

**ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**  
**Інженерно-технічний факультет**  
**Кафедра технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему:

**«ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНИХ  
ПАРАМЕТРІВ ОЧІСУЮЧОЇ ЖНИВАРКИ  
ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА»**

**Виконав:**

здобувач вищої освіти  
освітнього ступеня «Магістр»  
освітньо-професійної програми «Агроінженерія»  
спеціальності 208 «Агроінженерія»  
денної форми навчання

**КУШИЦЬКИЙ Юрій Іванович**

**Керівник:**

кандидат технічних наук, доцент

**КОМАРНІЦЬКИЙ Сергій Петрович**

**Оцінка захисту:**

Національна шкала \_\_\_\_\_

Кількість балів \_\_\_\_\_ Шкала ECTS \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**Допускається до захисту:**

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Гарант освітньо-професійної програми  
«Агроінженерія» спеціальності 208 «Агроінженерія»,  
кандидат технічних наук,  
доцент \_\_\_\_\_

**ДУГАНЕЦЬ Василь Іванович**

## ЗМІСТ

<b>ЗАВДАННЯ</b> .....	4
<b>АНОТАЦІЯ</b> .....	6
<b>ВСТУП</b> .....	7
<b>РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ЗБИРАННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ОЧІСУВАННЯМ</b> .....	9
1.1 Існуючі технічні рішення очісувальних жниварок для збирання зернових колосових культур.....	9
1.2 Переваги та недоліки очісувальних жниварок.....	12
1.3 Аналіз теоретичних досліджень з удосконалення процесу очісування.....	19
<b>РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ОЧІСУЮЧОЇ ЖНИВАРКИ З РОСЛИНАМИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР</b> .....	26
2.1 Необхідність подальшого розвитку теорії проектування очисних пристроїв та методів їх управління.....	26
2.2 Дослідження процесу взаємодії рослин з обтічником жниварки.....	27
2.3 Методи використання математичної моделі процесу руху зерна в транспортному каналі.....	31
2.4 Математична модель визначення середньої швидкості руху вороху в транспортному каналі.....	37
<b>РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ОЧІСУЮЧОЇ ЖНИВАРКИ</b> .....	43
3.1 Методика дослідження процесу очісування в лабораторних умовах...	43
3.2 Методика визначення характеристик повітряного потоку.....	47
3.3 Результати експериментальних досліджень.....	48
3.4 Результати очісування зернового та цукрового сорго на лабораторній установці.....	50
3.5 Результати вимірювання швидкості повітряного потоку у робочому просторі лабораторної установки.....	53
3.6 Результати польових випробувань експериментального очісувального зразка жниварки.....	58

<b>РОЗДІЛ 4. МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБИРАННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР КОМБАЙНОВИМ ОЧІСУВАННЯМ.</b>	<b>61</b>
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>64</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>66</b>

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
Інженерно-технічний факультет  
Кафедра технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін  
Освітній ступінь «Магістр»  
Спеціальність 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри,  
доцент \_\_\_\_\_ Василь ДУГАНЕЦЬ  
„\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2025 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**на кваліфікаційну роботу**

Здобувачу **КУШИЦЬКОМУ Юрію Івановичу**

1. Тема роботи: **«ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ОЧІСУЮЧОЇ ЖНИВАРКИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА»**
2. Керівник роботи: **КОМАРНІЦЬКИЙ Сергій Петрович**, доцент

Затверджено наказом ЗВО «ПДУ» від «04» квітня 2025 року № 355с.  
Строк подання студентом закінченої роботи 14 листопада 2025 р.

**Вихідні дані до роботи:**

1. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи.
2. План-проспект магістерської роботи.
3. Підручники і навчально-методичні посібники, статистичні дані.
4. Наукові видання (монографії, книги, збірники, журнали, методики, матеріали ЦНТІ).
5. Методика економічної оцінки результатів досліджень.

**Зміст розрахунково-пояснювальної записки:**

**ВСТУП**

1. СТАН ПИТАННЯ ЗБИРАННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ОЧІСУВАННЯМ
  2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ОЧІСУЮЧОЇ ЖНИВАРКИ З РОСЛИНАМИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР
  3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ ОЧІСУЮЧОЇ ЖНИВАРКИ
  4. МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБИРАННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР КОМБАЙНОВИМ ОЧІСУВАННЯМ
- ВИСНОВКИ**  
**ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

## Перелік ілюстративного матеріалу:

1. Мета і завдання досліджень.
2. Класифікація очисних пристроїв.
3. Види очісувальних жниварок.
4. Схема процесу очісування одно-барабанною жниваркою з обтічником.
5. Визначення місця взаємодії зерна із внутрішньою поверхнею обтічника та параметрів руху зерна в транспортувальному каналі жниварки.
6. Лабораторна установка для перевірки результатів досліджень, отриманих на математичних моделях.
7. Очісувальний барабан з гребінками зі змінним кутом нахилу очісувальних зубців.
8. Загальний вид лабораторної установки, підготовленої до проведення експериментальних досліджень.
9. Визначення швидкості повітряного потоку у робочому просторі лабораторної установки.
10. Схеми барабана і механізму кутового переміщення очісувальних гребінок.
11. Загальний вигляд та схема механізму копювання навішаної на комбайн очисної жниварки ЖОНТУ-6.
12. Блок-схема алгоритму розрахунку річного завантаження засобів механізації
13. Загальні висновки.

## Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Консультант з нормоконтролю	Девін В.В., доцент		

Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділів кваліфікаційної роботи	Строк виконання розділів роботи		Підпис керівника
		планово	фактично	
1.	Вступ	16.04.2025	16.04.2025	
2.	Стан питання збирання зернових культур очісуванням	20.05.2025	20.05.2025	
3.	Теоретичні дослідження взаємодії очісувальної жниварки з рослинами зернових культур	26.06.2025	26.06.2025	
4.	Експериментальні дослідження процесу роботи очісувальної жниварки	25.09.2025	25.09.2025	
5.	Методичні підходи оптимізації технології збирання зернових культур комбайновим очісуванням	24.10.2025	24.10.2025	
6.	Висновки	30.10.2025	30.10.2025	
7.	Перелік використаних джерел	05.11.2025	05.11.2025	

Здобувач

Керівник роботи, доцент

**Юрій КУШИЦЬКИЙ**

**Сергій КОМАРНІЦЬКИЙ**

## АНОТАЦІЯ

Робота присвячена вирішенню актуальної практичної задачі вдосконалення збирання зернових культур методом комбайнового очісування, а також обґрунтуванню параметрів однобарабанных очісувальних пристроїв для зменшення втрат зерна.

У процесі вивчення сучасного стану питання очісування зернових культур проведено аналіз результатів теоретичних досліджень щодо удосконалення процесу та розглянуто існуючі конструктивні рішення очісувальних жниварок.

В рамках теоретичних досліджень взаємодії очісувальної жниварки з рослинами зернових культур розроблено математичну модель контакту колосу із зовнішньою поверхнею обтічника, модель визначення середньої швидкості руху вороху в транспортному каналі та досліджено процес взаємодії рослин з обтічником жниварки.

Експериментальні дослідження дозволили обґрунтувати оптимальні параметри процесу очісування. Так, при збиранні полеглих рослин зміна кута нахилу очісувальних зубів від 0,35 до 0,70 рад дозволила зменшити втрати зерна з 1,16 % до 0,62 %.

Польові випробування очисної жниварки ЖОТН-6, оснащеної барабаном із механізмом регулювання кута нахилу зубів, показали, що на полях із високою ярусністю і кутом нахилу зубів 28° рівень втрат не перевищує 0,5 %.

Впровадження технології очісування зернових колосових культур у господарстві з ріллею площею 6000 га дозволяє знизити експлуатаційні витрати на 16,6 %, скоротити капітальні вкладення у техніку з 271 213 до 212 950 тис. грн та збільшити чистий дисконтований дохід на 58 263 тис. грн, при цьому термін окупності становить 1,37 року.

## ВСТУП

Актуальність теми. Збирання врожаю зернових культур є однією з найбільш витратних операцій у сільському господарстві. Для її виконання використовуються комбайни, які мають високу вартість, що робить їх недоступними для багатьох виробників. При цьому морально застаріла техніка характеризується значними втратами зерна під час збирання.

Одним із шляхів вирішення цієї проблеми в найближчій перспективі може стати застосування технології комбайнового очісування зернових культур. Для цього очісний пристрій слід адаптувати до конкретних характеристик рослин. Використання обчесаного вороху з мінімальною кількістю соломистої маси в молотильному апараті дозволяє підвищити продуктивність комбайна в 1,4–2,0 рази та зменшити витрати палива на 45 %. Тому вдосконалення процесу очісування рослин на корені залишається актуальним завданням.

Мета роботи – удосконалення технології збирання зернових культур методом комбайнового очісування шляхом обґрунтування параметрів однобарабанных очісувальних пристроїв, що забезпечують зниження втрат зерна.

Для досягнення поставленої мети були поставлені та вирішені наступні завдання:

- удосконалення математичної моделі процесу взаємодії очісуваних рослин та проведення теоретичних досліджень взаємодії обтічника з рослинами, а також руху обчесаного вороху в транспортному каналі жнивarki і його впливу на параметри переміщеного зерна;
- визначення параметрів руху зерна та обчесаного вороху в транспортному каналі жнивarki та оцінка впливу взаємодії з соломистими компонентами вороху на втрати зернової фракції;
- розробка лабораторної установки та проведення експериментальних досліджень для оцінки результатів, отриманих при комп'ютерному моделюванні процесу збирання зернових культур методом очісування.
- Проведено експериментальні дослідження фізико-механічних властивостей компонентів вороху озимої пшениці, зокрема коефіцієнтів тертя та відновлення при контакті з обтічником, виготовленим із різних

матеріалів, а також оцінено вплив взаємодії всього масиву рослин із контактуючою поверхнею обтічника на виникнення втрат.

**Об'єкт досліджень:** процес очісування зернових культур однобарабанною жнивваркою.

**Предмет досліджень:** залежності, що характеризують зміну кількісних та якісних показників втрат при роботі зерноочисної жнивварки.

**Наукова новизна:** розроблено математичну модель взаємодії очісуваних рослин з обтічником жнивварки, яка враховує матеріал виготовлення та фізико-механічні властивості рослин; встановлено залежність швидкості руху повітряного потоку в транспортуючому каналі жнивварки від частоти обертання, розмірів і форми каналу та очисного барабана.

**Теоретична та практична цінність:** обґрунтовані параметри та режими роботи пристроїв для експериментальних досліджень процесу очісування зернових культур, а також методики оцінки фізико-механічних характеристик рослин.

**Ступінь достовірності результатів:** наукові положення та рекомендації підтверджені високим ступенем відповідності між результатами математичного моделювання процесу збирання зернових культур комбайновим очісуванням та даними польових випробувань.

**Особистий внесок здобувача:** аналіз наукових публікацій та досліджень щодо підвищення ефективності збирання зернових культур комбайновим очісуванням; участь у теоретичних та експериментальних дослідженнях з розробки математичних моделей та обґрунтування режимів і параметрів роботи очісувальної жатки; побудова та аналіз графічних залежностей.

# **РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ЗБИРАННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ОЧІСУВАННЯМ**

## **1.1 Існуючі технічні рішення очісувальних жниварок для збирання зернових колосових культур**

У роботах [12, 16] наведені схеми класифікації очісувальних пристроїв за типом, способом агрегування, видом робочого органу та методом транспортування вороху. Проте запропоновані авторами класифікаційні підходи не повністю охоплюють усі відомі на сьогодні конструктивно-компонувальні рішення очісувальних пристроїв. Зокрема, у цих схемах відсутня ознака, що поділяє конструкції жниварок за способом подачі матеріалу в зону очісу, а саме – на наявність або відсутність обтічника.

Пристрої без обтічника можна розділити на два типи: з активним живильником і без нього. У другому випадку робочі органи, що здійснюють очісування, безпосередньо контактують із рослинною масою. Схема класифікації таких пристроїв представлена на рис. 1.1.

Для очісувальних пристроїв [13, 18, 25], що не мають обтічника та активного живильника, характерні певні недоліки. Вони проявляються при збиранні полеглих або нерівномірно розташованих по висоті рослин, коли суцвіття не потрапляють у зону очісу, що призводить до часткового недоочісування або втрат зерна внаслідок осипання на землю.

Активні пристрої-живильники [10, 12, 14, 15], виконані у вигляді мотовил, бітера або додаткового транспортера, призначені для подачі рослинної маси в зону очісу, також мають певні обмеження. Невідповідність швидкості роботи живильника і швидкості руху жниварки може призводити до втрат зерна та поломки колосків.

