовище, в якому забезпечення стабільної та якісної роботи потребує глибоких наукових досліджень і оптимізації конструктивно-технологічних параметрів МСП.

Таким чином, підвищення ефективності молотильно-сепаруючих пристроїв зернозбиральних комбайнів є одним із основних напрямів розвитку вітчизняного комбайнобудування, що безпосередньо впливає на конкурентоспроможність української аграрної техніки та рівень продовольчої безпеки країни.

РОЗДІЛ 1

АКТУАЛЬНИЙ СТАН І НАПРЯМИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМИ

1.1. Технологічна сутність обмолоту та агротехнічні умови його ефективного виконання

Обмолот є одним із ключових етапів технологічного процесу збирання зернових культур, від якого значною мірою залежать якість та кількість отриманого урожаю. Технологічна сутність обмолоту полягає у відокремленні зерна від колосу або стручка шляхом руйнування, стирання або ударного впливу на хлібну масу робочими органами молотильно-сепарувального апарата. Основною метою цього процесу є забезпечення повного звільнення зерна від рослинних оболонок при мінімальних його втратах та травмуванні.

У процесі обмолоту відбуваються такі основні технологічні операції: подача хлібної маси до молотильної камери, захоплення та прискорення її робочими органами барабана, ударно-тертєва дія бичів і переміщення маси вздовж деки, руйнування колосків, відокремлення зерна від соломистої складової та формування потоку, який передається на подальшу сепарацію. Ефективність обмолоту визначається співвідношенням між силою ударного впливу та механічною міцністю рослинних елементів. При оптимальному поєднанні удару, стиску та тертя досягається високий ступінь вимолоту, знижується частка недомолоту, а пошкодження зерна мінімізуються.

На якість обмолоту істотно впливають агротехнічні умови, що визначають фізико-механічні властивості хлібної маси. Одним із найважливіших чинників є вологість зерна та стеблової частини. Оптимальним вважається рівень вологості 14–18%. За підвищеної вологості зростає міцність колосків, що ускладнює відокремлення зерна та погіршує якість обмолоту. Надто сухі культури, навпаки, призводять до збільшення травмування зерна та утворення дрібних фракцій. Також на процес обмолоту впливають біологічні

особливості культури, такі як міцність стебла, структура колосу, крихкість оболонок та ступінь пружності стеблових елементів.

Важливу роль відіграють і технічні параметри молотильного апарата. Основними регульованими величинами є частота обертання барабана, зазор між барабаном і декою, а також рівномірність подачі хлібної маси. Правильний добір цих параметрів забезпечує оптимальну інтенсивність ударно-тертєвої дії, що дозволяє мінімізувати втрати зерна та зменшити його пошкодження. Перевищення інтенсивності обмолоту призводить до дроблення зерна, тоді як недостатній рівень дії барабана спричиняє збільшення недомолоту.

Крім того, значний вплив на ефективність обмолоту мають умови збирання врожаю. Нерівномірність стояння рослин, наявність бур'янів, підвищена кількість соломистої маси та невідповідна швидкість руху комбайна можуть спричинити перевантаження молотильної системи та погіршення якості сепараційних процесів. Оптимальна швидкість руху комбайна забезпечує рівномірне надходження маси до молотарки та стабільні умови роботи апарата.

Своєчасність початку збирання зернових культур є одним із ключових факторів. Запізніле збирання спричиняє збільшення осипання, нерівномірність вологості маси та ускладнення обмолоту, що знижує загальну ефективність роботи комбайна.

Отже, технологічна сутність обмолоту визначається сукупністю механічних впливів на хлібну масу, спрямованих на повне та якісне відокремлення зерна. Агротехнічні умови забезпечують оптимальний стан рослинної маси для його виконання. Раціональне поєднання цих факторів дає змогу підвищити продуктивність комбайна, зменшити втрати зерна та забезпечити високу якість зібраного урожаю.

При створенні та проектуванні молотильно-сепаруючих пристроїв (МСП) застосовуються різноманітні методи впливу робочих елементів на матеріал з метою вивільнення зерна з колосу. За принципом дії робочих органів МСП на хлібну масу їх можна класифікувати на наступні групи (рис. 1.1):

- пристрої, що використовують інерційні сили для руйнування зв'язку зерна з колосом, волоттю, качаном або кошиком, залежно від виду обмолочуваної сільськогосподарської культури [25].
- пристрої, що застосовують сили адгезії між робочими органами та хлібною масою [85].
- пристрої з комплексною дією робочих органів на матеріал, що поєднують інерційні та адгезійні сили [25].

Аналіз конструкцій МСП, а також їхньої представленості у виробничій сфері, демонструє, що найбільш розповсюдженими є системи обмолоту з комбінованим впливом робочих органів на матеріал. До цього типу систем обмолоту належать МСП барабанного типу.

Функціонування таких пристроїв базується на різниці сил адгезії стебел до робочих елементів барабана та деки, а також сил зчеплення між самими стеблами. Важливим фактором, що впливає на процес обмолоту, є міцність зв'язку зерна з колосом, качаном або бобом. Ця міцність залежить від виду культури, етапу дозрівання, вологості, сорту, розмірів, маси та інших параметрів. Окрім цього, на процес обмолоту суттєво впливає міцність зерна, яка визначається структурою зернівки, ступенем стиглості, вологістю та іншими фізико-механічними характеристиками культури. Отже, під час обмолоту та механічного впливу на хлібну масу необхідно враховувати міцність як зерна, так і стебла рослини, а також міцність зв'язку зерна з колосом.

Ефективність процесів обмолоту та сепарації суттєво залежить від просторової орієнтації рослин при їх надходженні до робочої зони між барабаном і декою. Подання рослин колосовою частиною вперед, у напрямку руху маси, призводить до зменшення рівня недомолоту, але водночас може збільшити ймовірність пошкодження зерна та знизити коефіцієнт сепарації. Ступінь засміченості зернового вороху, що надходить на очищення після молотильно-сепаруючого пристрою (МСП), визначається кутовою швидкістю обертання барабанів, величиною робочих зазорів між барабаном і декою, а

також вологістю оброблюваної рослинної маси.

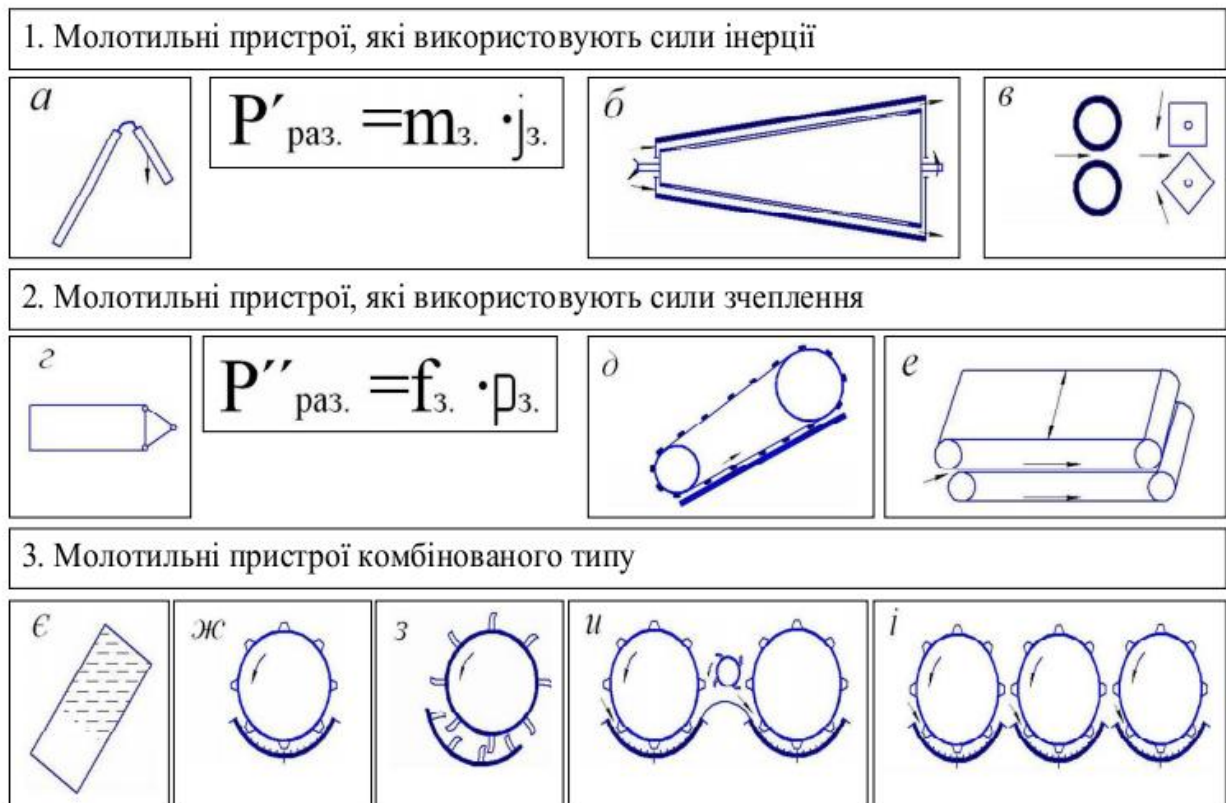


Рис. 1.1. Систематизація пристроїв для обмолочування зерна, класифікованих за принципом механічного впливу на оброблюваний матеріал:

a – цій як примітивний ударний інструмент; *б* – відцентрова молотарка;
в – вібраційно-ударний пристрій для обмолочування; *г* – молотарні сани (вид тягової обмолочувальної установки); *д* – молотарка, розроблена Британським національним інститутом; *е* – вібраційний обмолочувальний пристрій;
є – єгипетська гребінка (стародавній інструмент для обмолочування);
ж – барабан з билами; *з* – барабан із штифтами; *и* – двобарабанна молотарка;
і – трибарабанна молотарка.

На процес обмолоту значний вплив чинять швидкість обертання барабана та інтенсивність ударної дії бичів на хлібну масу. Збільшення швидкості обертання барабана та зменшення зазору між бичами і планками деки сприяють зменшенню недомолоту, однак одночасно підвищують ризик

подрібнення зерна і соломи. Надмірна інтенсивність удару по колосу може призвести до механічного пошкодження зерна. Зокрема, згідно з результатами наукових досліджень [103], сухе зерно виявляє схильність до руйнування при кутовій швидкості барабана 68 рад/с. Для забезпечення якісного обмолоту вологого зерна рекомендується збільшити кутову швидкість барабана до 85 рад/с. [13]

Вплив на обмолот зерна істотно залежить від співвідношення маси зернової частини до маси соломи. Цей показник, що характеризує відношення зерна до соломи, визначається за допомогою коефіцієнта солomистості:

$$\beta = \frac{m_c}{m_z + m_c},$$

де β – коефіцієнт солom'янистості, %;

m_c – маса солom'янистих компонентів рослин, кг;

m_z – маса зерна, кг.

Фізико-механічні характеристики зерна та солomистих компонентів рослин, а також їх пропорційний вміст у загальній масі обмолочуваного матеріалу (який включає полову, зерно, стебла, листя тощо), відіграють ключову роль у процесі обмолоту [19, 23].

Відповідно до встановлених вимог до процесу обмолоту [1 - 2, 17, 32], визначено наступні агротехнічні параметри: забезпечення однорідного зрізу на висоті 5 - 20 см. У процесі збирання пшениці, за умови вологості зерна в межах 13 - 18 %, вологості соломи 10 - 20 % та співвідношення зерна до соломи 1:1, гранично допустимі значення наступних коефіцієнтів: недомолоту зерна – 0,5 %, пошкодження для насіннєвого зерна – 1 %, а для фуражного зерна – 2 %. Рівень чистоти зерна в бункері повинен складати не менше 97 %. При формуванні соломи у валок, його ширина не повинна перевищувати 150 см.

Ефективність функціонування молотильних механізмів оцінюється за допомогою таких показників, як коефіцієнти: недомолоту, сепарації,

подрібнення та вмісту домішок у зерновій масі, що подається на етап очищення.

1.2. Огляд конструкції молотильно-сепарувальних систем зернозбиральних комбайнів та їх функціональний аналіз

Дослідження різноманіття конструктивних рішень барабанних і роторних молотильно-сепаруючих систем має важливе значення для вдосконалення зернозбиральних комбайнів та підвищення ефективності процесу обмолоту. Кожен тип молотильно-сепаруючого пристрою (МСП) відрізняється своєю структурою, принципом дії, кількістю робочих органів та характером взаємодії з обмолочуваною масою, що зумовлює специфіку механіко-технологічних процесів.