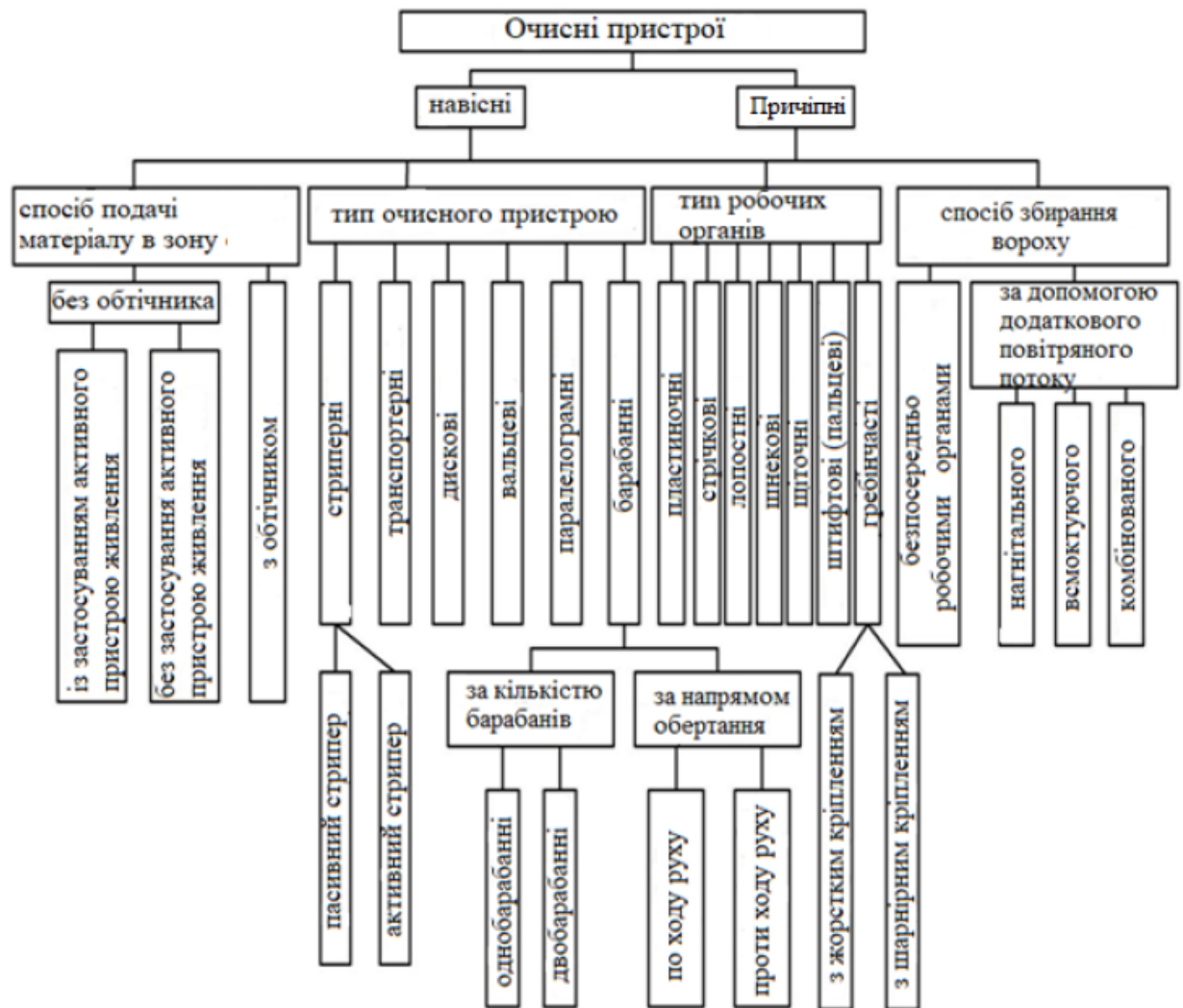


Рис. 1.1.

В роботі [16] авторам вдалося після вдосконалення конструкції очисної жнивarki транспортного типу з активним живильником (рис. 1.2) знизити втрати зерна за жнивarkою до 1,5–3,0 %, тоді як нормативний рівень втрат не повинен перевищувати 0,5 % [24]. Проте отриманий показник залишається високим.

У очісувальних пристроїв з обтічником [27, 29] обтічник першим контактує зі стеблами, тому його конструкція, положення щодо рослин та інших робочих органів повинні забезпечувати проведення процесу обмолоту рослин на корені з мінімальними втратами, у межах допустимих норм ДСТУ [34]. Втрати зерна можуть виникати під час удару рослин із суцвіттями об обтічник із подальшим ковзанням по його поверхні перед подачею у зону очісування.

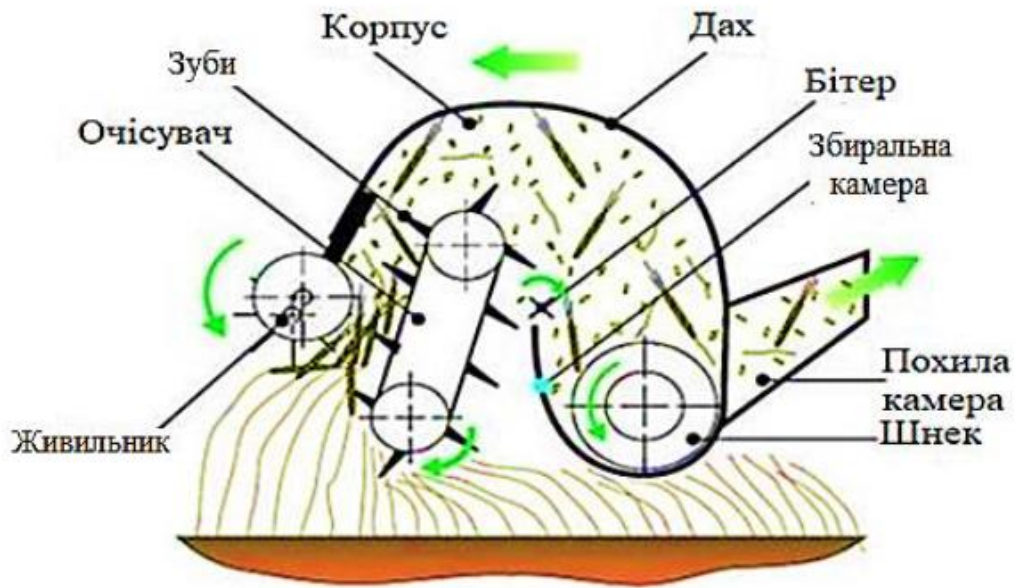


Рис. 1.2.

На внутрішньому ринку представлені лише жниварки барабанного типу з обтічником, що випускаються різними виробниками. Всі вони виконані у вигляді навісних на комбайн очісувальних пристроїв. Причіпні жниварки вітчизняними виробниками не випускаються ні серійно, ні дрібними партіями. Компанії, які постачають очісувальні жниварки, заявляють про високу продуктивність і низький рівень втрат зерна при використанні їхніх машин.

Однobarанні очисні жниварки представлені наступними моделями:

- «Озон» із шириною захвату 5, 6 та 7 м виробництва ПрАТ «Прензмаш»;
- «Прівдень» із шириною захвату 6 м виробництва ЗАТ «Агрротрейд» у спільній розробці зі «СКНрДІМЕСГ», структурний підрозділ «АНрЦ «Донрський» [25];
- «Shelbourne» із шириною захвату 7 та 9 м виробництва компанії «Shelbourne Reynolds» (Великобританія) [30];
- «Сибірх» із шириною захвату 5 та 6 м виробництва ТОВ «Сибхагротехнопарк» [26].

Двобарабанні жниварки представлені моделлю «Слов'янка» із шириною захвату 5, 6 та 7 м, виробництво машинобудівного підприємства «Укр. Агро-сервіс» (Україна) [38].

У конструкції цих жниварок застосовано кілька основних форм обтічників, схеми яких наведені на рис. 1.3.

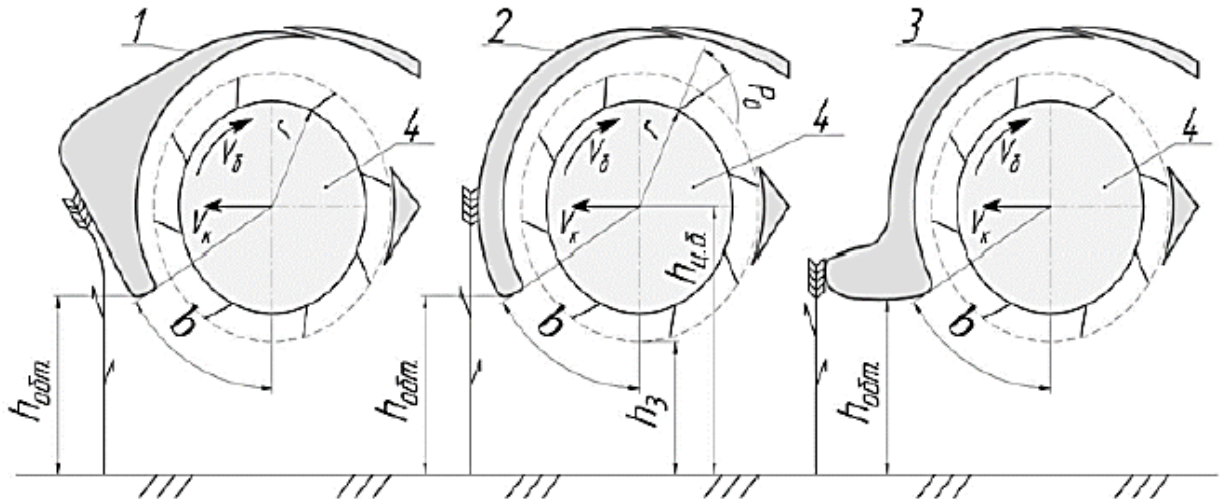


Рис. 1.3.

Усі серійні жниварки оснащені обтічником, виготовленим із металу. У останніх модифікаціях жниварок «Shelbourne Reynolds», «Озон» та «Південка» обтічник виконано з нержавіючої сталі, що запобігає корозії поверхні через зношування лакофарбового покриття під час експлуатації та знижує ймовірність втрат зерна, оскільки сила тертя між суцвіттям культури та обтічником зменшується.

Двобарабанні жниварки, як правило, оснащені дугоподібним обтічником, що зумовлено наявністю другого барабана. Основними причинами обмеженого поширення таких жниварок є їхня велика вага та складність виготовлення. Головна перевага двобарабанної конструкції – висока швидкість повітряного потоку як у транспортному каналі, так і в зоні очісу, що сприяє зменшенню втрат зерна, зтягуючи його в транспортний канал [40].

## 1.2 Переваги та недоліки очісувальних жниварок

Використання очісувальних пристроїв для збирання зернових колосових культур дозволяє значно скоротити строки збирання за рахунок підвищення

продуктивності комбайнів майже вдвічі та одночасно зменшити витрати палива до 50 %. Стебла рослин, що залишаються на полі після роботи таких жниварок [25], сприяють покращенню снігозатримання в посушливих районах, а також забезпечують затінення ґрунту в літній період, знижуючи його нагрівання від прямих сонячних променів.

Очісувальні жниварки можуть використовуватися як для суцільного збирання, так і для формування стернових куліс шляхом чергування роботи очісувальних і звичайних жниварок. Застосування стернових куліс або прибирання очісуванням дозволяє збільшити накопичення ґрунтової вологи до 2,5 разів порівняно з контролем, коли після жниварок суцільного зрізу залишається стерня висотою 10–15 см [7].



Рис. 1.4.

Розглянемо ключові переваги та недоліки очісувальних жниварок. Двобарабанна жниварка «Слов'янка» з шириною захвату 5, 6 та 7 м, вироблена компанією «Укр. Агро-сервіс» (Україна, рис. 1.5) [48, 49], є єдиною очісувальною жниваркою у двобарабанному виконанні. Перший барабан менший за основний очісувальний, проте також оснащений граблинами. Його головне завдання – створення додаткового повітряного потоку, який зменшує втрати зерна завдяки ефекту всмоктування в зоні очісу. Крім того, перший барабан відхиляє частини рослин, що відлітають від основного барабана, та спрямовує їх у транспортну зону жниварки.



Рис. 1.5.

Основним недоліком двобарабанної жнивarki «Слорв'янка-7» є її значна маса, що збільшує навантаження на передню вісь комбайна та на гідропривід похилої камери. Під час збирання рослин із великою різницею у висоті можливе нахльостування колосків і їх відламування від стебел при контакті з обтічником жнивarki.

Однобарабанна жнивarka «Сибір» [23] із шириною захвату 5 та 6 м (рис. 1.6) оснащена повітряно-сепаруючим каналом і виготовляється компанією «Сибрагротехнопарк».

Переваги цієї жнивarki [14] полягають у наступному:

- завдяки повітряно-сепаруючому каналу відбувається попереднє очищення зерна від полови, що забезпечує чистіший врожай на виході та зменшує навантаження на молотильно-сепарувальний пристрій комбайна;
- наявність різних ширин захвату (5 та 6 м) дозволяє ефективно використовувати жнивarkу з комбайнами різної пропускної здатності;
- робоча швидкість збирання становить 7–12,5 км/год, що дає змогу обробляти до 6 га/год або до 12 т/год зерна при врожайності не менше 2 т/га.



Рис. 1.6.

До недоліків слід віднести необхідність заміни гребінок при роботі з різними культурами та врожайністю (рис. 1.6). Конструкція обтічника при значній різниці у висоті рослин призводить до їх захльостування, відламування і накопичення на зовнішній поверхні обтічника (рис. 1.6 а). Крім того, обтічник виготовлений зі звичайної пофарбованої прокатної сталі, і після зношування та стирання лакофарбового покриття він піддається корозії, що негативно впливає на якість технологічного процесу та термін служби виробу. Полова та дрібні частини рослин із повітряно-сепаруючого каналу потрапляють на похилу камеру та її приводи. Залишається невизначеним, наскільки така конструкція відповідає вимогам пожежної безпеки та умовам експлуатації цих вузлів комбайна, а також чи потрібне очищення похилої камери під час роботи.

Фірма «Shelbourne Reynolds» (Великобританія) виробляє жниварки «Shelbourne» (рис. 1.7) з максимальною шириною захвату до 9 м [40]. Широкий модельний ряд очісувальних жниварок з шириною захвату від 5 до 9 м дає змогу підібрати пристрій практично для будь-якого комбайна. Деякі комплектації оснащені виносним екраном, який встановлюється в кабіні комбайна і дозволяє регулювати частоту обертання варіатора очісувального барабана з точністю до 1 об/хв у межах від 470 до 775 об/хв. Замість варіатора може використовуватися чотириохідний редуктор

з частотами обертання очісувального барабана: 470, 535, 675 та 775 об/хв [36]. В деяких модифікаціях обтічник жнивarki виконаний з нержавіючої сталі. Очісувальний зуб має форму замкового отвору, що дозволяє ефективно збирати культури, такі як пшениця, ячмінь та окремі види трав.



Рис. 1.7.