Аналіз наявних технічних рішень свідчить, що класифікація МСП може здійснюватися за кількома основними ознаками (рис. 1.2):

1. за типом робочого органу — штифтові (із гнучкими елементами, що зменшують травмування зерна) та бильні (жорсткі елементи, які забезпечують інтенсивніший обмолот, але потребують точнішого налаштування);

2. за кількістю барабанів — однобарабанні, двобарабанні та багатобарабанні системи, де збільшення кількості барабанів дозволяє покращити ступінь сепарації, але водночас ускладнює конструкцію та підвищує енергоспоживання;

3. за схемою переміщення зернової маси в молотильно-сепаруючій системі — тангенціальні (масу подають під кутом до осі обертання барабана), аксіальні (з поздовжнім рухом уздовж осі), а також поперечно зміщені, у яких напрямок руху маси має комбінований або змінний характер.

З урахуванням конструкційно-технологічної схеми процесів обмолоту та сепарації зерна, молотильно-сепаруючі системи зернозбиральних комбайнів доцільно поділяти на три узагальнені типи:

Традиційні (барабанно-клавішні) системи — найпоширеніші конструкції, у яких основний обмолот здійснюється за допомогою бильного барабана та підбарабання, а подальше відділення зерна — на клавішному соломотрясі. Вони відзначаються надійністю, простотою обслуговування та ефективністю роботи в нормальних умовах, але мають обмеження щодо пропускної здатності та рівня втрат при обробці вологих або засмічених культур.

Роторні системи — характеризуються аксіальним рухом маси та тривалішим контактом зернової суміші з робочими органами. Такі системи забезпечують більш рівномірний обмолот, кращу сепарацію зерна, менше пошкодження зернової маси та стабільну роботу навіть за складних умов збирання. Проте вони відзначаються підвищеною енергоємністю і складністю виготовлення.

Комбіновані системи — поєднують переваги барабанних і роторних схем. У них перша стадія обмолоту здійснюється в барабанному вузлі, а остаточна сепарація — у роторному каналі. Це дозволяє підвищити ефективність роботи комбайна, зменшити втрати зерна та покращити якість обмолоту, зберігаючи при цьому помірний рівень енергоспоживання.

Загалом, вибір типу молотильно-сепаруючої системи визначається умовами експлуатації, агротехнічними вимогами, характеристиками зернових культур і прагненням виробників оптимізувати співвідношення між продуктивністю, якістю та енергетичною ефективністю. Подальші дослідження мають бути спрямовані на удосконалення конструкцій МСП шляхом застосування адаптивних систем регулювання, композитних матеріалів і цифрових технологій моніторингу процесів обмолоту.

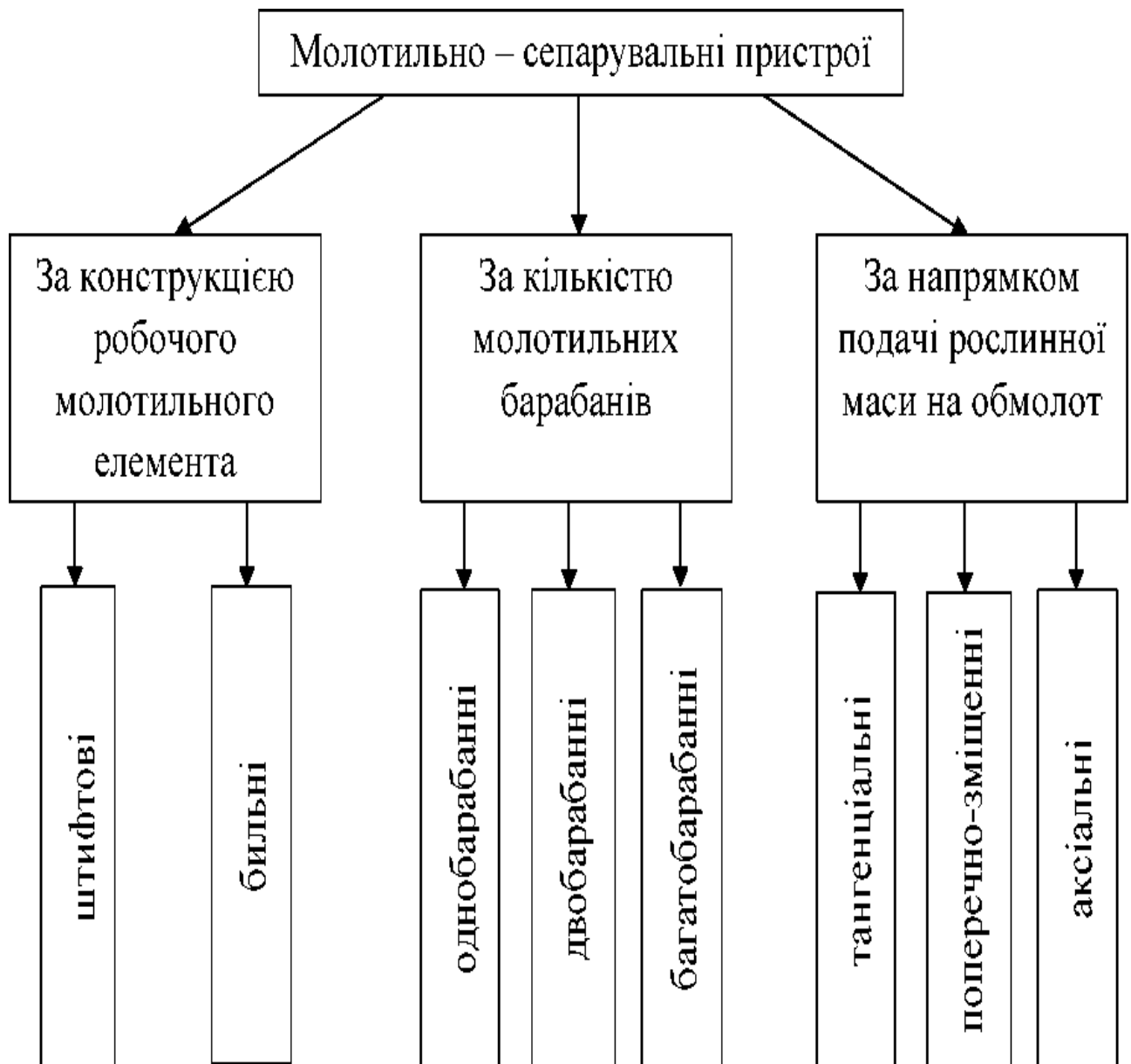


Рис.1.2. Категоризація обмолочувальних механізмів

Тип А (рис. 1.3): конструкція з роторами, розташованими вздовж, де зерносоломиста маса подається в напрямку осі ротора.

Тип Б (рис. 1.3): система приводу ротора, в якій матеріал (зерносоломиста маса) подається під кутом до ротора.

Тип В (рис. 1.3): механізм приводу ротора, що використовує поєднаний спосіб подачі зерносоломистої маси.

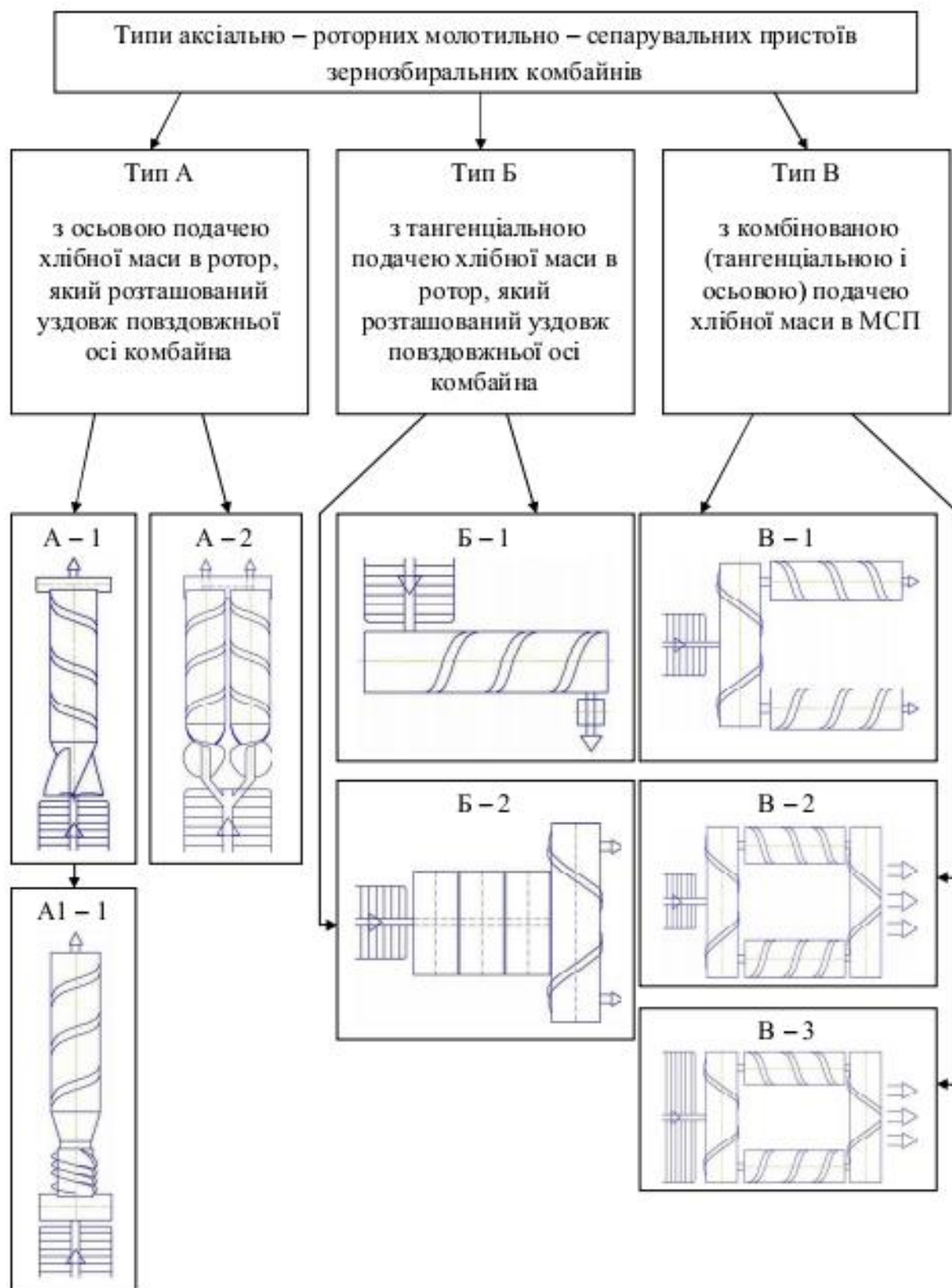


Рис. 1.3. Згальна схема класифікації осьово-роторних МСП

У комбайнах СКД використовували двобарабанні молотильні пристрої. Конструкція модернізованих самохідних причепів (МСП) дозволяла

збирати зерно окремо [3, 25].

У світі існує чимало розробок із використанням декількох барабанів. Ці конструкції націлені на збільшення ефективності молотильних систем, які поєднують барабан і деку, особливо в процесі обмолоту та, що ще важливіше, сепарації. Мета полягає в досягненні майже повного відокремлення зерна від соломи, не вдаючись до додаткових механізмів [3, 6, 12 - 15].