Серед недоліків очісувальної жнивarki «Sheplbourne» слід відзначити низьку жорсткість очісувальних зубів, які можуть деформуватися при контакті з бур'янами, що міцніші за суцвіття культур, наприклад амброзія або осот. Основними проблемами наразі є висока вартість, що зумовлена коливанням валютного курсу, а також складність у постачанні запасних частин та сервісному обслуговуванні. При збиранні на перестояних посівах втрати за жнивarkою часто перевищують допустимі агротехнічні норми.

Одно-барабанна жнивarka «Орзон» (рис. 1.8) від ПАТ «Пернзмаш» призначена для збирання зернових колосових культур та насінників трав із шириною захвату 5, 6 та 7 м. До переваг цієї жнивarki належить обтічник із нержавіючої сталі (з 2018 року в деяких модифікаціях), очісувальні зубці з загартованої сталі з високою міцністю, широкий асортимент моделей, що дозволяє підібрати пристрій практично для будь-якого комбайна, а також порівняно невелика вага конструкції у порівнянні з конкурентами.



Рис. 1.8.

Серед недоліків одно-барабанної жниварки без варіатора є ступінчасте регулювання частоти обертання очісувального барабана. Для зміни швидкості роботи оператору доводиться виходити з кабіни комбайна та вручну змінювати передатне відношення в редукторі жниварки.

Одно-барабанна жниварка «Юржанка» з шириною захвату 6 м, виробництва спільно «АНЦ «Дорнський» та «Агротррейд» (рис. 1.9), оснащена варіатором, що забезпечує безступінчасте регулювання частоти обертання очісувального барабана. Обтічник виконаний із нержавіючої сталі. У деяких комплектаціях очісувальний барабан оснащено механізмом регулювання кута нахилу зубів, що дозволяє направляти потік вороху із зерном у потрібну зону транспортного каналу, забезпечуючи більш ефективне очісування.



Рис. 1.9.

Особливо актуально це при збиранні полеглих рослин. Конструктивні рішення щодо оперативного керування безступінчастим регулюванням частоти обертання очісувального барабана, кута нахилу очісних зубів та висоти положення копирів детально розглянуті в джерелі [22]. Серед недоліків жнивarki варто зазначити її велику масу у порівнянні з аналогами, наприклад, жнивarkaми «Орзон» від ПАТ «Пернзмаш».

На рис. 1.10 наведено основні зони втрат при роботі очісувальної жнивarki, серед яких:

- втрати зерна вперед по ходу жнивarki;
- падіння зерна під очісувальним барабаном під час контакту рослин із зубом;
- затягування зерна у щілину між барабаном та передньою стінкою ложа шнека.

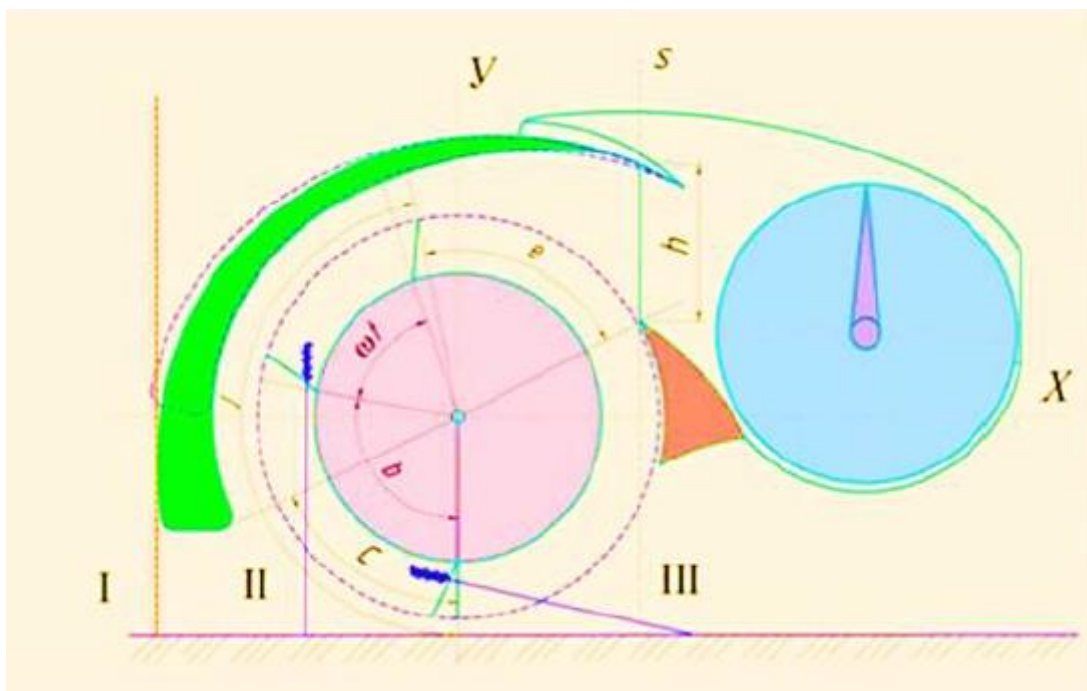


Рис. 1.10

У першій зоні на рис. 1.10 втрати виникають через обмолот колоса під час його удару об обтічник і подальшого ковзання по його поверхні. Це може призводити як до втрат окремих зерен, так і до повного відділення колоса від стебла. Також у цю зону потрапляє зерно, що випадково виноситься із зони очісу, якщо режими роботи очісувального пристрою підібрані неправильно.

Втрати у другій зоні обумовлені взаємодією очісувальних зубів з рослинами, при цьому зерно може викидатися вперед по ходу жнивarki, якщо обчісаний матеріал зі сходу зуба падає нижче нижньої кромки обтічника.

У третій зоні частина зерна та фрагменти колосків, втрачаючи швидкість у транспортувальному каналі, можуть потрапляти в проміжок між барабаном і передньою стінкою ложа шнека, після чого висипаються вниз із жнивarki.

### 1.3 Аналіз теоретичних досліджень з удосконалення процесу очісування

Великий внесок у розвиток теорії очісування зробили автори [12, 13], які обґрунтовано визначили параметри робочих органів очісної жнивarki та режим її роботи. На рис. 1.11 наведена схема, запропонована автором [15], що дозволяє визначати діаметр очісного барабана залежно від характеристик рослин, які підлягають збору.

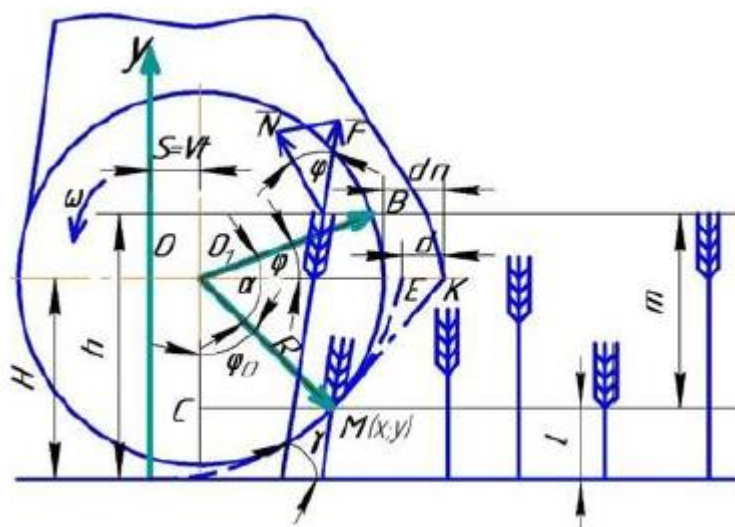


Рис. 1.11

Оригінальне рішення з вибору форми очісувального паза було запропоновано та обґрунтовано в роботі [11]. На рис. 1.12 показано процес очісування одно-барабанною жнивarkою «ОЗОН», у якій зуби формують паз із тангенціальним каналом.

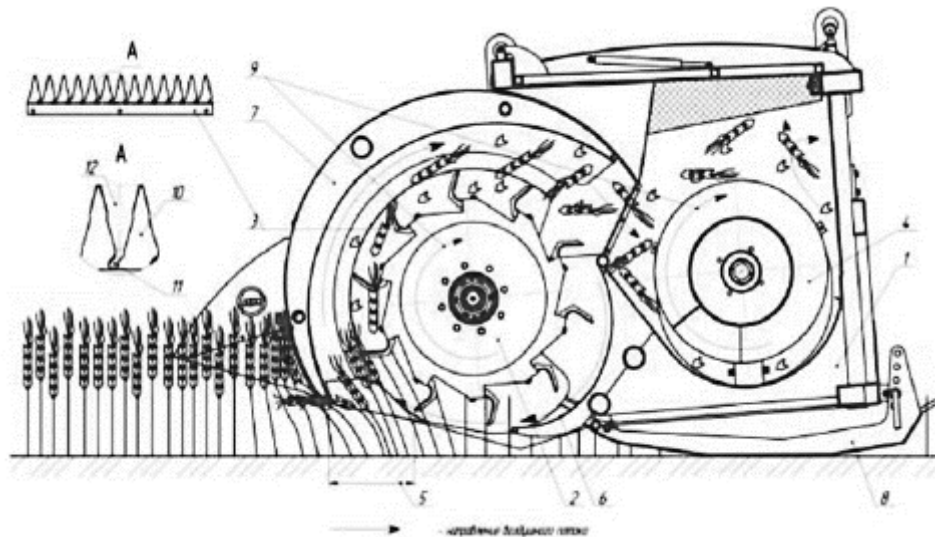


Рис. 1.12

Було проведено розрахунок геометричних параметрів гребінки з тангенціальними каналами та досліджено морфологічні характеристики пшениці сортів Берзенчуцька-380, Проволзька-86 і Саратовська-90В [21].

У роботі не розглянуто рух зернівки та незернової частини врожаю після контакту із зубом і подальший рух у транспортному каналі. Також не досліджувалися втрати, що виникають при контакті та русі суцвіть по обтічнику жнивarki, а також способи їх мінімізації.

Автори [16] аналізували процес початкового контакту рослинної маси з обтічником очисної жнивarki, припускаючи, що стебло рослини є жорстким і закріпленим у нижній частині. Це припущення є некоректним, оскільки під час контакту стебла з обтічником його вигин може досягати критичних значень, при яких у реальних умовах відбувається зминання стебла, його злам і відділення колоса. При очісуванні нерівномірних за висотою рослин (з високою ярусністю) найвищі рослини контактують з обтічником усією площею стебла та колоса. В результаті цього може відбуватися вимолочування колоса, його відрив або виривання всього стебла з ґрунту (рис. 1.13).

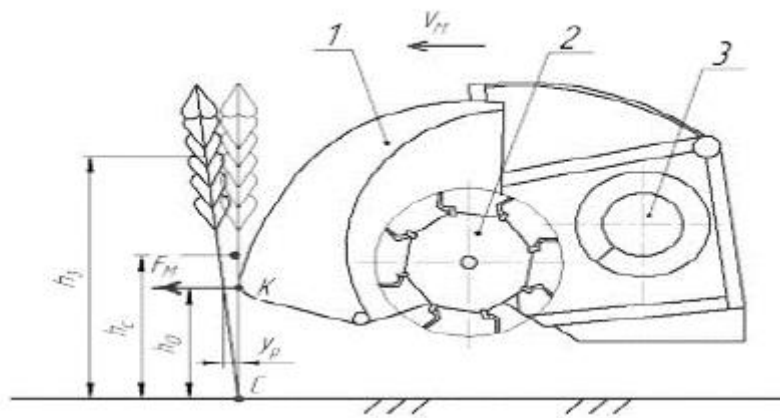


Рис. 1.13

При цьому не було досліджено взаємодію всього масиву рослин із контактною поверхнею обтічника. Також не розглянуто вплив використання різних матеріалів для виготовлення контактної поверхні на ефективність роботи жнивarki. Визначено оптимальний кут нахилу обтічника, виготовленого з пофарбованого металу.

Слід врахувати, що пофарбоване покриття під час контакту з рослинною масою поступово стирається, аж до повного оголення металевої поверхні, що призводить до корозії та значної зміни фізичних властивостей матеріалу.

У стандартних очісувальних пристроях при зміні висоти від поверхні ґрунту до лінії сходу рослин із обтічника також змінюється кут його нахилу щодо рослин. Щоб підтримувати постійний кут нахилу, автор [7] запропонував нову конструкцію приводу обтічника (рис. 1.14).

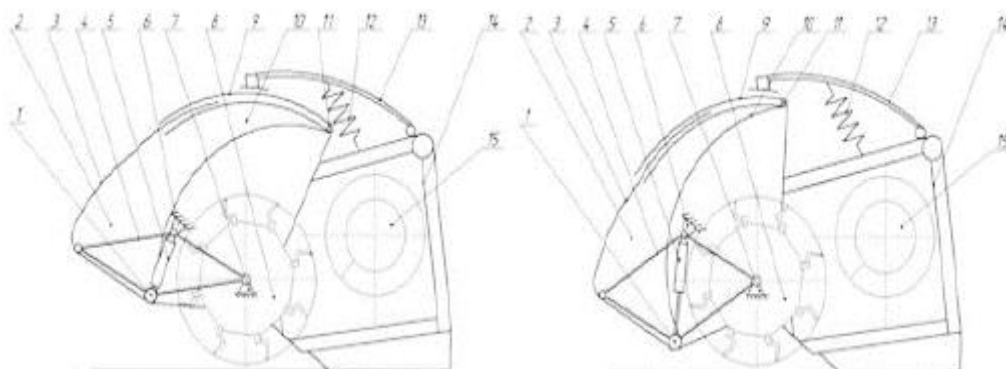


Рис. 1.14

У роботі [3] досліджено процес очісування за допомогою однобарabanної жнивarki з зубами, що мають виріз у вигляді замкового паза. Було розроблено математичні моделі, які, на думку автора, можна застосовувати при проєктуванні таких пристроїв та для зменшення втрат під час їх експлуатації. Автор дійшов висновку, що швидкість граблин має перебувати в межах 14–17 м/с, а швидкість повітряного потоку в зоні входу очісувального барабана — не менше 5 м/с.