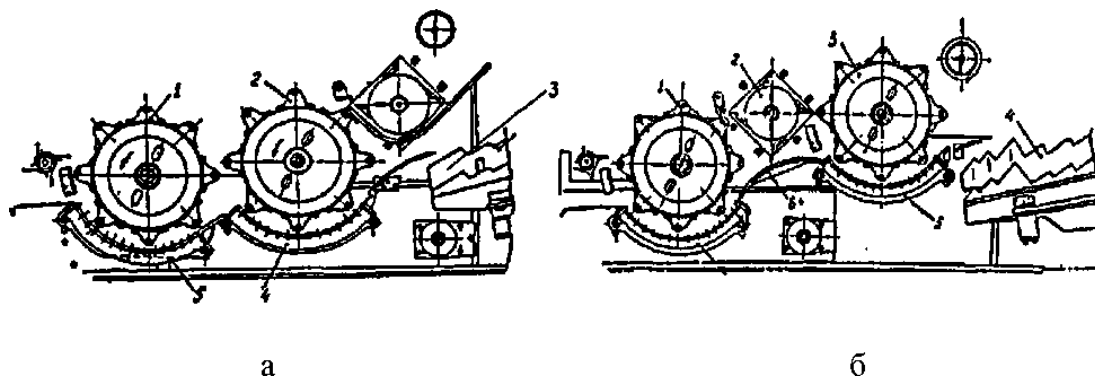


Рис. 1.4. Структурні схеми молотильно-сепаруючих пристроїв комбайнів СКД:

а - зернозбиральний комбайн СКД: 1 - роторний молотильний апарат (перший ступінь); 2 - роторний молотильний апарат (другий ступінь); 3 - клавішний сепаратор соломи; 4, 5 - очисні решета для зерна першої та другої фракцій відповідно; б - Зернозбиральний комбайн СКД - 5: 1 - роторний молотильний апарат (перший ступінь); 2 - проміжний відбивач; 3 - роторний молотильний апарат (другий ступінь); 4 - клавішний сепаратор соломи; 5, 7 - решітні поверхні; 6 - жалюзійна решітка.

Загальний аналіз конструктивних особливостей широко розповсюджених молотильно-сепаруючих систем зернозбиральних комбайнів дозволяє зробити наступні узагальнення:

Найбільш поширеним рішенням у світовій практиці є застосування молотильно-сепаруючих систем барабанного типу. Така конструкція вирізняється відносною простотою, компактністю та надійністю в експлуатації. Проте, слід зазначити наявність певних недоліків, серед яких:

значна швидкість прискорення зерносоломистої маси в межах молотильно-сепаруючого пристрою, що обмежує ефективність повної сепарації зерна. Відсоток виділення зерна через підбарабання становить, як правило, 75-90%.

Застосування молотильно-сепаруючих пристроїв (МСП), у яких реалізовано диференційований принцип обмолоту та сепарації зерна, відкриває нові можливості для підвищення ефективності процесу. Такий підхід дозволяє забезпечити оптимальне регулювання режимів роботи молотильних барабанів — від більш «м'яких» на першому етапі обмолоту до більш інтенсивних на наступних стадіях, що виконуються іншими барабанами або роторами. Подібна технологічна гнучкість сприяє зменшенню енергетичних витрат, підвищенню якості обмолоту, зниженню травмування зерна та загалом покращенню агротехнічних показників роботи комбайна. Це, своєю чергою, формує актуальне науково-практичне завдання — розробку і вдосконалення конструкцій багатобарабаних систем та обґрунтування раціональних режимів їх функціонування.

Результати проведених досліджень свідчать, що диференційований спосіб обмолоту і сепарації зерна є складним процесом, який описується низкою емпіричних залежностей та аналітичних моделей, отриманих шляхом поєднання експериментальних і теоретичних методів. Проте більшість із цих моделей мають локальний характер застосування — вони адекватно описують процес лише в обмеженому діапазоні зміни факторів (швидкість обертання барабана, зазор підбарабання, вологість маси тощо) або для окремих конструктивних вузлів МСП. Це суттєво ускладнює можливість їх узагальнення для практичного використання в умовах варіативного технологічного середовища.

Крім того, існує дефіцит системних досліджень, присвячених роботі багатобарабаних молотильно-сепаруючих систем, у яких процес обмолоту реалізується послідовно на двох і більше робочих органах. Саме такі системи мають значний потенціал для реалізації диференційного принципу, проте в

сучасних наукових розробках питання взаємодії барабанів, узгодження їх режимів і впливу на якість зерна вивчені недостатньо.

Отже, подальший розвиток досліджень у цьому напрямку є необхідним для створення адаптивних багатобарабанних МСП, здатних автоматично регулювати режими обмолоту залежно від властивостей зернової маси, що дозволить забезпечити більш стабільний, енергоефективний і делікатний процес збирання врожаю.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ МОЛОТИЛЬНО-СЕПАРУЮЧИХ СИСТЕМ

2.1. Модель функціонування молотильно-сепаруючого пристрою при обмолоті та сепарації хлібної маси

У сучасних комбайнах для покращення обмолоту та відділення зерна, збільшення продуктивності та забезпечення якісної роботи спостерігається тенденція до використання роторних багатобарабанных систем у молотильно-сепарувальних пристроях.

Вказана задача може бути вирішена, оскільки такі пристрої обмолоту при належному режимі роботи демонструють покращену сепарацію та зменшують навантаження на один з найбільш вразливих до перевантажень елементів комбайна – соломотряс [17].

Для створення моделі процесу обмолоту та сепарації хлібної маси в молотильно-сепаруючому пристрої (МСП), розглянемо принцип його функціонування (рис. 2.1). Під час роботи комбайна, скошені стебла хлібної маси безперервно подаються жаткою в похилий транспортер, а звідти - в робочий простір першого молотильного барабана МСП. Позначимо частку зерна в хлібній масі, що надходить на обмолот і сепарацію в МСП, як Q . У стабільному режимі роботи комбайна, за умови відсутності пристроїв попереднього обмолоту, $Q = 1$.

У процесі обмолочування, значна частина маси N_1 , що утворилася після обмолоту, проходить крізь підбарабання 1 (див. рис. 2.1) і потрапляє на похилу дошку 5, звідки направляється на пневмосепараційний очисний пристрій. Частина зерна Q_2 , яка не була відокремлена першим барабаном, надходить до другого барабана для подальшого обмолочування і розділення. Частина маси N_2 , що утворилася після обмолоту, просівається через підбарабання 2 і також потрапляє на похилу дошку 5. Зерно Q_3 , яке залишилося невимолоченим після

першого і другого барабанів, переміщується до третього барабана для остаточного відокремлення. Продукти обмолоту N , отримані на третьому барабані, просіваються через підбарабання 3 і потрапляють на похилу дошку 5. Після молотильних барабанів соломиста маса з невеликою кількістю зерна $Q_{вз}$ подається в дробарку 4 і розкидається по полю. Суміші N_1 , N_2 та N_3 , які містять вільне зерно, зерно в колосках (недомолот), полову, з'єднуються на похилій дошці 5 і транспортуються на пневмосепараційний очисний пристрій.

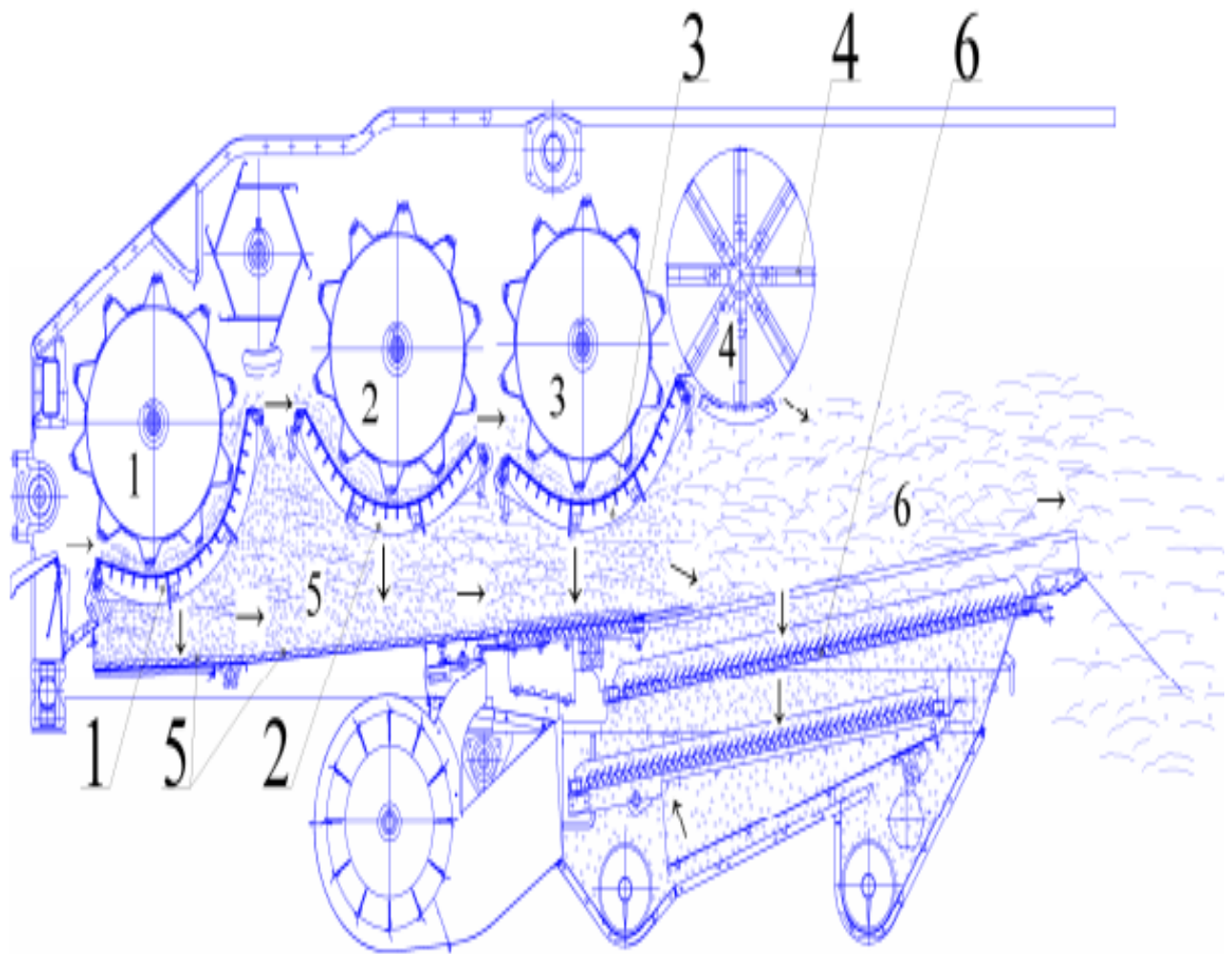


Рис. 2.1. Принцип роботи молотильного пристрою комбайна КЗС

«Славутич» з багатобарабанною системою обмолоту:

1, 2, 3 - молотильні барабани та підбарабання; 4 - подрібнювач;

5 - соломотряс; 6 - повітряно-решітна система очищення.

На рисунку 2.2 представлено детальну схему, яка демонструє внутрішню будову молотарки зернозбирального комбайна КЗС «Славутич».

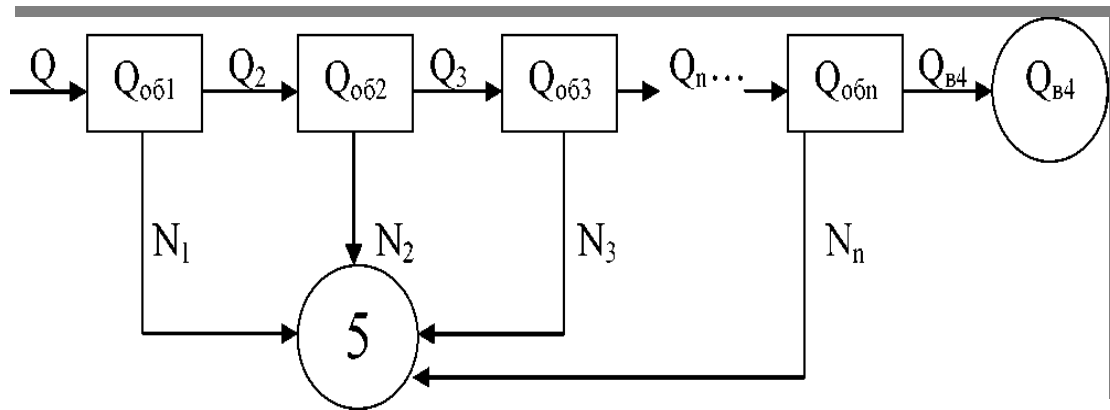


Рис. 2.2. Схема молотильного пристрою комбайна КЗС «Славутич» з багатобарабанною системою сепарації зерна

Процес роботи молотарки можна узагальнено представити наступним чином:

$$Q = Q_{об1} + N_1 - Q_{об2} + N_2 - Q_{об3} + N_3 - \dots - Q_{обn} + N_n,$$

де $Q_{об1}$, $Q_{об2}$, $Q_{об3}$, - кількість зерна, отриманого після обмолоту першим, другим і третім молотильними барабанами, кг;

N_1 , N_2 , N_3 - доля зерна, пропущена через кожен із трьох барабанів сепаратора.

Вплив кутової швидкості молотильного барабана, ударного навантаження, частоти ударів, діаметра барабана на процес виділення зерна з колосу та відповідність цього процесу нормальному закону розподілу встановлено в роботі [20]. З огляду на це, загальну кількість вимолоченого зерна $Q_{об1}$ доцільно визначити на основі наступного рівняння:

$$Q_{об1} = Q e^{-k(V_{\max} - V_{б1})^2}$$

де Q – сумарна маса, яка подається на обмолот (продуктивність по масі), кг/с;

$V_{\max}$ – лінійна швидкість, за якої досягається максимальне виділення зерна ударним впливом, м/с;

$V_{б1}$ – лінійна швидкість першого молотильного барабана, м/с;

k – коефіцієнт, що відображає фізико-механічні характеристики обмолочуваної культури, $\text{с}^2/\text{м}^2$.

2.2. Методика проведення експериментальних випробувань молотильно-сепаруючого пристрою

Для валідації попередньо отриманих теоретичних та емпіричних даних, було проведено експериментальні дослідження в польових умовах. Застосовано методологію, представлену в джерелах [31, 35], відповідно до вимог ГОСТ 28301 - 2015.

Експерименти здійснювалися в аграрному середовищі під час збирання ранніх зернових, бобових та технічних культур. Предметом експериментального вивчення виступала багатобарабанна молотильно-сепаруюча приставка (МСП), інтегрована в зернозбиральний комбайн КЗС-9М1 «Славутич», конструктивно-технологічна схема якої ілюстрована на рисунку 2.3.

У процесі експериментальних досліджень, шляхом корегування параметрів функціонування робочих органів комбайна, забезпечувалися задані режими роботи досліджуваної МСП.

Обсяг надходження матеріалу до МСП варіювався зміною швидкості пересування комбайна в діапазоні 3 - 6 км/год. Інтенсивність подачі матеріалу до МСП знаходилася в межах 3 - 9 кг/с. Відрегулювання робочих щілин між барабанами та деками МСП здійснювалося в наступних діапазонах: на вході – 12 - 24 мм, на виході – 2 - 8 мм. За допомогою зміни положення відповідних приводних та ведених шківів приводу МСП, кутова швидкість обертання барабанів варіювалася в діапазоні 60 - 97 рад/с.

Експериментальна оцінка функціонування малогабаритного самохідного подрібнювача-навантажувача (МСП) комбайна здійснювалася безпосередньо в аграрних умовах під час збирання врожаю ячменю та пшениці багатобарабанным комбайном КЗС-9М-1 «Славутич». Процес вивчення діяльності зернозбиральних комбайнів був реалізований у відповідності до вимог Державного стандарту України (ДСТУ) 28301-2015, зокрема розділу, що регламентує оцінку показників якості роботи комбайна [31].

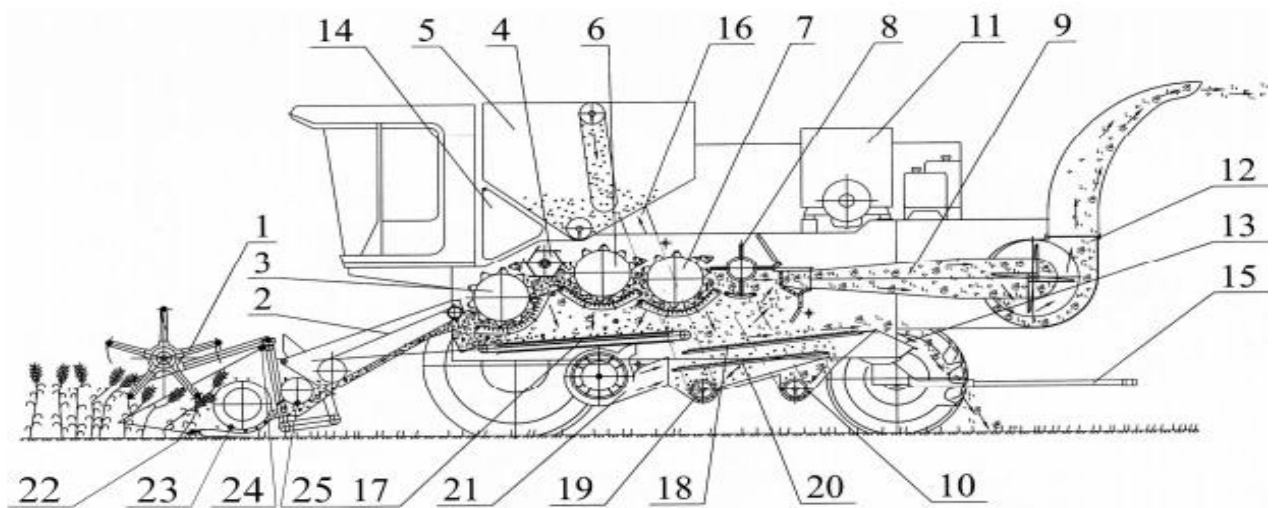


Рис. 2.3. Конструкційно-технологічна схема роботи зернозбирального комбайна:

1- мотовило для підняття і подачі зрізаної маси; 2- похилій транспортер для переміщення зернової маси; 3-перший молотильний барабан для початкового обмолоту; 4-відбійний бітер для рівномірного розподілу маси; 5-бункер для тимчасового накопичення зерна; 6-другий молотильний барабан для додаткового обмолоту; 7-третій молотильний барабан для остаточної сепарації; 8-подрібнювач соломи для її фрагментації; 9-патрубок ексгаустера для видалення легких домішок; 10-колосовий шнек для транспортування зерна; 11-двигун комбайна; 12-вентилятор-ексгаустер для очищення повітря та маси; 13-скатна дошка нчу для спрямування маси; 14-ємність для пального; 15-пристрій для приєднання причепа; 16-зерновий елеватор для переміщення зерна всередині комбайна; 17-стрічковий живильник системи очистки; 18-верхній решітний стан для первинного просіювання; 19-зерновий шнек для транспортування зерна; 20-нижній решітний стан для остаточного очищення; 21-вентилятор очистки зерна; 22-ніж для зрізу маси; 23-транспортувальний бітер для переміщення обмолоченої маси; 24-шарнірне з'єднання жниварки; 25-бітер поставки зерна в систему елеватора

Напередодні проведення експериментальних робіт відповідно до методології, регламентованої ГОСТ 70.8.1 - 81 [32], здійснювалося визначення наступних характеристик агрофону:

- ступінь зрілості культури, виражена у відсотках;
- загальна біологічна продуктивність хлібостою на рівні фактичної висоти зрізу, вимірювана в кілограмах на квадратний метр;
- загальна засміченість хлібостою на рівні фактичної висоти зрізу, виражена у відсотках;
- продуктивність зерна, вимірювана в центнерах на гектар;
- масовий коефіцієнт співвідношення зерна та соломистої маси;
- вміст вологи в зерні та соломистій масі, виражений у відсотках;
- висота стеблостою, вимірювана в метрах.

Загальна біологічна продуктивність хлібостою визначалася шляхом скошування ділянок площею 1 м² у п'яти репрезентативних точках досліджуваного поля, з подальшим зважуванням отриманої маси та обчисленням середнього значення. Загальна засміченість посіву визначалася шляхом розділення рослинної маси на дві окремі фракції: основна культура та бур'янисті рослини. Масовий коефіцієнт співвідношення зерна до рослинної маси визначався після обмолоту відібраних зразків за допомогою лабораторної молотарки та подальшого окремого вимірювання маси зерна та рослинної маси.

Вибір експериментальної ділянки визначався необхідною кількістю запланованих досліджень. Підготовчий етап передбачав демаркацію загального периметру дослідної ділянки та контурів окремих повторень, з обов'язковим виділенням захисних зон шириною не менше 5 – 6 метрів з кожного боку.

Процедура розмітки експериментальної ділянки здійснювалася відповідно до [35]. Після визначення генерального контуру ділянки, її розподіляли на повторності, враховуючи кількість експериментів та їх повторностей.

Корисна площа для кожного окремого дослідження становила не менше 40 м². У ході виконання досліджень регулювали подачу хлібної маси до комбайну шляхом зміни швидкості його пересування. Емпіричним шляхом

встановлювалася залежність між обсягом подачі хлібної маси та швидкістю руху комбайна. Перед обробкою корисної площі комбайном встановлювали необхідні параметри роботи його механізмів і здійснювали прохід з заданим швидкісним режимом.

Методом відсікання, під час обробки комбайном облікової площі, проводився відбір зразків у пробовідбірники, розташовані: під кожухами усіх трьох барабанів, з шнеків колоскового та зернового типу, після вітро-решітної системи очищення, за аспіратором. Тривалість проходження експериментальної ділянки комбайном реєстрували за допомогою секундоміра. Одержаний у кожній дослідній операції матеріал зважували з прецизійністю до 0,001 кг. Експерименти для кожного швидкісного режиму комбайна повторювалися від трьох до п'яти разів.

Згідно з результатами усіх повторень в кожному експерименті, обчислювали середнє арифметичне значення залежності подачі зернової маси в молотильно-сепаруючий пристрій (МСП) від швидкості комбайна. За результатами усіх повторень в кожному експерименті визначали середнє арифметичне значення залежності подачі зернової маси в МСП від швидкості пересування комбайна на обліковій площі.

На другому етапі досліджень встановлювали характеристики якості функціонування МСП, що залежать від обсягу подачі матеріалу в молотарку комбайна, величини робочих проміжків між барабанами та кожухами, кутової швидкості ротації барабанів.

Оцінювання продуктивності молотильно-сепаруючого пристрою (МСП) здійснювалося на основі наступних параметрів:

- питома вага вимолоченого зерна кожним молотильним барабаном;
- питома вага пошкодженого зерна кожним молотильним барабаном;
- відносна кількість просіяного зерна крізь решітки дек кожного з трьох молотильних барабанів;
- відносна кількість травмованого зерна робочими елементами молотарки.

Ефективність вимолочування зерна молотильними барабанами та сепарацію вивільненого зерна по зоні охоплення декою кожного барабана визначали наступним чином. З метою збору вимолоченого зерна, яке просипалося крізь перфоровану поверхню дек, було сконструйовано пробовідбірний пристрій. Напередодні проведення експерименту пробовідбірний пристрій монтувався під деками МСП комбайна (див. рисунок 2.4).

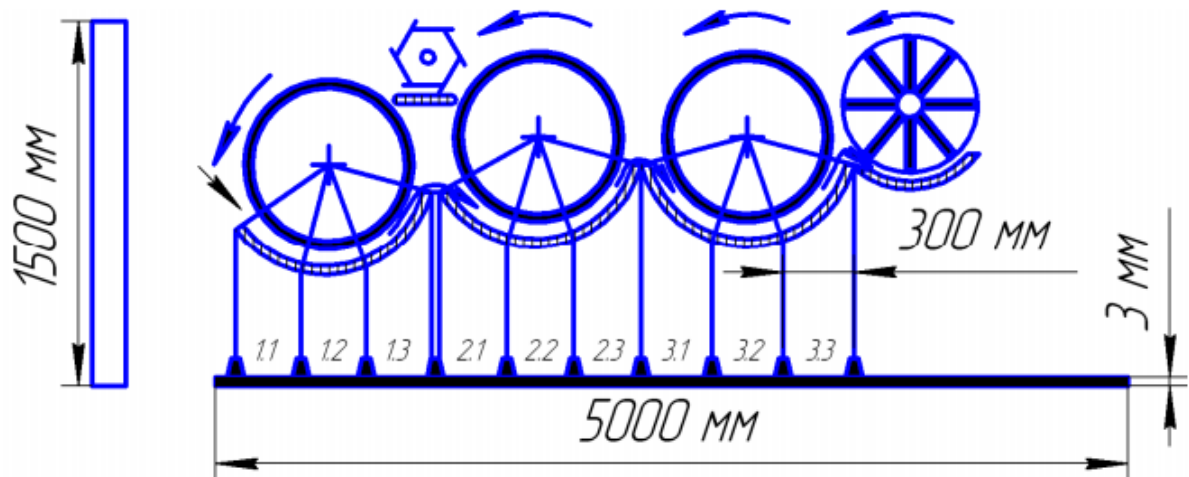


Рис. 2.4. Схематичне розташування та габаритні характеристики пристрою для відбору зразків



Рис. 2.5. Схематичне зображення пробовідбірника, розташованого під поверхнями сит механічної сортувальної платформи

Для здійснення досліджень щодо інтенсивності процесу розділення зерна через решітчасту поверхню дека, вся експериментальна ділянка поля була розділена на окремі сектори відповідно до схеми, представленій на рис. 2.6.