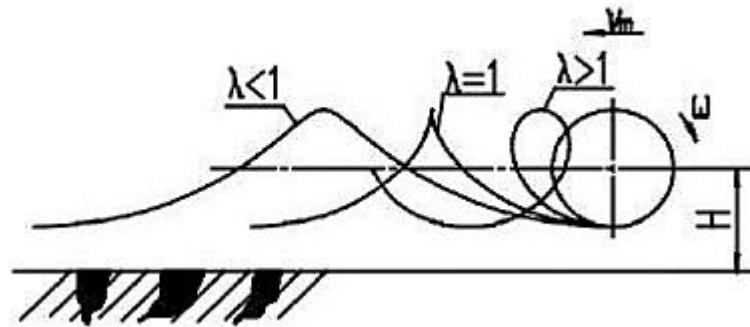


Рис. 1.15

Для сучасних очісувальних пристроїв величина  $\gamma$  завжди перевищує одиницю та варіює в межах 6–10, залежно від виду культури, характеристик хлібостою та інших факторів. У роботі [37] описано частину технологічного процесу, що охоплює операції контакту суцвіття з очісувальним зубом, його відскоку або руху по зубу, а також подальший рух у транспортному каналі. Цей процес представлено як послідовність взаємопов'язаних математичних моделей. Схема взаємного розташування суцвіття та очісувального зуба під час контакту при очісуванні наведена на рис. 1.16 [7].

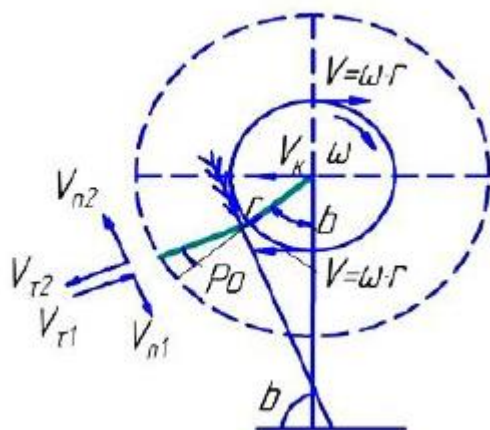


Рис. 1.16

У роботі [30] автор створив математичну модель, яка враховує взаємодію зернівки з очісувальним зубом, її рух по зубу та подальший сход із нього. На рис. 1.17 наведена схема, що ілюструє сили, які діють на зернівку під час руху по поверхні зуба.

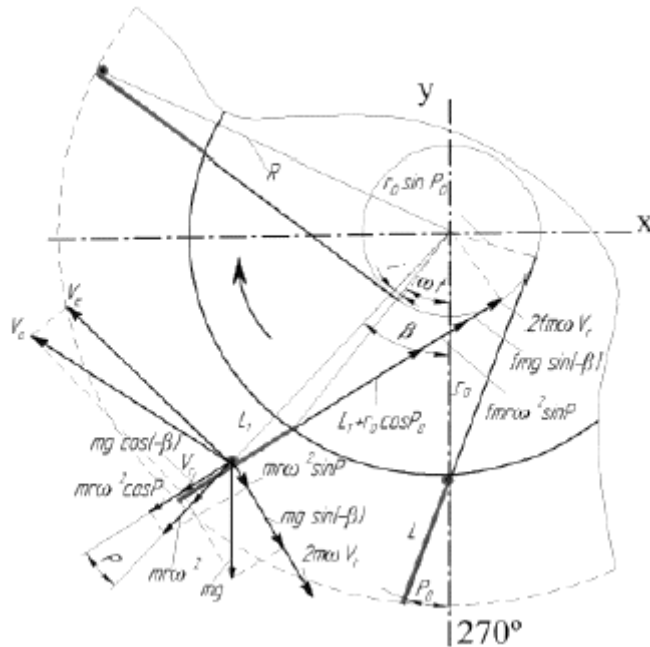


Рис. 1.17

У цілому теоретичні положення моделювання процесу очісування зернових культур однобарабанною жнивркою, запропоновані автором [33], представлені як послідовно пов'язаний блок систем рівнянь. Результати розв'язку кожної попередньої системи слугують вихідними даними для наступної. Це оформлено у вигляді структурної схеми, показаної на рис. 1.18.

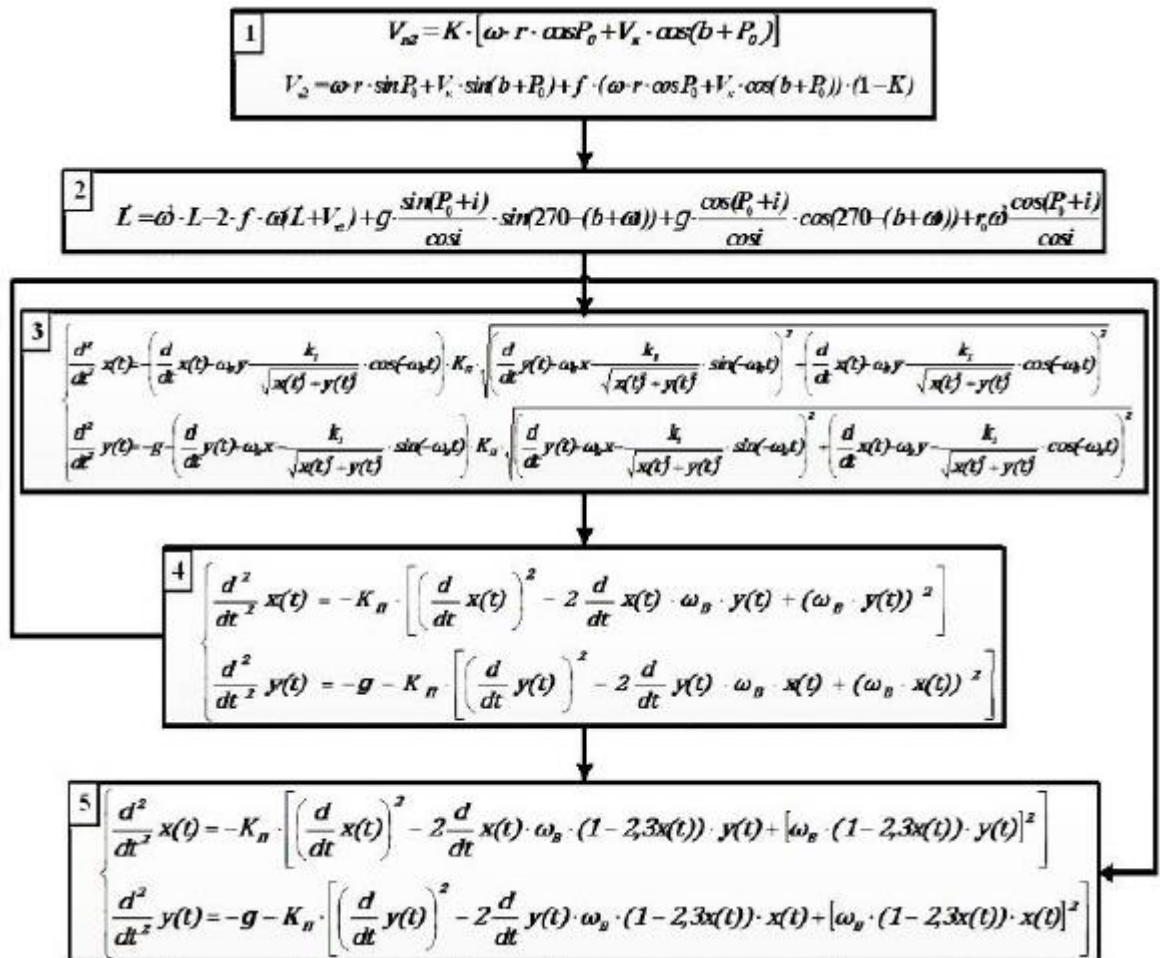


Рис. 1.18

Розв'язок систем рівнянь, запропонованих автором [41], здійснювався чисельними методами у програмних пакетах «MrVTU» та «MathCAD». У результаті досліджень визначено параметри руху зернівки по очісувальному зубу та після її сходу з нього для різних кутів початку очісування, положень обтічника, а також властивостей зерна (коефіцієнт тертя, відновлення) і матеріалу робочих елементів очісувального пристрою. Доведено, що за певних умов можливі втрати зерна через його викидання вперед у напрямку руху жниварки. На рис. 1.19 [42] наведено залежності траєкторії руху зерна від кута нахилу зубів.

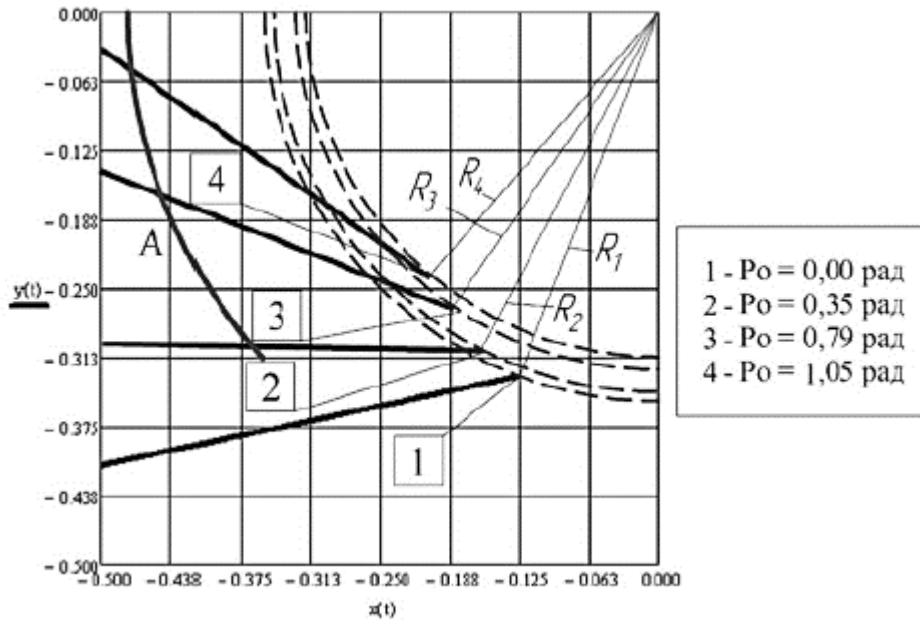


Рис. 1.19

Як показано на рис. 1.19, при русі зернівки по траєкторії 1 відбувається її викидання вперед у напрямку руху жнивarki. Для зменшення таких втрат автор [15] запропонував нове технічне рішення, яке дозволяє оперативно регулювати кут нахилу очісувальних зубів за допомогою гідроприводу з кабіни комбайна або вручну оператором. Проте результати експериментальної оцінки впливу кута нахилу зубів на величину втрат при збиранні полеглого та нерівного хлібостою у роботі [17] не наведені.

## РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ОЧІСУЮЧОЇ ЖНИВАРКИ З РОСЛИНАМИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

### 2.1 Необхідність подальшого розвитку теорії проектування очисних пристроїв та методів їх управління

Широке впровадження серійно випущених очісувальних жниварок, як в Україні, так і за кордоном, обмежується насамперед підвищеними втратами зерна. Процес збирання зернових за допомогою очісувальних жниварок суттєво відрізняється від роботи традиційних жниварок як у конструктивному плані, так і за специфікою правильного налаштування та експлуатації. Це зумовлено тим, що очісування здійснюється у закритій зверху зоні очісу, після чого ворох транспортується у закритому каналі. Загальна схема технологічного процесу очісування одно-барабанною жниваркою з обтічником наведена на рис. 2.1, де перший контакт із рослинами здійснює обтічник.

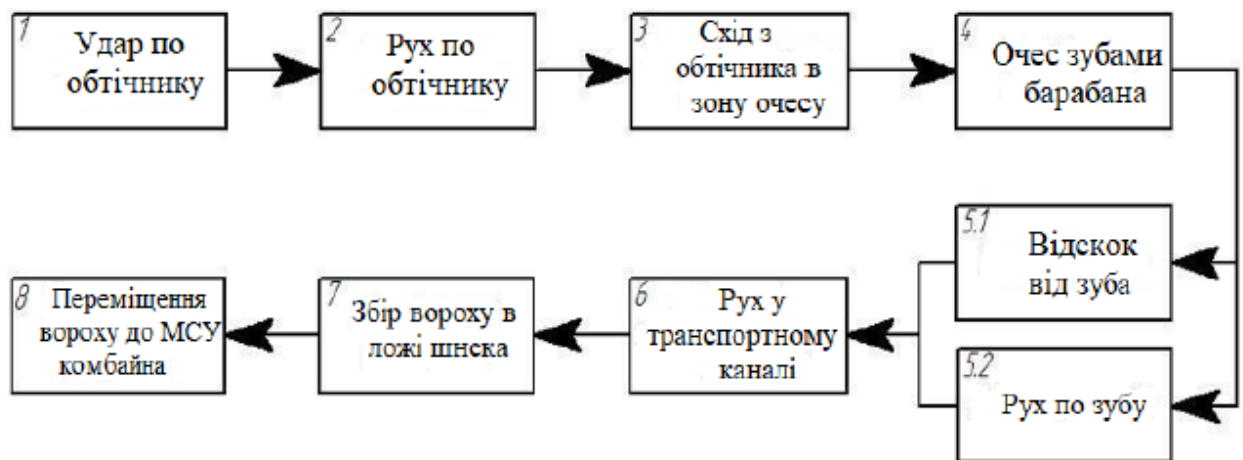


Рис. 2.1

Порівняння переліку операцій, які виконує одно-барабанна жниварка, з операціями, передбаченими математичною моделлю процесу, проведене в роботі [29], показало, що для підвищення ефективності необхідно вдосконалити модель шляхом теоретичного опису таких процесів:

- взаємодії рослин, що збираються, з обтічником жниварки;

- руху зерна у транспортувальному каналі після контакту з обтічником та ймовірності його потрапляння у міжвитковий простір шнека;
- визначення середньої швидкості руху вороху.

Для зменшення витрат часу та ресурсів пропонується проводити моделювання різних варіантів процесу в середовищах CAE та CAD (Computer-Aided Design, Computer-Aided Engineering). Це можливо, якщо кожна технологічна операція, що виконується машиною, буде описана математичною залежністю, що відображає взаємодію робочих органів з оброблюваним матеріалом. Прагнення максимально наблизити математичну модель до реального процесу призводить до того, що розв'язання таких рівнянь або їхніх систем часто можливе лише за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, переважно у чисельній формі (наприклад, MBTU чи MathCAD).

Дослідження параметрів і режимів роботи робочих органів очисного пристрою можна організовувати за аналогією з методами математичного планування експерименту. Оскільки результати моделювання відображають локальні оптимуми, їх необхідно перевіряти на лабораторних установках, що імітують роботу жниварки в польових умовах. Проектування таких установок доцільно здійснювати у середовищі CAD (наприклад, «Компас»). Цей підхід значно прискорює проведення досліджень і суттєво знижує витрати на виготовлення проекрованої машини чи жатки.

## **2.2 Дослідження процесу взаємодії рослин з обтічником жниварки**

### **2.2.1 Контакт колоса із зовнішньою поверхнею обтічника**

Зерно в колосі утримується за допомогою лусочок та квітколожа. Для його відділення необхідно, щоб енергія, що передається зерну при ударі, перевищувала енергію, здатну розірвати цей зв'язок [13]. На рис. 2.2 представлена схема взаємодії рослин з обтічником, що дозволяє зрозуміти подальші процеси їх перетворення.

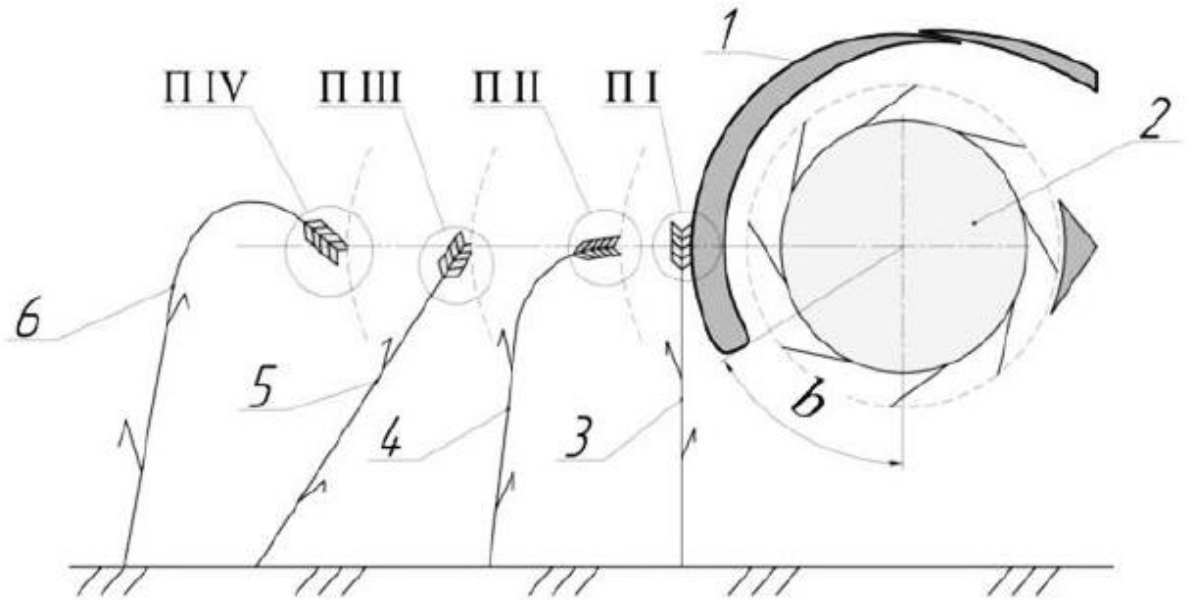


Рис. 2.2

Можна виділити чотири можливі варіанти контакту колоса з обтічником, які відбуваються в межах кута тертя  $\varphi$ . Якщо вектор швидкості утворює кут, що перевищує кут тертя, відбувається удар із ковзанням колоса по поверхні обтічника.

При прямому ударі (варіанти ПІ та ПІІ) вектор швидкості спрямований перпендикулярно до колоса. У варіанті ПІІ, враховуючи малу кривизну поверхні обтічника, передбачається, що колос контактує з обтічником усією своєю площиною. Можливі два підваріанти: у ПІ(1) колос контактує гранню, а у ПІ(2) – рубом, коли кількість зерен у контакті зменшується вдвічі. У варіанті ПІІ колос ударяється торцем об обтічник, при цьому вектор швидкості жнивarki спрямований уздовж осі колоса.

Оскільки колос до удару нерухомий, його початкова швидкість дорівнює швидкості руху комбайна  $V_k$ , тобто  $V_{n1} = V_k$ ; далі  $V_{n2} = V_{n1} \cdot K$ .

## 2.2.2 Результати розрахунку енергії удару, що отримується колосом у першій фазі

Розрахунки виконано для різних варіантів контакту колосків з обтічником. Властивості матеріалу обтічника визначають коефіцієнт відновлення  $i$ , відповідно, швидкість руху зерна після контакту.

Було проаналізовано вплив характеристик таких матеріалів, які передбачалося використовувати для виготовлення обтічника: сталь, надвисокомолекулярний поліетилен (СВМПЕ) та чорний керамопласт. На рис. 2.3 наведена енергія, що отримується колосом при контакті з обтічником зі сталі, а на рис. 2.4 – для обтічника з СВМПЕ при різних швидкостях руху.

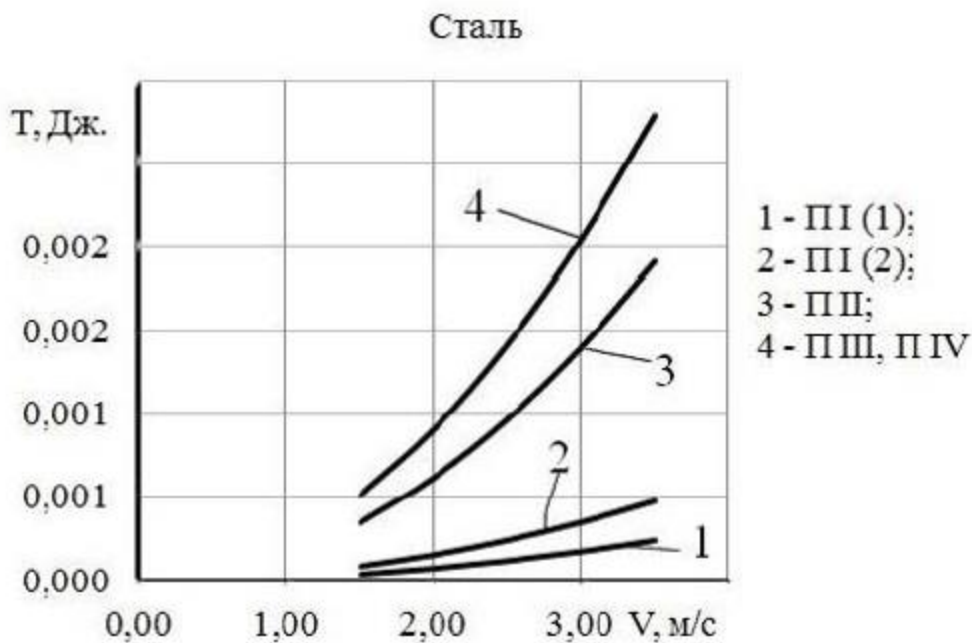


Рис. 2.3.

Як показують залежності на рис. 2.3 і 2.4 та вираз (2.4), величина енергії, що передається колосом при контакті з поверхнею обтічника уздовж лінії, де вектор швидкості жнивarki збігається з радіусом кривизни, у межах кута тертя залежить від швидкості руху агрегату, коефіцієнта відновлення та кількості зерен у колосі, що безпосередньо контактують з обтічником.

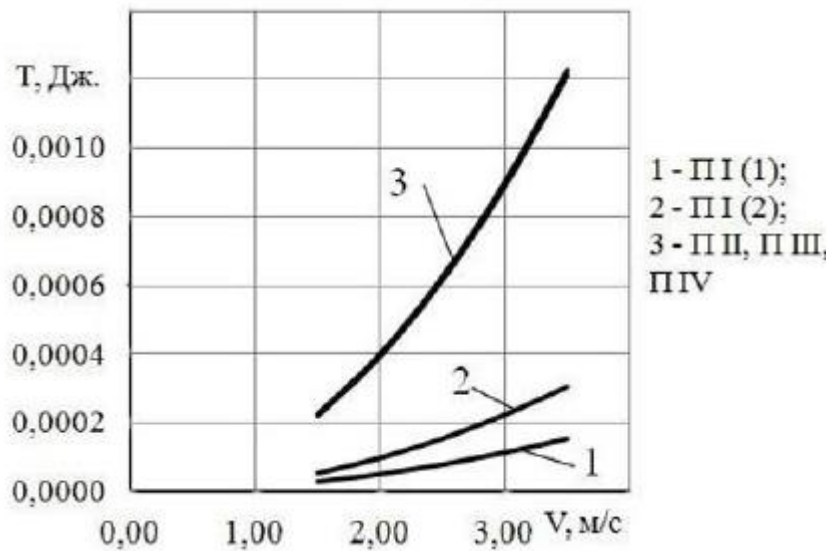


Рис. 2.4.

Максимальна енергія передається колосу при його торці, що контактує з обтічником, або при ударі під кутом у межах кута тертя. Після удару об сталевий обтічник швидкість колоса виявляється вищою, ніж після удару об пластик, через більший коефіцієнт відновлення. Порівняння теоретично отриманих даних із літературними [58], де наведено роботу, необхідну для відділення одного зерна з колосу озимої пшениці (0,0066–0,0086 Дж, залежно від термінів збирання та погодних умов), показує, що енергія удару у першій фазі практично не впливає на втрати зерна.

### 2.2.3 Рух колосків озимої пшениці по обтічнику очісувального пристрою

Після контакту колоса з обтічником він починає рухатися та притискається до поверхні наступними рослинами. Під час руху колоса може відбуватися відділення зерна під дією сил тертя. Величина коефіцієнта тертя залежить від матеріалу, з якого виготовлена контактуюча поверхня обтічника. Оскільки сумарні сили, що діють на колос під час контакту з обтічником, неможливо визначити теоретично (рис. 2.5), розрахунок цих зусиль було виконано експериментально.



Рис. 2.5

### 2.3 Методи використання математичної моделі процесу руху зерна в транспортному каналі

Як показано в роботах [37, 33], після контакту зі стінкою обтічника рослини, що збираються, рухаються по його поверхні та потрапляють у зону очісу під дією пружних сил стебел, а їх колоски взаємодіють із очісувальними зубами.

Завдяки запропонованим математичним моделям можна визначати координати контакту колоса з очісувальним зубом та швидкість руху зерна при його сході з зуба. Ці величини залежать від параметрів рослин, міцності колоса і зерна, частоти обертання барабана та положення обтічника. Втрати зерна при контакті з внутрішньою поверхнею обтічника можуть виникати, якщо проекція його швидкості на вісь у менша за швидкість витання (зони I, II, III, див. рис. 1.11) [29].

При очісуванні хлібостою одно-барабанною жнивркою можливі два варіанти руху зерна після його відриву від колоса:

1. Зерно рухається по зубу з подальшим сходом із нього.
2. Зерно відбивається прямо та продовжує рух по транспортному каналу, якщо йому не перешкоджають колосся та стебла сусідніх рослин, що контактують із зубом.

Обидва випадки можуть відбуватися в будь-якій точці контакту колоса з зубом.

Під час руху продуктів очісування в транспортному каналі може виникати багаторазовий контакт із його внутрішньою поверхнею. Такі зіткнення зменшують швидкість руху, особливо критично важливого компонента — зерна, а також змінюють його напрямок, що в кінцевому результаті може спричинити втрати. Процес контакту зерна з внутрішньою поверхнею каналу можна моделювати на основі гіпотези сухого тертя Ньютона.

При багаторазовому контакті зерна з внутрішньою поверхнею транспортного каналу очисного пристрою практично неможливо передбачити його подальшу траєкторію, використовуючи лише методи САД («MathCad»), оскільки можливий повторний контакт із зубами очисувального барабана. Для вирішення цієї проблеми пропонується комбіноване застосування методів САД та САЕ. Використані в [37] математичні моделі дозволяють визначати параметри та режими роботи очисних жниварок. Суть підходу полягає в тому, що результати розв'язання рівнянь (1.17) у пакеті «МВТУ» та (1.13) у «MathCad» використовуються як вихідні дані при проектуванні розмірів і форм основних робочих органів у середовищі «КОМПАС» [29].

Розглянемо застосування цього підходу на конкретному прикладі, представленому на рис. 2.6. Тут показано можливі варіанти руху зерна під час очісування та сходу з зуба. Точка відскоку збігається з точкою контакту  $T_1$ . Величина та напрямок вектора швидкості у момент сходу в точці  $B_1$  істотно відрізняються від параметрів у точці  $B_1$ . Третій випадок відрізняється від другого тим, що відрив зерна від колоса відбувається на початку зуба. При цьому зуб з зерном рухається від кута початку очісу на кут  $\omega \cdot t_2$ , і точка сходу зерна максимально наближається до зони входу в ложі шнека. Це дозволяє на ранньому етапі аналізу процесу очісування робити попередні висновки щодо ефективності того чи іншого варіанта.