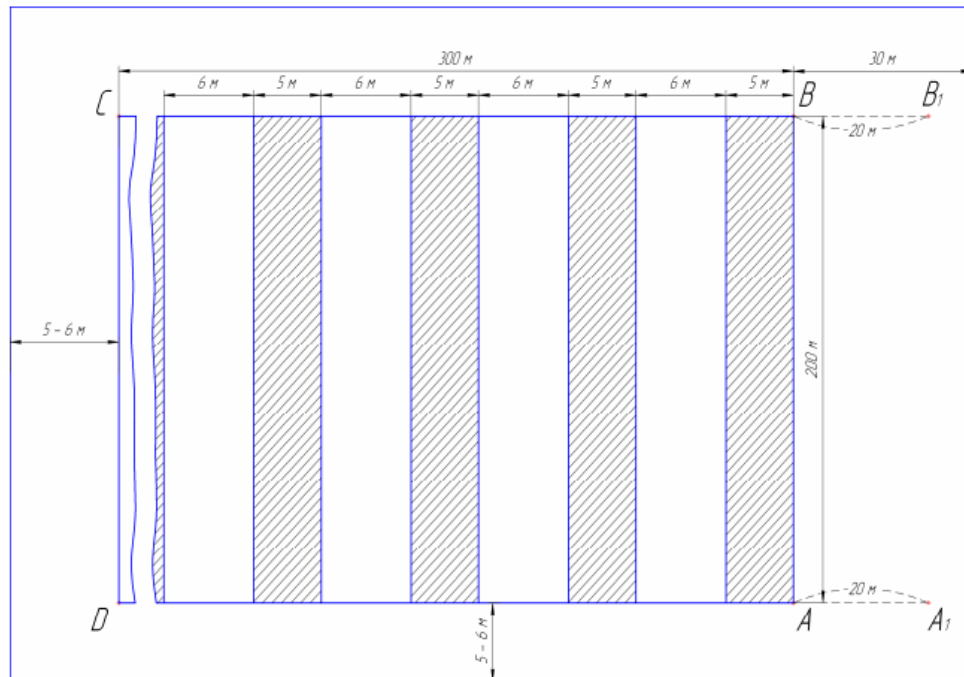
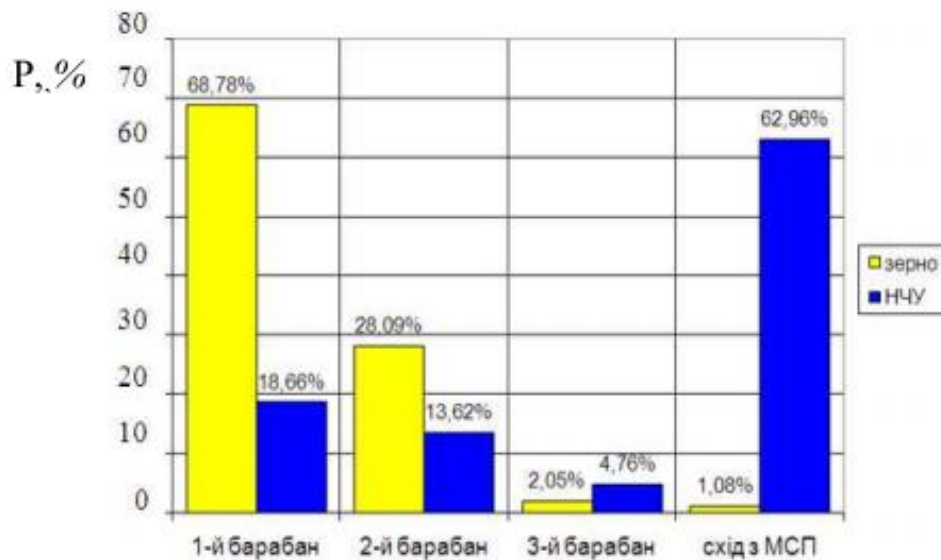


Рис. 2.6. План розподілу експериментальної ділянки поля, призначеного для здійснення досліджень

Під час збирання врожаю на дослідній ділянці зернозбиральний комбайн здійснював попередні проходи, формуючи покоси, між якими залишалися ділянки з нескошеними стеблами пшениці. Ці покоси використовувалися для забезпечення розгону комбайна та переходу з режиму обмолоту після обробки нескошеної смуги. Подальше скошування ділянок з нескошеними стеблами пшениці виконувалося комбайном шляхом руху в напрямку, перпендикулярному до нескошеної частини поля. Відповідно до плану наукових досліджень, попередньо визначалися оптимальні параметри роботи молотильно-сепаруючого пристрою (МСП). Здійснювався вибір необхідної швидкості руху комбайна, після чого проводився прохід по контрольній ділянці. Тривалість проходження ділянки фіксувалася за допомогою секундомірів.

2.3. Залежність якісних показників обмолоту та сепарації зерна пшениці від параметрів роботи молотильно-сепаруючої системи

Результати експериментальних досліджень, що стосуються аналізу кількісного розподілу маси обмолоченого та сепарованого матеріалу базовим і модернізованим молотильно-сепаруючими пристроями, представлені на рисунках 2.7 - 2.8.



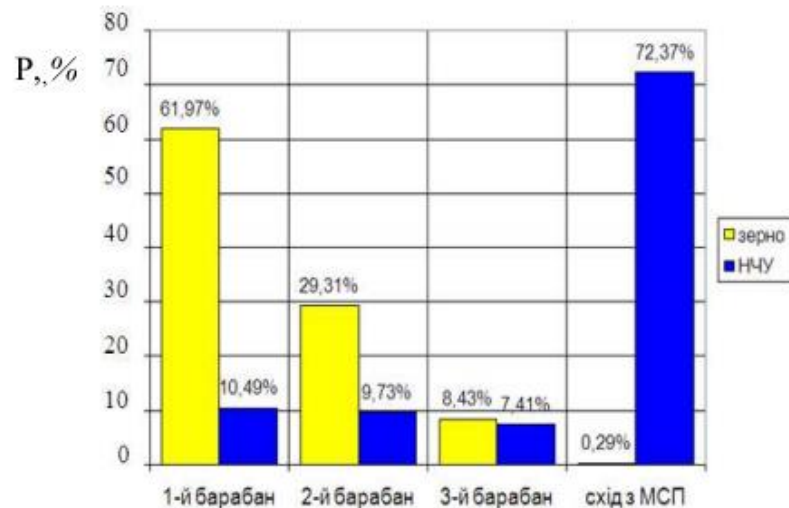
Опис послідовності підбарабань: перше, друге та третє підбарабання відповідають номерам 1, 2, 3.

Рис. 2.7. Вплив направлення тіста на початковій стадії обробки зерна в МСП на ефективність просіювання зерна через решета підбарабання

Аналіз даних, представлених на рис. 2.7, демонструє, що основна частина зерна виділяється першим молотильним барабаном (68,78 %). Водночас, спостерігається наявність травмованого зерна та втрати зерна за межі молотильно-сепаруючого пристрою (МСП), що становлять понад 1 % від загального обсягу, і розцінюються як прямі втрати за комбайном. Відносно незначна частка зерна, виділена третім барабаном, вказує на його недостатнє завантаження при подачі матеріалу в межах 5-13 кг/с.

З метою оптимізації процесу сепарації зерна та забезпечення більш рівномірного розподілу маси, доцільно внести корективи до параметрів

налаштування МСП для досягнення підвищення якості вимолочування зерна.



Опис послідовності підбарабань: перше, друге та третє підбарабання відповідають номерам 1,2,3

Рис. 2.8. Вплив характеру подачі тістової маси до модернізованого молотильно-сепаруючого пристрою на процес сепарації зерна через підбарабання

Аналіз даних, представлених на рис. 2.8, демонструє більш збалансований розподіл зернової фракції та незернової частини врожаю (НЧУ) між молотильними барабанами. Зокрема, перший барабан обробляє 61,97 % зерна та 10,49 % НЧУ, другий – 29,31 % зерна та 9,73 % НЧУ, а третій – 8,43 % зерна та 7,41 % НЧУ. Такий відносний розподіл сприяє більш рівномірному навантаженню на кожен барабан, підвищенню ефективності вимолочування та сепарації, зменшенню пошкодження зерна, а також мінімізації втрат на етапі очищення при швидкості подачі від 5 до 13 кг/с.

2.4. Дослідження впливу подачі хлібної маси в молотильний апарат комбайна МСП на інтенсивність сепарації зерна через підбарабання під час збирання пшениці

Ефективність роботи молотильно-сепарувального апарата (МСП) комбайна під час збирання зернових культур значною мірою визначається інтенсивністю та рівномірністю подачі хлібної маси у зону обмолоту. Подача маси формує структурні та динамічні умови процесу обмолоту, впливає на

характер взаємодії робочих органів з рослинним матеріалом і визначає кількість зерна, що проходить через підбарабання. Під час збирання озимої пшениці ці фактори мають особливе значення, оскільки культура характеризується високою чутливістю до зміни навантаження на молотильний апарат та умов її руйнування.

Потік хлібної маси, який надходить до молотильної камери, визначає ступінь заповнення каналу між барабаном та декою, інтенсивність ударно-тертєвої дії бичів, швидкість просування маси та рівень тиску на підбарабання. У разі недостатньої подачі маси обмолот відбувається за умов низької щільності потоку, що забезпечує легке проникнення зерна у щілини підбарабання, але водночас підвищує ризик недомолоту щільних колосків. При надмірній подачі формується ущільнений шар матеріалу, який амортизує ударну дію бичів та ускладнює руйнування колосків, що призводить до зниження інтенсивності сепарації зерна та збільшення його втрат разом із соломистими залишками.

Важливу роль відіграє рівномірність подачі хлібної маси. Нерівномірний потік викликає коливання навантаження на молотильний апарат, призводить до нестабільності процесу обмолоту та зменшує пропускну здатність підбарабання. У таких умовах частина зерна не встигає відокремитися у зоні підбарабання та переміщується до соломотряса, де можливості повторної сепарації значно менші. Це погіршує якість збирання, збільшує загальні втрати та спричиняє підвищене навантаження на систему очищення.

Інтенсивність подачі хлібної маси безпосередньо залежить від швидкості руху комбайна. Під час збирання озимої пшениці встановлено, що низькі швидкості (до 3 км/год) забезпечують найвищу якість обмолоту та максимальну частку зерна, яке проходить через підбарабання, однак знижують продуктивність агрегату. Оптимальним є середній діапазон швидкостей 4–6 км/год, за якого забезпечується стабільний режим обмолоту, рівномірне навантаження на МСП та мінімальні втрати зерна. Значне збільшення

швидкості (>6 км/год) призводить до перевантаження молотильної камери, зниження інтенсивності сепарації та зростання втрат.

Фізико-механічні властивості озимої пшениці також впливають на форму та інтенсивність подачі маси. Вологість зерна в межах 14–18% забезпечує найкращі умови для руйнування колосків і проходження зернової фракції через підбарабання. Підвищена вологість соломи (25–30%) зумовлює формування в'язкого, погано проникного шару, що зменшує інтенсивність сепарації на 10–20%. Густота стояння рослин впливає на об'єм потоку, що надходить у молотильний апарат, змінюючи навантаження на барабан та деку.

Отримані дані показують, що інтенсивність сепарації зерна через підбарабання є функцією:

$$I_c = f(Q, n, \delta, W, \rho_m),$$

де

I_c – інтенсивність сепарації;

Q – подача хлібної маси;

n – частота обертання барабана;

δ – зазор між барабаном та декою;

W – вологість хлібної маси;

ρ_m – густина матеріального потоку.