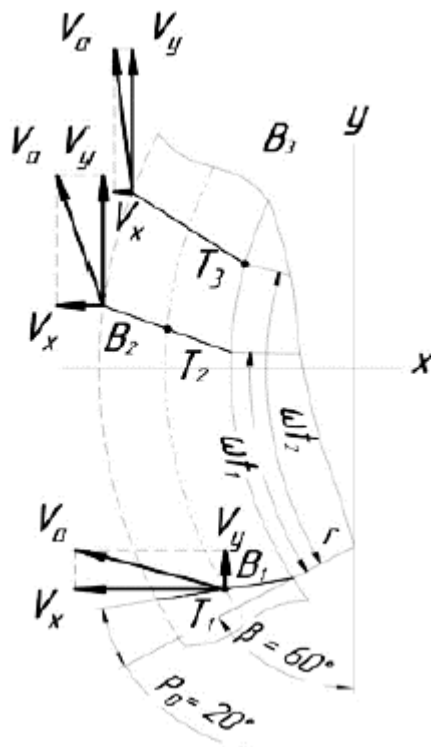


Рис. 2.6

Інформацію про координати зерна після його відскоку або сходу з зуба, а також величину і напрямок вектора швидкості використовували для визначення траєкторії його руху в транспортному каналі жниварки. Витрату повітря визначали експериментально, а режими повітряного потоку досліджували для трьох типів форм очісувальних барабанів при різних частотах їх обертання. Отримані значення швидкості повітряного потоку були необхідні для розрахунку параметрів руху зерна за виразом (1.16).

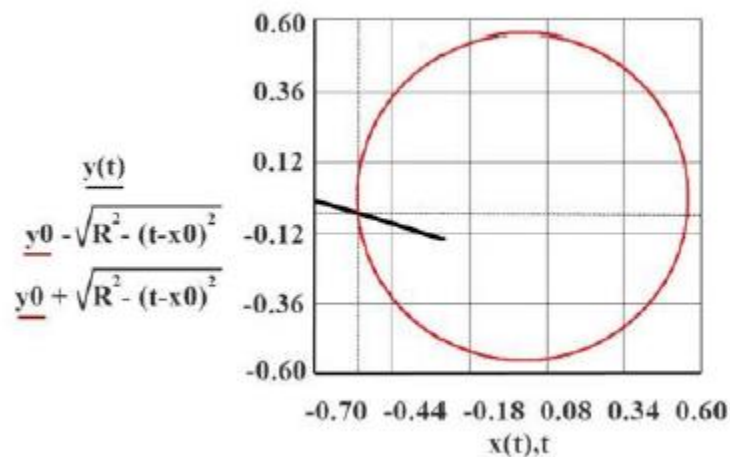


Рис. 2.7



а

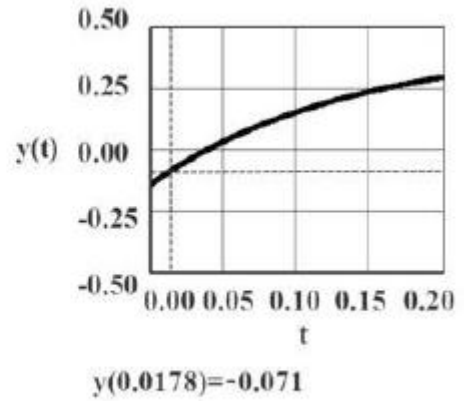
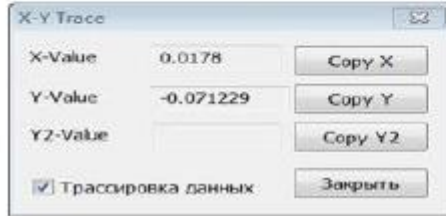


Рис. 2.7

Координати точки контакту визначали під час його активації. Час руху зерна до зіткнення з обтічником становив 0,178 с (рис. 2.8). Проекцію швидкості зерна на вісь до удару, яка дорівнювала 3,725 м/с, розраховали, виходячи з відомого часу руху (рис. 2.9). Проекцію швидкості  $V_x = -11,98$  м/с визначили за наведеною вище методикою (рис. 2.10).

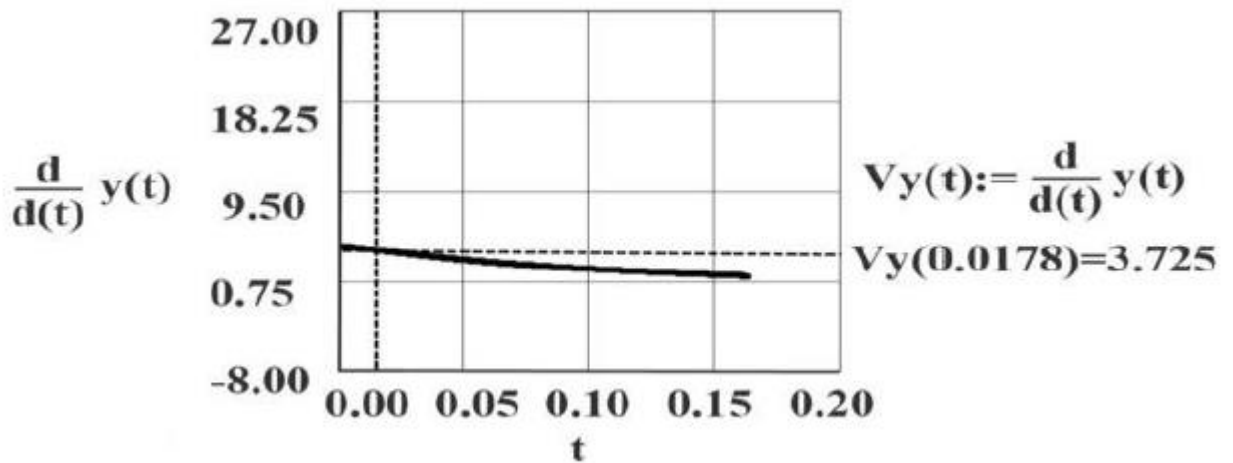


Рис. 2.8.

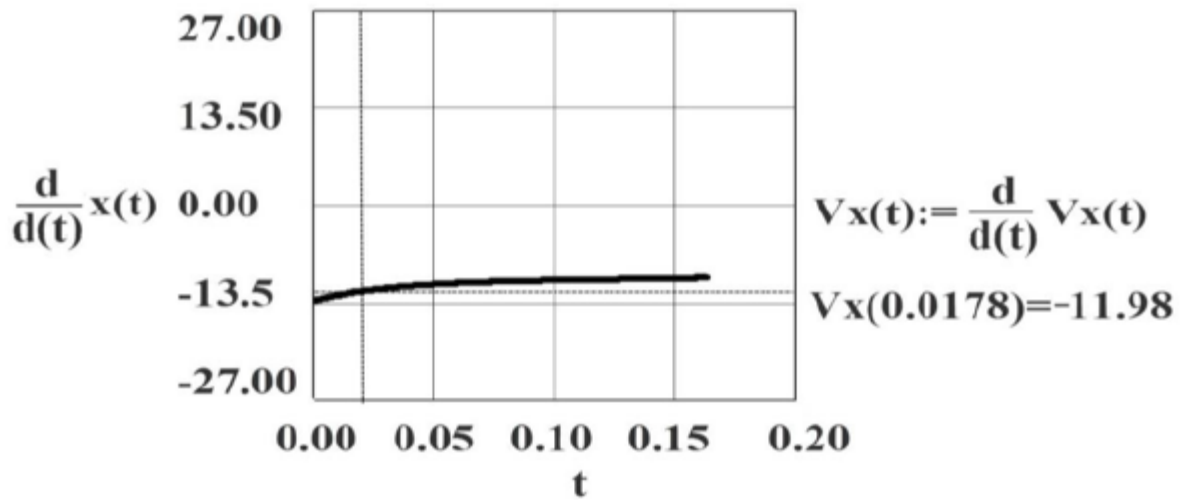


Рис. 2.9

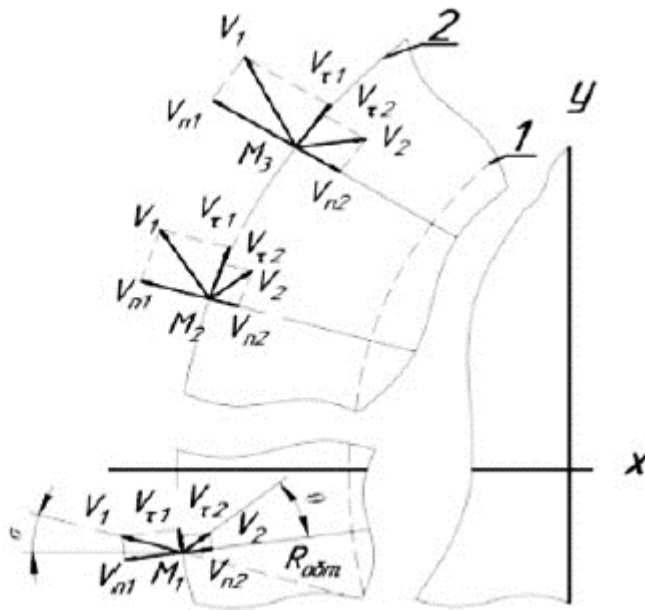


Рис. 2.10

Швидкості  $V_{2x}$  та  $V_{2y}$  підставляли у систему рівнянь (1.16). Як показано на рис. 2.10, траєкторія руху зерна після відскоку з точки  $M_1$  спрямована вгору та в бік очісувального барабана (лінія 1, рис. 2.11). При подальшому контакті з зубами барабана зерно відскочить повторно і, згідно з розрахунками за рівнянням (1.16), знову зіткнеться з внутрішньою поверхнею обтічника у точці  $M_3$ . Аналогічним чином визначили траєкторію руху зерна (лінія 3, рис. 2.11) у точці  $M_3$ .

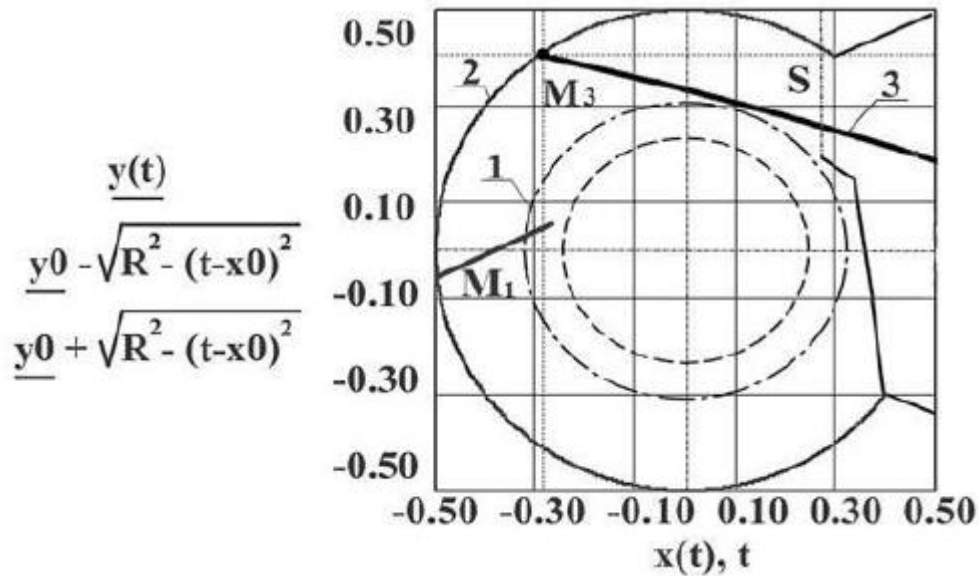


Рис. 2.11

Розроблений метод проектування одно-барабанного очисного пристрою продемонстровано на прикладі, коли обтічник жниварки та очисні зубці виготовлені зі сталі, а збирання проводиться пшениці. Як показали результати експериментальних досліджень, для створення універсальних очисних пристроїв, здатних обробляти різні культури, необхідно мати дані про їх фізико-механічні властивості.

У робочій зоні очисної жниварки знаходяться зерно та половно-соломисті фракції з різними характеристиками, що визначають їх пружні властивості та швидкість витання. Розроблені математичні моделі руху продуктів очісування застосовні лише для оцінки руху кожної фракції окремо, оскільки в них вводяться параметри компонентів вороху, що характеризують коефіцієнт тертя, пружні властивості та швидкість виділення.

Обчислення показали, що завдяки пружним властивостям і меншій парусності зерно після відскоку від зуба набуває більшої швидкості порівняно з іншими компонентами. При потраплянні у транспортний канал воно може сповільнюватися під впливом повільніших частин вороху. Якщо швидкість зерна після контакту буде меншою за швидкість витання, можливі втрати. Щоб уникнути цього, швидкість зерна разом із ворохом повинна перевищувати швидкість витання. Таку швидкість можна визначити як середню швидкість руху вороху, розраховану на основі закону збереження кількості руху [17].

## **2.4 Математична модель визначення середньої швидкості руху вороху в транспортному каналі**

Параметри руху різних компонентів вороху в транспортному каналі залежать від кута початку очісування, який визначається мінімальною висотою рослини, що обробляється, висотою розташування жнивarki, положенням обтічника, швидкістю обертання барабана, формою його поверхні та конфігурацією транспортного каналу.

Для визначення параметрів руху кожної компоненти вороху необхідно розрахувати швидкість її переміщення в каналі, починаючи з визначення точки контакту колоса з очісувальним зубом, подальшого обчислення параметрів руху по зубу та моменту сходу з нього.

Як було зазначено раніше, результати розв'язання попередньої системи рівнянь служать вихідними даними для наступних обчислень.

Швидкість руху частинок вороху по зубу  $V_{cp}$ , окружна  $V_e$  та кутова  $\omega$  обертання очісного барабана визначають кут  $\omega \cdot t$ , на який повернеться зуб разом з ворохом, що рухається по ньому. Це дозволяє визначити координати точки сходу вороху з зуба та вектор його абсолютної швидкості  $V_a$ . Ці параметри руху вороху в момент сходу з зуба використовуються для прогнозування його подальшого переміщення в транспортному каналі, забезпечення потрапляння в ложі інтегруючого шнека та мінімізації втрат зібраного матеріалу.

## **2.5 Результати використання даних для керування збиральним агрегатом**

Сучасні очисні жнивarki оснащені барабанами з 8–10 рядами зубів. Для адаптації жниварок до різних характеристик хлібостою вони обладнані механізмами регулювання висоти установки жнивarki, положення нижньої кромки обтічника, положення очісного барабана та частоти його обертання.