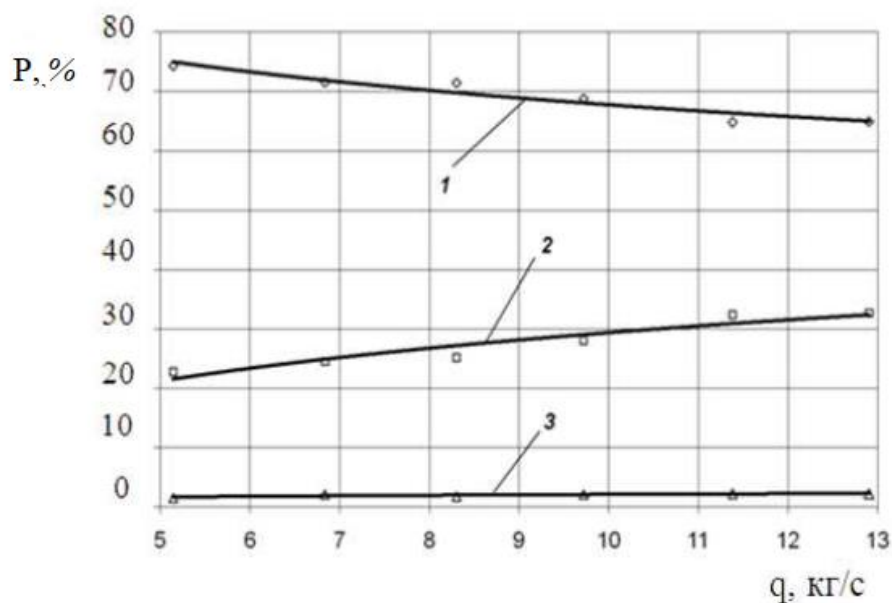
При збільшенні подачі Q понад оптимальне значення ефективність сепарації знижується експоненційно, що зумовлено ущільненням шару та зменшенням проникності маси в зоні підбарабання.

Таким чином, встановлено, що подача хлібної маси є одним із ключових факторів, який визначає якість обмолоту та інтенсивність сепарації зернової фракції у молотильно-сепарувальному апараті комбайна. Оптимальний рівень та рівномірність подачі забезпечують повне звільнення зерна в зоні підбарабання, знижують навантаження на наступні робочі органи та сприяють зменшенню втрат під час збирання пшениці. Раціональне встановлення режимів подачі та параметрів МСП дозволяє підвищити продуктивність комбайна,

покращити якість збирання та забезпечити стабільність технологічного процесу.

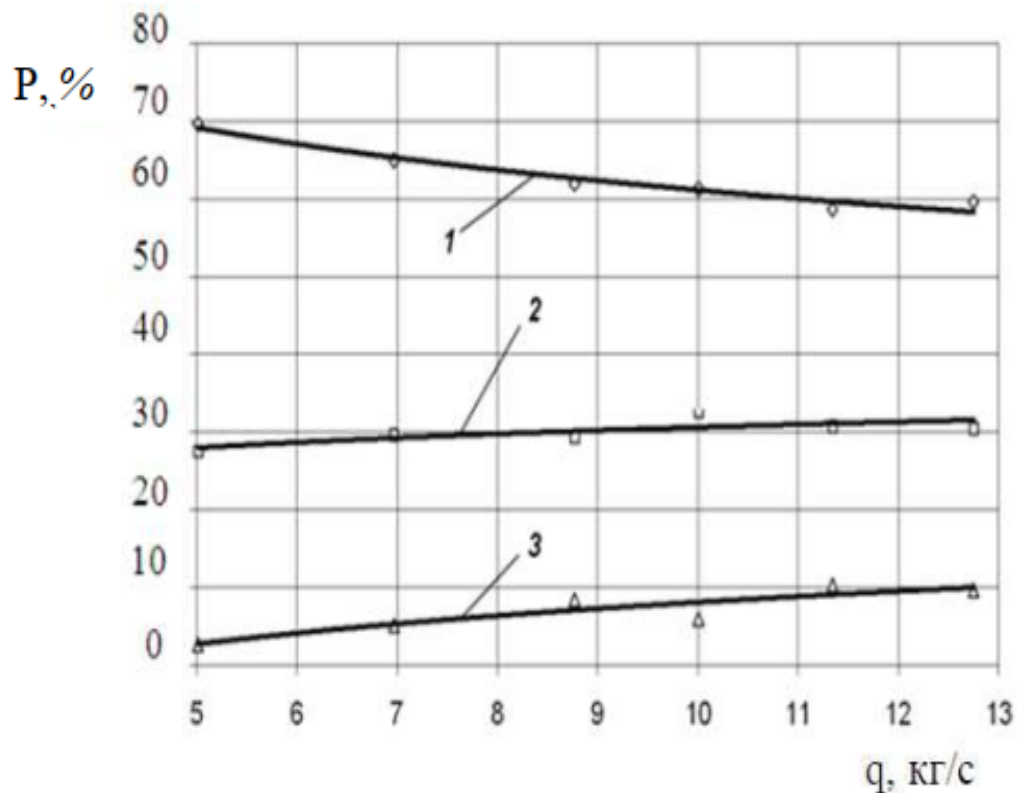
Перед початком експериментальних робіт, відповідно до методики [101], визначали основні характеристики агрофону, зокрема: ступінь стиглості культури (%), біологічну врожайність хлібостою на фактичній висоті зрізу ($\text{кг}/\text{м}^2$), забур'яненість посіву (%), урожайність зерна ($\text{ц}/\text{га}$), масове співвідношення зерна та соломистої маси, а також вологість зерна та соломистої маси (%).

У ході досліджень змінювали подачу хлібної маси в молотарку комбайна в межах 5–13 $\text{кг}/\text{с}$ для оцінки її впливу на процес обмолоту. Отримані результати наведено на рисунках 2.9 — для комбайна з базовим МСП, та 2.10 — з модернізованим МСП.



1 – 3 – перше, друге і третє підбарабання відповідно

Рис. 2.9. Дослідження ефекту подачі хлібної маси на просівання зерна крізь підбарабання базового МСП



1 – 3 – перше, друге і третє підбарабання відповідно

Рис. 2.10. Вплив інтенсивності подачі хлібної маси на показники просівання зерна через підбарабання модернізованого МСП

Біологічну врожайність хлібостою та масу одного погонного метра визначали шляхом скошування ділянки площею 1 м² на фактичній висоті зрізу або відбору одного погонного метра у п'яти різних точках поля з наступним зважуванням і обчисленням середнього значення маси. Рівень забур'яненості встановлювали шляхом поділу рослинної маси на дві фракції — основну культуру та бур'яни. Масове співвідношення зерна до соломистої маси визначали після лабораторного обмолоту матеріалу молотаркою шляхом окремого зважування зерна та рослинної маси.

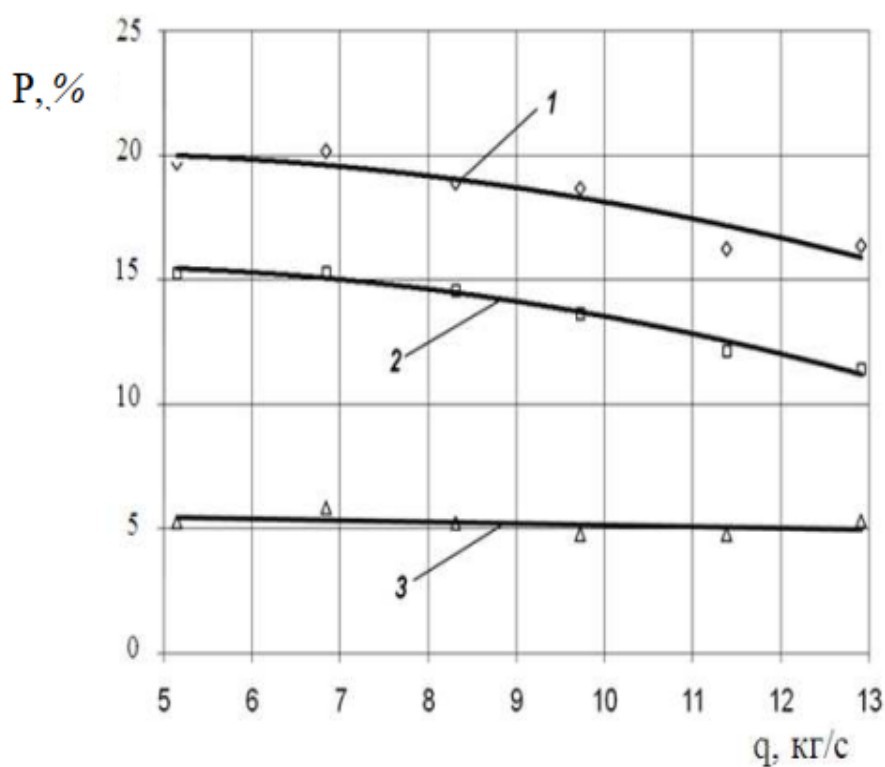
Як показано на рисунку 2.9, при роботі комбайна з базовим МСП максимальна інтенсивність обмолоту та сепарації зернової маси спостерігається на першому підбарабані при подачі хлібної маси в межах 5–13 кг/с, при цьому відділяється до 80 % зерна. Така висока концентрація обмолоту на першому підбарабані значно впливає на ефективність роботи молотильного барабана,

збільшуючи частку травмованого та невимолоченого зерна. Повнота проходу зерна через систему підбарабань забезпечується здебільшого на другому та третьому підбарабані.

У випадку модернізованого МСП, як видно на рисунку 2.10, інтенсивність обмолоту та сепарації зернової маси розподіляється більш рівномірно по підбарабанях при тих самих значеннях подачі (5–13 кг/с). При цьому на першому підбарабані відділяється близько 70 % зерна, на другому — до 25 %, а на третьому — близько 5 % зерна, що сприяє зменшенню травмування та покращенню якості обмолоту.

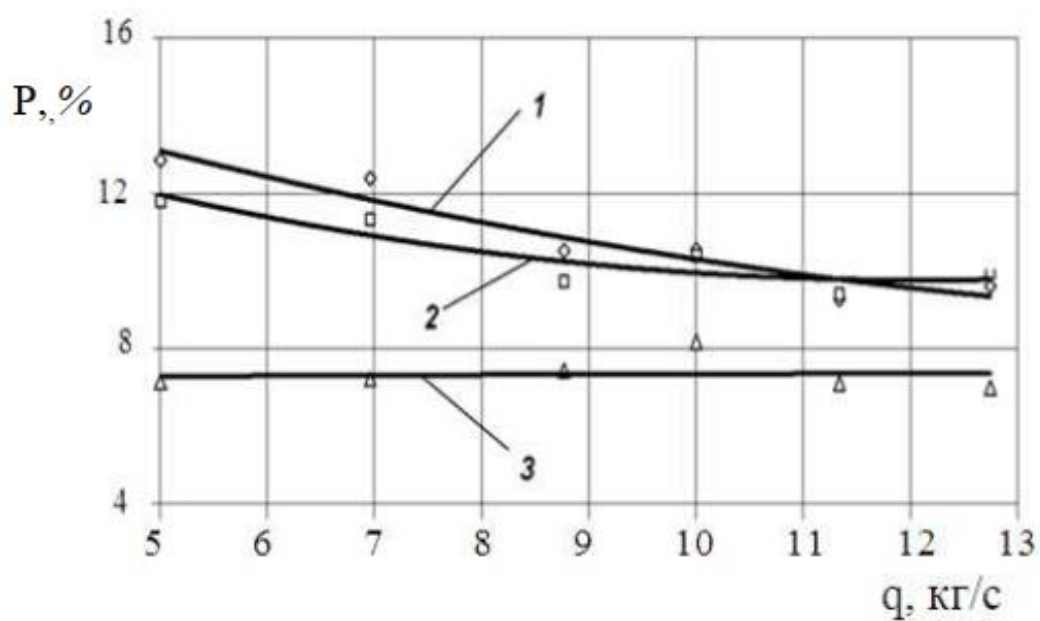
Дослідження впливу подачі хлібної маси на проходження не-зернової частини урожаю через підбарабання проводили при варіюванні подачі в межах 5–13 кг/с. Результати експериментальних випробувань для комбайнів з базовим і модернізованим МСП представлені на рисунках 2.11–2.12.

Як показано на рисунку 2.11, інтенсивність проходження не-зернової частини урожаю (НЧУ) через підбарабання при подачі хлібної маси в межах 5–13 кг/с розподіляється більш рівномірно по всій системі. У випадку модернізованого МСП, відповідно до рисунку 2.12, спостерігається ще більш рівномірний розподіл проходу НЧУ між першим та другим молотильними барабанами при тих самих значеннях подачі, що свідчить про покращення ефективності сепарації та зниження ймовірності травмування зерна.



1 – 3 – перше, друге і третє підбарання відповідно

Рис.2.11. Залежність проходження НЧУ крізь підбарання від подачі хлібної маси в базовому МСП



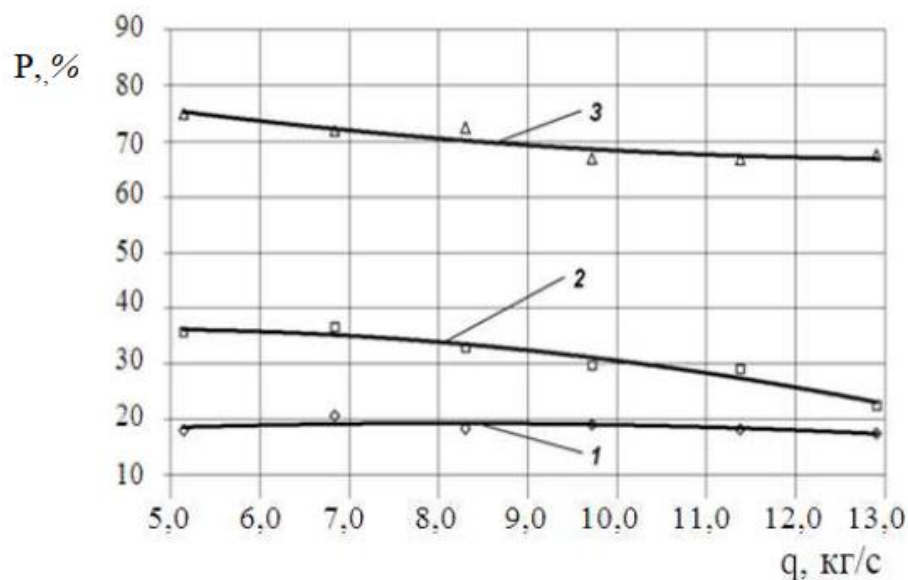
1 – 3 – перше, друге і третє підбарання відповідно

Рис. 2.12. Інтенсивність просівання не-зернової маси через підбарання при різних режимах подачі хлібної маси в модернізований МСП

Дослідження проводили при варіюванні подачі хлібної маси в молотарку зернозбирального комбайна в межах 5–13 кг/с з метою оцінки впливу цього параметру на рівень засміченості зерна та ефективність сепарації.

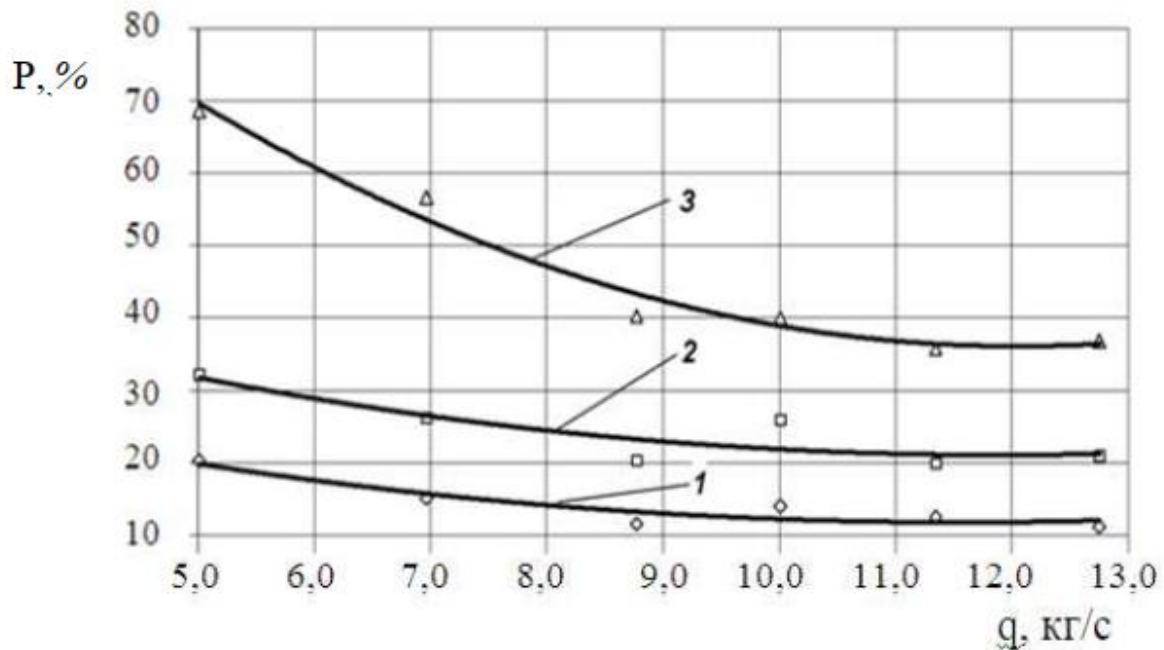
Результати експериментів щодо засміченості зернового вороху, що просипався крізь підбарабання, для комбайнів з базовим та модернізованим МСП представлені на рисунках 2.13–2.14. Аналіз даних показав, що при роботі комбайна з базовим МСП інтенсивність проходження засміченого зернового вороху розподіляється більш рівномірно по системі підбарабань. Повнота обмолоту та ефективність сепарації зростає на третьому молотильному барабані, де відділяється понад 60 % зерна при подачі 5–13 кг/с.

Такі результати свідчать про те, що контроль подачі хлібної маси дозволяє оптимізувати процес обмолоту, зменшити частку засміченого зерна та підвищити загальну ефективність роботи МСП комбайна. Водночас модернізований МСП забезпечує більш рівномірний розподіл засміченого вороху по всіх барабанах, що сприяє зниженню втрат зерна та підвищенню його якості.



1 – 3 – перше, друге і третє підбарабання відповідно

Рис. 2.13. Дослідження ефекту подачі хлібної маси на засміченість зернового вороху при роботі базового МСП



1 – 3 – перше, друге і третє підбарабання відповідно

Рис. 2.14. Ефект подачі хлібної маси на рівномірність та засміченість зернового вороху в модернізованому МСП

Як показано на рисунку 2.14, при роботі модернізованого МСП інтенсивність проходження засміченого зернового вороху розподіляється більш рівномірно між підбарабанами. Водночас спостерігається значна повнота обмолоту та сепарації на третьому барабані, де відділяється близько 70 % зерна при подачі хлібної маси в межах 5–13 кг/с.

2.5. Висновки за розділом

За умов збирання зерна з властивостями, близькими до товарних, оптимальні параметри роботи комбайна визначаються таким чином, щоб забезпечити мінімальну засміченість зерна у бункері та втрати через решета, що не перевищують 0,80 %. При цьому ефективним завантаженням молотарки комбайна є подача хлібної маси в межах 8–10 кг/с.

Результати проведених досліджень підтверджують високу якість виконання технологічного процесу обмолоту та сепарації зерна за допомогою

багатобарабанного МСП. Це свідчить про доцільність використання таких систем у конструкціях зернозбиральних комбайнів різних типів для підвищення ефективності та якості роботи.

.

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ

Збирання зернових культур є одним із найбільш травмонебезпечних етапів у сільськогосподарському виробництві. Недотримання правил і норм охорони праці, трудової та виробничої дисципліни на цьому етапі може призводити до травмування працівників, а в окремих випадках — до їх загибелі. Тому напередодні проведення зернозбиральних робіт доцільно нагадати основні методи та прийоми безпечного виконання масових механізованих операцій.

До керування зернозбиральним комбайном допускаються особи віком не менше 18 років, які мають посвідчення на право управління цією технікою, пройшли медичний огляд та відповідне навчання з охорони праці.

Особи віком від 17 років, які пройшли медичний огляд та інструктаж на робочому місці з питань охорони праці і пожежної безпеки, можуть допускатися до роботи на зернозбиральному комбайні у ролі помічника комбайнера.

3.1. Вимоги охорони праці при виконанні робіт із збирання зернових культур

Для забезпечення безпечного проведення зернозбиральних робіт необхідно дотримуватися наступних правил та організаційних заходів:

1. обмеження доступу до техніки: під час роботи в полі та руху по дорогах на зернозбиральному комбайні перебування дозволяється лише оператору-комбайнеру. Допуск інших працівників на техніку заборонений.

2. зберігання та обслуговування обладнання: запасні ножі збиральних машин слід зберігати у дерев'яних чохлах на польовому стані. Комбайни повинні бути оснащені дерев'яними лопатами для проштовхування злежаного зерна у бункерах до вивантажувального шнека та міцними дерев'яними

підкладками при використанні домкрата під час ремонту або огляду.

3. безпека під час транспортування та роботи з вантажем: забороняється перебування працівників у кузові автомобілів або тракторних причепах під час заповнення їх технологічним продуктом та під час транспортування зерна до місця складування. Вивантажувальні шнеки та інші робочі органи збиральних машин під час переміщення на інше поле повинні бути переведені в транспортне положення, а відстань між технікою під час руху – не менше 50 м.

4. передрейсові заходи та контроль стану техніки: слід організувати проведення медичних оглядів операторів перед виїздом, розробити маршрути безпечного руху техніки, перевірити технічний стан споруд та устаткування зернотоків, включно з наявністю огорожень і захисних решіток на звальних ямах, замків на люках бункерів і ємностей, справністю заземлення електрообладнання та ізоляції електрокабелів.

5. безпека вантажно-розвантажувальних робіт: місця завантаження та розвантаження залізничних вагонів повинні бути оснащені гальмівними башмаками, огороженнями, тросовими підвісами та запобіжними поясами для працівників, а також спеціальними лопатами з довгими держаками та вібраторами. Засоби дистанційного контролю температури зерна у силосах та бункерах мають бути справними.

6. контроль електричних мереж та організація безпечного робочого середовища: необхідно перевірити габарити ліній електропередач на зернотоках і в місцях проведення робіт та довести цю інформацію до відома всіх працівників.

7. польові умови роботи та протипожежні заходи: організувати місця відпочинку та харчування у польових умовах (пересувні вагончики, грозозахист, обладнані місця для куріння), забезпечити первинні засоби пожежогасіння, оновити або закупити нові вогнегасники.

8. дисципліна та інструктаж: провести інструктаж з дотримання виробничої та трудової дисципліни, акцентуючи увагу на недопущенні виконання робіт у нетверезому стані.

Дотримання цих вимог дозволяє мінімізувати ризики травмування працівників та забезпечити ефективну і безпечну організацію зернозбиральних робіт.

3.2. Техніка безпеки при збиранні зернових культур

Відповідно до Правил охорони праці у сільськогосподарському виробництві, проведення зернозбиральних робіт вимагає суворого дотримання заходів безпеки для запобігання травмуванню працівників. Під час роботи в полі та пересування по дорогах на зернозбиральному комбайні перебування дозволяється виключно оператору-комбайнеру, що має відповідну кваліфікацію та посвідчення на право керування технікою.

Запасні ножі та інші ріжучі елементи збиральних машин необхідно зберігати у спеціальних дерев'яних чохлах на польовому стані, що мінімізує ризик травмування під час транспортування та обслуговування. Забороняється перебування працівників у кузові автомобілів або тракторних причепів під час заповнення їх технологічним продуктом та транспортування зерна до місць складування.

Комбайни обов'язково мають бути оснащені дерев'яними лопатами для проштовхування злежаного зерна у бункерах до вивантажувального шнека, що забезпечує безперервний процес обмолоту та зменшує ризик травм. Крім того, збиральні машини повинні мати міцні дерев'яні підкладки для безпечного встановлення домкрата під час проведення ремонту або огляду техніки.

Дотримання цих правил забезпечує безпечну організацію робочого процесу, зменшує ризик травмування працівників і дозволяє підтримувати ефективність проведення зернозбиральних робіт на високому рівні.

3.3. Висновки за розділом

Хоча зазначені вимоги нормативно-правових актів з охорони праці добре відомі, їх недотримання може призвести до серйозних наслідків, включно з травмуванням або загибеллю працівників. Саме тому керівники сільськогосподарських підприємств повинні постійно контролювати усунення виявлених порушень і приділяти особливу увагу дотриманню заходів безпеки під час жнив. Вони зобов'язані забезпечити суворе виконання правил охорони праці, організувати належний інструктаж персоналу, а також впровадити заходи контролю за технічним станом машин і обладнання. Такий підхід гарантує мінімізацію ризиків виробничого травматизму і створює безпечні умови для працівників у період активного проведення зернозбиральних робіт.

РОЗДІЛ 4

ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Основні дані для проведення економічного аналізу

У ході виробничих випробувань комбайна КЗС «Славутич», оснащеного модернізованим багатобарабанным молотильно-сепаруючим пристроєм (МСП), встановлено, що під час збирання ранніх зернових культур, таких як ячмінь та пшениця, втрати зерна за молотаркою коливалися в межах 0,35–0,65 %, а рівень подрібнення зерна не перевищував 1,5 %.