Зменшення кута початку очісу для коротких рослин практично не вплине на режим очісу при контакті їх із зубами барабана жнивarki, якщо висота установки жнивarki залишається незмінною. У той же час кут нахилу стебел найдовших рослин суттєво зменшиться, а місце їх кріплення в ґрунті зміститься назад відносно вертикальної осі, що проходить через центр барабана. Якщо при цьому неможливо підняти жниварку, зростає ймовірність того, що барабан контактуватиме не з колосом, а зі стеблом рослини максимальної довжини.

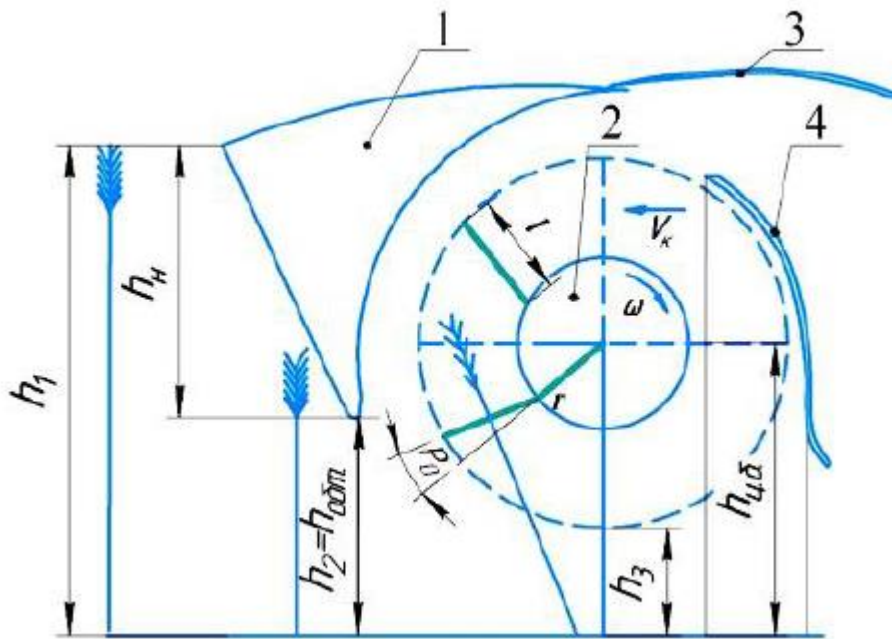


Рис. 2.12

Удари по стеблу, колос якого знаходиться на початку транспортного каналу, але ще не контактує з очісувальним зубом, викликають його коливання, що може призвести до вимолочування зерен і їх втрат. Розглянуті режими роботи жниварок є граничними для їх використання. Для визначення таких граничних режимів експлуатації існуючих жниварок та обґрунтування параметрів і режимів роботи нових моделей, призначених для збору культур із заданими характеристиками та їх діапазоном варіювання, пропонується метод, що базується на застосуванні систем САЕ («Компас»).

При цьому найбільші складнощі виникають при визначенні параметра  $h_3$ , оскільки положення нижньої кромки обтічника залежить від висоти стебла рослини мінімальної довжини. Візуально визначити це значення важко через

специфічну форму корпусу жнивarki, а також відсутні методи визначення  $h_3$  та  $h_{обт}$  для рослин із високим ступенем ярусності. Правильний вибір  $h_3$  критично важливий для запобігання контакту зубців очісувального барабана з поверхнею поля під час руху агрегату. У той же час, якщо величина  $h_2$ , що характеризує стебло мінімальної довжини, є досить малою, У такому разі, для виконання умови першої частини виразу  $h_{обт} = h_2 h_{обт} = h_2$ , доводиться опускати обтічник, що, у свою чергу, зменшує кут початку очісу  $\beta$ . При фіксованій вологості хлібостою його неконтрольованими характеристиками залишаються ярусність (нерівномірність рослин за висотою) та її варіації на різних ділянках поля. Під час досліджень на одному полі було встановлено, що для одного сорту, при оцінці ступеня нерівномірності рослин за висотою на окремих ділянках, чим вищі рослини з максимальною довжиною, тим більші лінійні розміри мають рослини мінімальної довжини.

Можливість застосування зазначених систем для поставлених завдань перевіряли шляхом моделювання процесу очісу озимої пшениці на реальному полі, характеристики хлібостою якого визначали відповідно до методики [16]. Результати показали наявність ярусності хлібостою на досліджуваному полі [33]. Подібне явище спостерігається і на інших полях. На величину ярусності впливають природні та технологічні фактори. При проектуванні обтічника його розміри та положення нижньої кромки відносно поверхні поля необхідно визначати, враховуючи максимальні та мінімальні висоти рослин [21, 28].

На рисунках 2.13 та 2.14 наведено результати моделювання процесу очісу жнивarkою в точках В10 та А6. Параметри взаємного розташування робочих органів жнивarki визначали за допомогою математичних моделей у пакетах програм «МВТУ» та «MathCad», а їхнє фактичне розташування відтворювали у пакеті «Компас». Процедури побудови конкретної ситуації взаємного розташування рослин і кромки обтічника наведені на рис. 2.14.

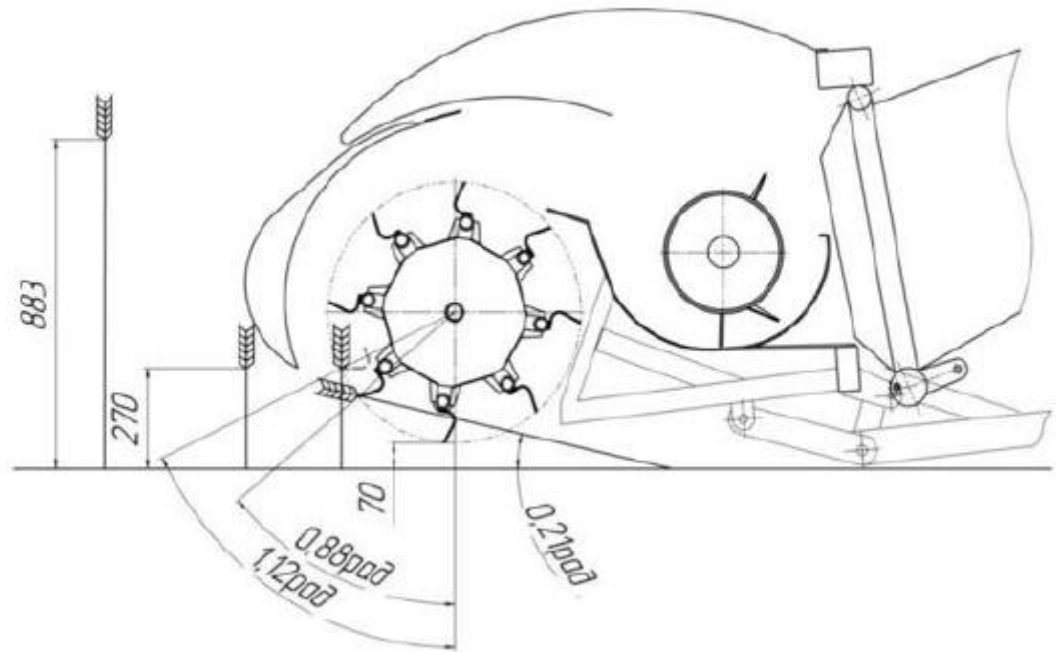


Рис. 2.13

Якщо стебла рослин мінімальної довжини мають висоту 0,27 м, а кут початку їх очісу  $\beta_{bb}$  становить 1,12 рад, зерно, виділене з їх колосків, потрапляє у транспортуєчий канал жниварки. У той же час зерно з колосків рослин верхнього ярусу може бути втрачено через вібрації, спричинені ударами по стеблах зубцями барабана (рис. 2.14). Щоб уникнути таких ударів по стеблах рослин максимальної довжини, необхідно підняти жниварку. Проте якщо стебла мінімальної висоти залишаються без змін, зростає ймовірність втрат зерна під час їх очісування. У випадку збереження ступеня ярусності масиву, але при загальному збільшенні висоти рослин, цю проблему можна вирішити підняттям жниварки з положення I у положення II щодо поверхні ґрунту (рис. 2.14).

Очіс рослин мінімальної висоти на ділянці В10 при куті початку очісу 1,57 рад.

При сході рослин максимальної висоти з обтічника їх стебло нахилене під кутом 0,21 рад. У такому положенні жниварки та обтічника умови очісування будуть однаковими на ділянках В10 та А6, забезпечуючи збереження мінімальних за висотою рослин без втрат. Підняття жниварки на 0,22 м призведе до збільшення кута нахилу стебла до 0,35 рад (рис. 2.14).

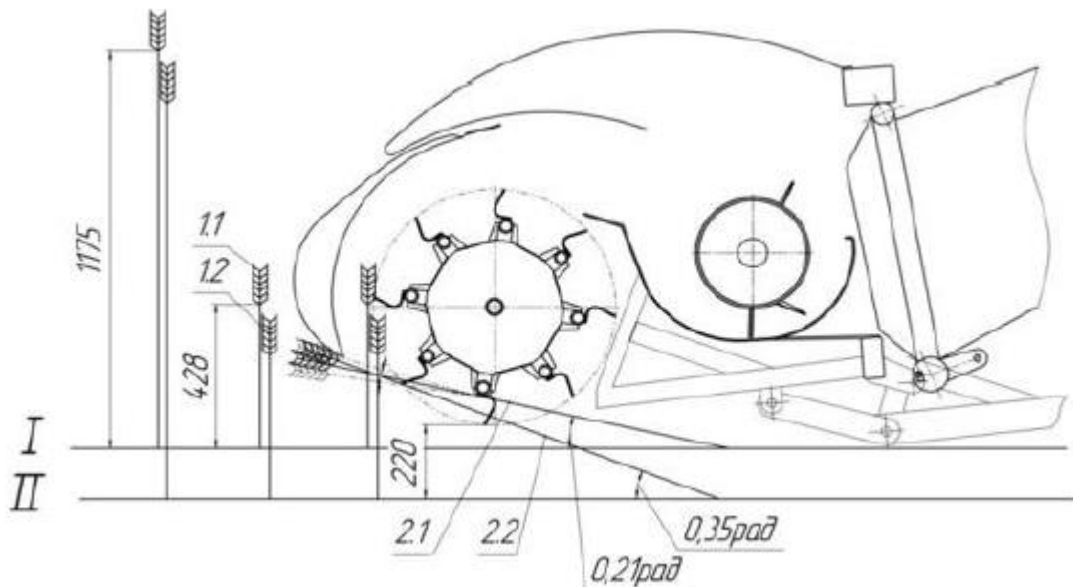


Рис. 2.14

Внаслідок цього стебло рослини буде прослизати між зубцями, не торкаючись корпусів граблин, що забезпечить нормальний процес очісу. Як показано на ділянках А6 та В10, при таких умовах параметри та режими роботи жнивarki залишаються незмінними, за винятком її висоти над поверхнею поля.

У роботі [37] доведено, що зміна кута нахилу очісних зубів у напрямку руху їх обертання змінює траєкторію руху зерна після сходу з зубів у той самий бік, що сприяє подачі зерна з колосків рослин максимальної висоти в ложі шнека. Згідно з виразом (2.10), якщо цих заходів недостатньо, при проектуванні жнивarki необхідно збільшити діаметр барабана. Крім того, при очісуванні культур із підвищеною вологістю коефіцієнт відновлення зерна зменшується, що знижує його швидкість після відскоку від зуба, і в такому випадку також доцільно збільшувати діаметр барабана.

При збиранні культур із підвищеною вологістю коефіцієнт відновлення зерна зменшується, через що його швидкість після відскоку від зуба також знижується, що може призводити до втрат. Щоб уникнути таких втрат, необхідно збільшити частоту обертання очісувального барабана або, при проектуванні, розглянути збільшення його діаметра.

З наведеного опису дій оператора під час роботи комбайна з очісувальною жнивarkoю на полі, де рослини на різних ділянках мають різну максимальну та

мінімальну довжину, впливає, що для ефективного оперативного управління параметрами та режимами роботи жнивarki вона повинна бути оснащена пристроями, які забезпечують поточне отримання інформації:

- про висоту розташування очісувального барабана відносно поверхні поля;
- про висоту розташування нижньої кромки обтічника відносно горизонтальної площини, що проходить через центр барабана;
- про частоту обертання барабана за допомогою приладу з візуальним відображенням, а також датчиків втрат, встановлених на зовнішній стінці ложа шнека з боку барабана;
- про величину кута нахилу очісувальних зубів за допомогою приладу з візуальним індикатором;
- запропоновано спосіб передачі навантаження від жнивarki, навішеної на похилу камеру комбайна, що дозволяє повторювати рельєф поля при гарантійній відсутності контакту зубців барабана з його поверхнею [48].

## РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ОЧІСУЮЧОЇ ЖНИВАРКИ

### 3.1 Методика дослідження процесу очісування в лабораторних умовах

Проведені теоретичні дослідження показали необхідність створення очісувального барабана зі змінним кутом нахилу зубців, можливістю оперативного регулювання висоти очісування та положення переднього кожуха залежно від висоти очисних рослин, а також регулювання числа обертів барабана при збиранні хлібів із різною міцністю зв'язку зерна з колосом. Перевірка цих положень у реальних виробничих умовах у великих обсягах є економічно недоцільною, тому була розроблена лабораторна установка, що дозволяє проводити експериментальні дослідження у необхідному обсязі в лабораторних умовах [32]. Схему лабораторної установки наведено на рис. 3.1.

Використання лабораторної установки дає змогу адекватно змоделювати процес очісування хлібостою рослин зернових культур, оцінити роботу одно- або двобарабанних очісувальних пристроїв, визначити оптимальні параметри та режими технологічного процесу, а також окреслити напрями його вдосконалення.