Для оцінки ефективності модернізованого МСП було проведено порівняльні випробування комбайнів КЗС «Славутич» з базовим та модернізованим обладнанням відповідно до методики [31]. Тести здійснювали на ділянках хлібостою з повною стиглістю зерна, рівномірною врожайністю та соломистістю, низькою забур'яненістю і однорідним рельєфом. Урожайність на ділянках становила 57,95 ц/га, а ключові показники включали: полеглість хлібної маси 5–10 %, забур'яненість 1,5–2 %, масове співвідношення зерна та соломистої маси 1:1,07, вологість зерна і соломи 15–16 %.

Налаштування робочих органів комбайнів забезпечували однакові режими роботи для обох типів МСП. Подачу матеріалу в МСП регулювали зміною швидкості руху комбайна в межах 3–6 км/год, що відповідало подачі матеріалу 3–10 кг/с. Робочі зазори між барабанами та деками МСП варіювали від 12 до 24 мм на вході та від 2 до 8 мм на виході, а зміною ведучих та ведених шківів привода регулювали кутову швидкість барабанів у межах 60–97 рад/с.

За результатами порівняльних випробувань оцінювали ступінь макро- і мікропошкодження зерна, втрати зерна та чистоту бункерного продукту. Встановлено, що комбайн КЗС «Славутич» з модернізованим МСП показав

значно вищі показники якості обмолоту та сепарації зерна порівняно з базовим обладнанням. Агротехнічна оцінка та виробничі результати підтверджують доцільність застосування модернізованого МСП на комбайні КЗС «Славутич» для підвищення ефективності збору зернових культур. Результати порівняльних випробувань комбайнів КЗС КЗС «Славутич» базовим та модернізованим МСП наведені у табл. 4.1

Таблиця 4.1

Порівняльні показники ефективності обмолоту та сепарації зерна комбайнів КЗС «Славутич» з базовим та модернізованим МСП

Показники	Зернозбиральний комбайн КЗС “Славутич” у базовому виконанні	Зернозбиральний комбайн КЗС “Славутич”, обладнаний модернізованим МСП
Культура, що обмолочується	пшениця	
Подача матеріалу в МСП, кг/с	3 – 10	3 – 10
Втрати зерна, %	0,9 – 1,1	0,5 – 0,6
Подрібнення зерна, %	1,6 – 1,8	0,5 – 0,8
Мікропошкодження зерна, %	26,2 – 30,0	20,4 – 24,1
Чистота бункерного зерна, %	97,4 – 98,6	98,2 – 99,3

Як видно з табл. 4.1, комбайн з модернізованим МСП забезпечує менші втрати зерна та кращу якість продукту в порівнянні з базовим МСП.

4.2. Вплив використання багатобарабанного МСП на економічні показники виробництва

Для оцінки доцільності впровадження модернізованого багатобарабанного МСП на комбайні КЗС “Славутич” проведено розрахунки основних економічних показників.

Таблиця 4.2

**Аналіз економічних показників і доцільності впровадження
модернізованого молотильно-сепаруючого пристрою на комбайні КЗС
“Славутич” для підвищення продуктивності та зниження втрат
зерна**

№	Назва показника	Позначення	Значення показника	
			базова машина	нова машина
1	Балансова вартість комбайна, грн.	<i>Б</i>	3839100	3839100
2	Продуктивність комбайна за годину змінного часу, т/год	<i>W_{зм}</i>	10	10
3	Зональне річне завантаження машини, год	<i>T_з</i>	200	200
4	Термін служби комбайна, років	<i>n</i>	7	7
5	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію комбайна	<i>a</i>	0,143	0,143
6	Коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт та технічне обслуговування комбайна	<i>r_т</i>	0,068	0,068
7	Питомі витрати пального, кг/т	<i>q</i>	3,5	3,5
8	Комплексна ціна пального, грн/кг	<i>Ц_п</i>	22	22
9	Кількість основного персоналу, зайнятого для виконання технологічного процесу, ТО та ремонту комбайна, люд.	<i>L₁</i>	2	2
10	Коефіцієнт зайнятості основного персоналу	<i>t₁</i>	1	1
11	Погодинна тарифна ставка оплати праці основного персоналу з доплатами та нарахуваннями, грн./люд, год	<i>r₁</i>	45	45
12	Прямі експлуатаційні витрати відповідно по базовій та новій машині, грн	<i>И</i>	896,8	893,1
13	Економія прямих експлуатаційних витрат, грн/т	<i>O₁</i>	-	3,76
14	Середня закупівельна ціна зібраних культур комбайном, грн/т	<i>Ц</i>	6702,2	6702,2
15	Річний обсяг додатково зібраної продукції зернозбиральним комбайном, т	<i>V</i>	-	8,7
16	Річний економічний ефект від експлуатації нової машини, грн	<i>O</i>	-	58309,1

4.3. Висновки за розділом

Економічний аналіз та виробничі випробування багатобарабанної молотильно-сепаруючої системи виявили, що її модернізація призводить до покращення важливих показників якості та продуктивності. Зафіксовано зниження рівня подрібнення зерна на 1 % від загального обсягу намолоту, що вказує на більш щадний процес обмолоту. Разом з тим, відмічено зменшення мікропошкоджень зерна з діапазону 26,2–30,0 % до 20,4–24,1 %, що значно поліпшує якість зернової продукції та знижує ймовірність травмування зернин в процесі обмолочування.

Завдяки підвищенню ефективності сепарації та скороченню втрат, обсяг додатково намолоченого зерна сягнув 8,7 т, що позитивно позначилося на загальній якості зерна. Сукупний річний економічний ефект від застосування модернізованого агрегату оцінюється у 58 309,1 тис. грн, що демонструє високу рентабельність та обґрунтовує доцільність інтеграції багатобарабанної молотильно-сепаруючої системи в конструкцію комбайна КЗС “Славутич”.

ВИСНОВКИ

Аналіз існуючих конструкцій молотильно-сепаруючих пристроїв (МСП) показав, що на сучасному етапі розвитку світового комбайнобудування найбільш поширеними залишаються барабанні системи. Проте вони мають низку суттєвих недоліків: висока швидкість руху хлібної маси всередині МСП та обмежена довжина шляху її проходження через молотильний зазор ускладнюють повну сепарацію зерна. За даними численних досліджень, ефективність сепарації зерна через підбарабання варіює в межах 75–90 %.

На основі проведених експериментальних досліджень були запропоновані методи вирішення зазначених проблем. Використання рекомендованих параметрів і режимів роботи МСП дозволяє підвищити якість обмолоту та сепарації, зменшити втрати зерна, а отже, скоротити приведені витрати на збиранні урожаю.

Розроблено експериментально-розрахунковий метод визначення частки обмолоченого та відсепарованого зерна залежно від довжини підбарабання МСП. Метод базується на моделюванні комбінованого процесу транспортування, обмолоту та сепарації зерна, що визначається взаємодією барабанів із зерно-соломистою масою.

У процесі збирання зерна, близького за властивостями до товарного, оптимальним виявилось завантаження молотарки комбайна в межах 8–10 кг/с. При цьому спостерігається мінімальна засміченість бункерного зерна, а втрати зерна при проходженні через решета не перевищують 0,80 %. Отримані результати свідчать про високу ефективність технологічного процесу обмолоту та сепарації при використанні багатобарабанного МСП, що підтверджує доцільність його застосування в конструкціях різних типів зернозбиральних комбайнів.

Економічний аналіз та виробнича апробація модернізованої багатобарабанної молотильно-сепарувальної системи виявили низку

значущих покращень. Застосування даної системи сприяє зменшенню рівня травмування зерна: зокрема, показник дробленості знизився на 1 % від загального обсягу намолоченого зерна, а рівень мікропошкоджень скоротився з 26,2–30,0 % до 20,4–24,1 %. Крім того, зафіксовано збільшення обсягу додатково намолоченого зерна на 8,7 тонни. Удосконалення якісних характеристик зерна, зумовлене зниженням мікропошкоджень, та загальний річний господарський ефект від впровадження модернізованої молотильно-сепарувальної системи, що становить 58309,1 тис. грн, підтверджують високу рентабельність та економічну обґрунтованість використання даної системи в сучасному аграрному виробництві.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шейченко, В. «Investigation of the Grain Separation Process in the Three-Drum Threshing and Separating System of the Combine KZS „Slavutich“». *Mechanization in Agriculture*. 2018. stumejournals.com
2. Suliman, Aere. «Development of Threshing System in Combine Harvester». *Журнал аграрної інженерії*. 2012. journals.ekb.eg
3. Sysolina, I. П. (в роботі Шейченка) – технологічні режими барабанів у трибарабанній системі. (ця робота фінансується в джерелі 1)
4. Матухно. «Спроможності трибарабанних молотарок». (видавн.) НУБіП або інший український університет. НУБіП України
5. ІМААП. «Технологічні параметри багатобарабанних молотарок». (збірник або доповідь) imaap.org.ua
6. Корнієць, А. А. «Удосконалення технологічної схеми зернозбирального комбайна і параметрів його робочих органів». Кваліфікаційна робота, Поліський університет, 2023. ir.polissiauniver.edu.ua
7. Петров, О. С. «Удосконалення системи обмолоту зернозбирального комбайна». Бакалаврська робота, Кропивницький, ЦНТУ, 2025. Dspace KNTU
8. Манжос, М. В. «Удосконалення процесу обмолоту і сепарації зерна зернозбиральних комбайнів». Магістерська дисертація, НУБіП, 2024. dglibtest.nubip.edu.ua
9. Калініченко, Д. Ю. «Методика визначення втрат зерна під час обмолоту зернозбиральним комбайном». Тези доповіді, НУБіП, 2024. dglibtest.nubip.edu.ua+1
10. М. Занько. «Системи обмолоту сучасних зернозбиральних комбайнів». *Пропозиція*. 2014. Пропозиція
11. Національний університет біоресурсів і природокористування України. «Інноваційні технології CLAAS та підвищення ефективності обмолоту». Збірник наукових тез. НУБіП України

12. Міністерство освіти і науки України. Матеріали міжнародної конференції «Міжнародна агроінженерія» — дослідження подачі соломистої маси, попереднього обмолоту тощо. itf.udau.edu.ua

13. Kirichenko, R. V., Kozij, O. B., Vakum, M. V. «Розрахунок параметрів молотильного апарата зернозбирального комбайна». Методичні вказівки, Державний біотехнологічний університет, Харків, 2025. repo.btu.kharkiv.ua

14. Алієв, Е. Б., Пацула, О. М., Дурін, Ю. О. «Експериментальні дослідження молотильного апарату комбайна». Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН, № 21, 2014. [Дніпровський аграрний університет](http://dniprovskiy-agrarniy-universitet)

15. NDIPVT (Національний науковий інститут): матеріали конференції 2022 — моделювання МСП, в тому числі комбінованих систем (барабанні + роторні), побудова регресійних моделей. [ДНУ УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого](http://dnpu.org.ua)

16. Занько, М. «Якісне збирання — оптимізація витрат під час зберігання». *Пропозиція – журнал агробізнесу*. Аналіз впливу систем обмолоту на чистоту зерна. [Пропозиція](http://propozycja.com)

17. Павлова, І. О. «Механіко-технологічні характеристики обмолоту зерна». (теоретична стаття, університетське видання) [DSpace Repository WUNU](http://dspace.wunu.edu.ua)

18. Стефонцов, Б. І. «Удосконалення конструкції молотильної системи зернозбирального комбайна». (дисертація або курсова) [Socrates](http://socrates.com)

19. Agritechnica / Agricultural-Engineering: «Combine Harvesters: Три-барабанні системи» — огляд конструкцій комбайнів з трьома барабанами. agricultural-engineering.eu

20. ІТФ СНАУ. Підручник або конспект: «Сільськогосподарська техніка», теорія молотильних апаратів, багатобарабанні системи. [Інженерно-технологічний факультет СНАУ](http://itf.snau.edu.ua)

21. Лукач, В. С. «Наукові дослідження молоді в аграрному машинобудуванні». Збірник доповідей, в тому числі про багатобарабанні молотарки. nati.org.ua

22. Іманпов, / ІМААП: «Технологічні параметри багатобарабанних молотарок» — аналітична доповідь або стаття. imaap.org.ua
23. Hruban, V. «Study of the Process of Grain Pre-threshing by Working Elements». Дисертаційна або наукова робота, 2017. [МНАУ](http://mha.gov.ua)
24. Rogovskii, I. «Analysis of Loss of Grain by Classical Threshing and Separating Device». *Scireports*. 2021. [SciReports](http://scireports.org)