Лабораторна установка [22] складається з рами 1, на якій на валах 2 та 5 змонтовані очісувальний барабан 3 із знімними гребінками 4 та шнек 6 з лопатками 7, корпус 8 і поле 9 для подачі рослин, а також привід. Рама 1 оснащена телескопічними стійками 10, що дозволяють регулювати висоту її розташування та висоту очісувального барабана 3 відносно поверхні поля (грунту). Очісувальний барабан 3 може мати циліндричну або гранену форму.

Знімні гребінки 4 (рис. 3.2) можуть кріпитися до очісувального барабана 3 двома способами: жорстко за допомогою різьбових з'єднань 11 або поворотно, з можливістю регулювання кута нахилу ( $\alpha$ гр) відносно радіуса барабана 3 (рис. 3.2) [15].

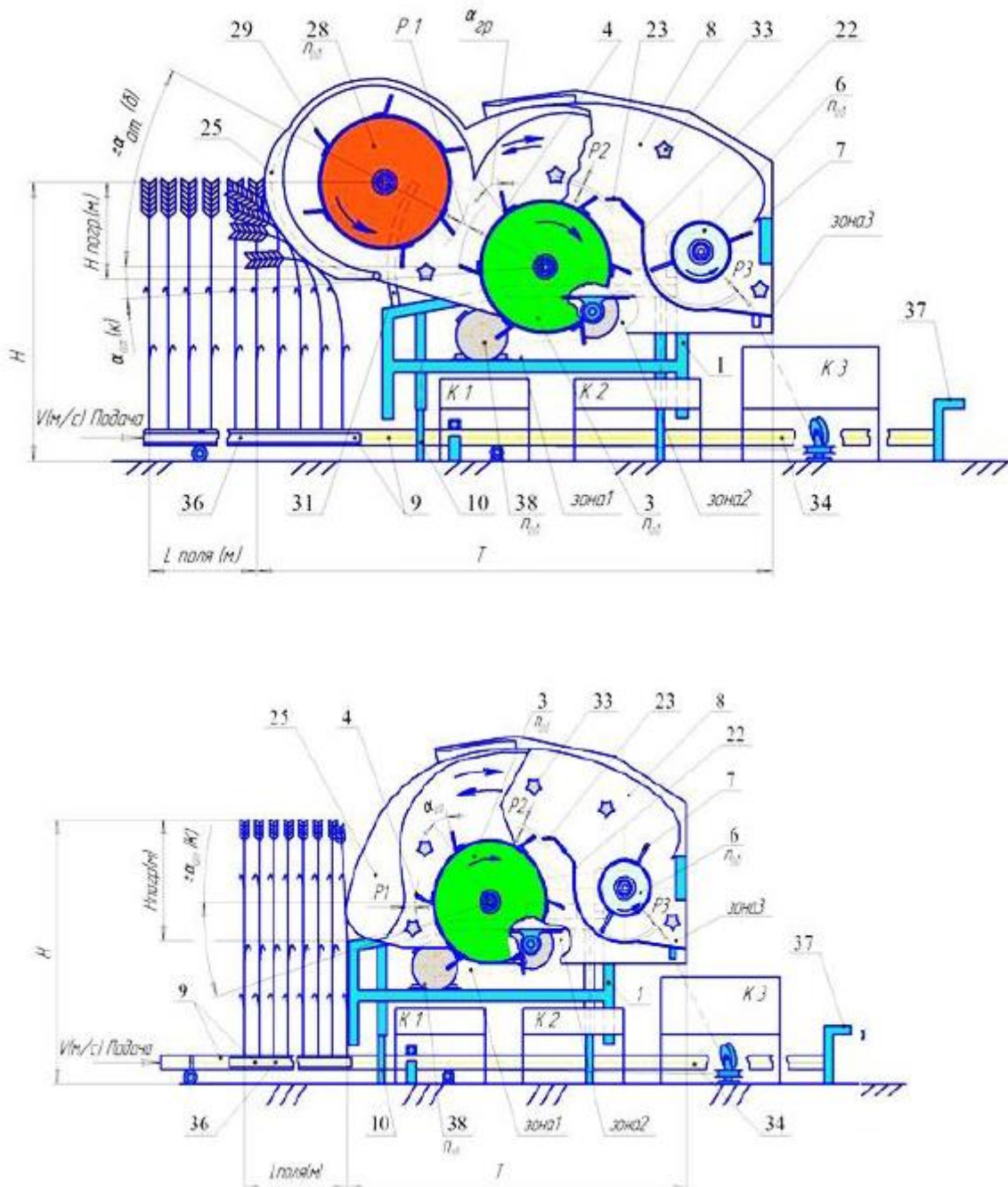


Рис. 3.1

У цьому випадку знімні гребінки 4 встановлені на втулках 12, які за допомогою хомутів 13 закріплені на барабані 3. Кожна втулка 12 оснащена повідцем 14 з пальцем 15, що взаємодіє з радіальним пазом 16 поворотного диска 17. Поворотний диск 17 з'єднаний з очісувальним барабаном 3 через ослаблене різьбове з'єднання, що дозволяє регулювати нахил знімних гребінок 4 відносно

радіуса барабана за допомогою радіальних пазів 16, пальців 15 і повідців 14 втулок 12.

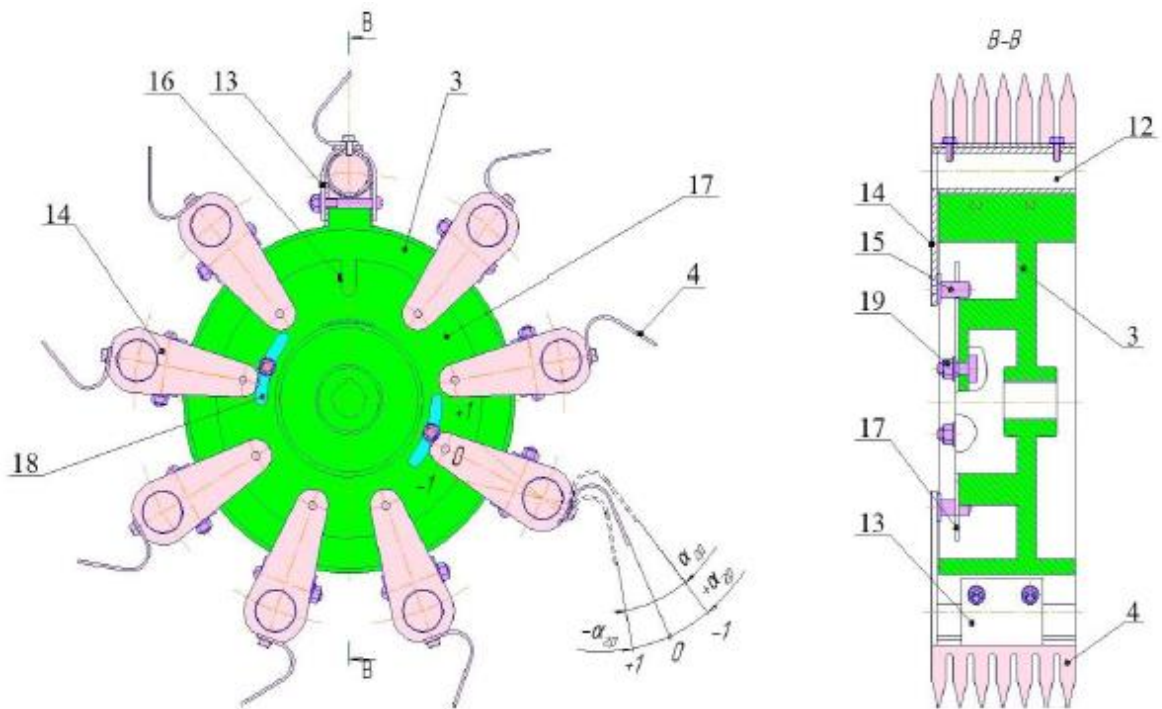


Рис. 3.2

Привід лабораторної установки забезпечує обертання приймального пристрою 28, очісувального барабана 3 та шнека 6, а також рух біжучого поля 9 для подачі рослин. Система приводу очісувальних барабанів, шнека та приймального пристрою включає електродвигун 38 і ланцюгові передачі зі зірочками Z1, Z2, Z3, Z4 і Z5, які мають фіксовану кількість зубів. Для регулювання числа обертів приймального пристрою 28, барабана 3 і шнека 6 електродвигун оснащений регулятором частоти обертання вала. До складу лабораторної установки також входить додатковий набір змінних зірочок із кількістю зубів, відмінною від стандартної. Втрати вільного зерна, зерна в колосках та загальної маси обчесаних рослин збираються у контейнерах К1, К2 і К3 (рис. 3.1).

Підготовка лабораторної установки проводиться наступним чином. Відповідно до програми досліджень комплектують установку: встановлюють необхідний тип очісувального барабана 3, закріплюють на ньому знімні гребінки 4 із заданим кутом нахилу ( $\alpha_{gr}$ ) щодо радіусу барабана або регулюють його (рис. 3.2); монтують передній знімний поворотний кожух 25 (рис. 3.1a) або без

барабана 28 (рис. 3.1б); регулюють та фіксують досліджувані параметри, зокрема зазори між поверхнею переднього кожуха 25 і гребінками 4 барабана (P1) або між гребінками 29 приймального 28 і гребінками 4 барабана; встановлюють і фіксують зазори між гребінками 4 очісувального барабана 3 і рухомим щитком 23 ложа 22 шнека 6 (P2); а також між лопатками 7 шнека 6 і ложе 22 (P3).

На брусі 34 рухомого поля 9 рослини закріплюють за допомогою рейок 36 з притисками, розташовуючи їх так само, як на полі у рядках. Брус 34 з рослинами встановлюють уздовж лабораторної установки, щоб початок хлібостою контактував із переднім поворотним кожухом 25, після чого брус фіксують обмежувачем 37. Другий кінець тягового троса 43 прикріплюють до одного зі шківів блоку 41. У гніздах 32 корпусу 8 і переднього кожуха 25 монтують спеціальні датчики 33 для вимірювання швидкості повітряного потоку.

Відповідно до висоти рослин (Нхліб) за допомогою телескопічних стійок 10 встановлюють і фіксують глибину занурення переднього рухомого кожуха 25 у хлібостій (Нпогр), його кут атаки ( $\alpha_{ат}(K)$ ) та кут атаки приймального барабана 28 ( $\alpha_{ат}(б)$ ). У зонах 1, 2 і 3 лабораторної установки розміщують порожні контейнери K1, K2 і K3 для збору матеріалу.

Лабораторна установка (рис. 3.1) працює наступним чином. Увімкнюють електродвигун 38 приводу приймального барабана 28, очісувальних барабанів 3 і шнека 6 та набирають номінальні оберти (ноб), контрольовані тахометром. Блок шнеків 41, завдяки фрикційній муфті та обмежувачу 37 бруса 34 рухомого поля 9, залишається нерухомим на валу 5 шнека 6. Після цього знімають обмежувач 37 бруса 34 та фіксують тривалість роботи секундоміром. По завершенні експерименту вимикають секундомір і електродвигун 38. Всі отримані матеріали збирають у контейнери: зона 1 – K1, зона 2 – K2.

Параметри лабораторної установки налаштовували, виконуючи вимірювання тричі. Потім, за аналогією з попередньою послідовністю, змінюють або регулюють один із параметрів (зазори) і продовжують дослід.

### 3.2 Методика визначення характеристик повітряного потоку

Швидкість руху очісувального вороху залежить від енергії, яку він отримує при контакті із зубами барабана, і від швидкості повітряного потоку, що виникає в процесі роботи. Дані про швидкість повітряного потоку та її зміну необхідні для розрахунку за математичними моделями та визначення середньої швидкості руху вороху.

### 3.3 Результати експериментальних досліджень

Для перевірки теоретичних моделей, що описують процес очісування зернових культур, були проведені лабораторні дослідження на установці, схема якої охороняється патентом на корисну модель [17] (рис. 3.3).



Рис. 3.3

Моделювання процесу очісування виконували на підготовлених снопах озимої пшениці сорту Дмитро з вологістю 11 %, яку визначали приладом «Willi-65». Для дослідів рослини закріплювали на рейці-імітаторі рухомого поля.

Висоту осі очісувального барабана встановили на 0,60 м, а нижню кромку переднього кожуха – на 0,39 м від поверхні підлоги, що відповідало оптимальним умовам для висоти рослин 0,62–0,43 м. Під час експерименту з прямостоячим хлібостоем використовували два типи барабанів: перший – з розвиненою поверхнею та механізмом регулювання кута нахилу очисних зубців (рис. 3.4 а);

другий – у вигляді восьмигранної призми з жорстко закріпленими зубцями під кутом 0,35 рад. (рис. 3.5).

На барабані першого типу зубці очісування фіксували під кутами 0,35 та 0,70 рад., при частотах обертання  $51 \text{ с}^{-1}$  (490 об/хв) та  $60 \text{ с}^{-1}$  (570 об/хв) і швидкості руху поля 2,4 м/с.

У першому досліді при куті нахилу очісувальних зубів 0,35 рад та швидкості рухомого поля 2,4 м/с режим роботи очисного пристрою виявився сприятливим — втрати зерна при частоті обертання барабана  $60 \text{ с}^{-1}$  (570 об/хв) склали 0,69 %. У четвертому досліді, при частоті обертання  $51 \text{ с}^{-1}$  (490 об/хв), втрати дещо збільшилися до 0,9 %. Це зумовлено високим ступенем зв'язку зерна з колосом, тому для ефективного відокремлення зерна при такій вологості хлібостою необхідно збільшити ударний імпульс, що досягається підвищенням частоти обертання барабана.

При густоті рослин на полі 80 одиниць на погонний метр, швидкості руху 2,4 м/с і частоті обертання барабана 570 об/хв в очісувальну щілину зазвичай потрапляє лише одна рослина. Відносно низька швидкість подачі та мала густина рослин створюють умови для трохи завищених втрат, близько 0,7 % (дослід 1). На рис. 3.4 наведені кадри процесу очісування на лабораторній установці.

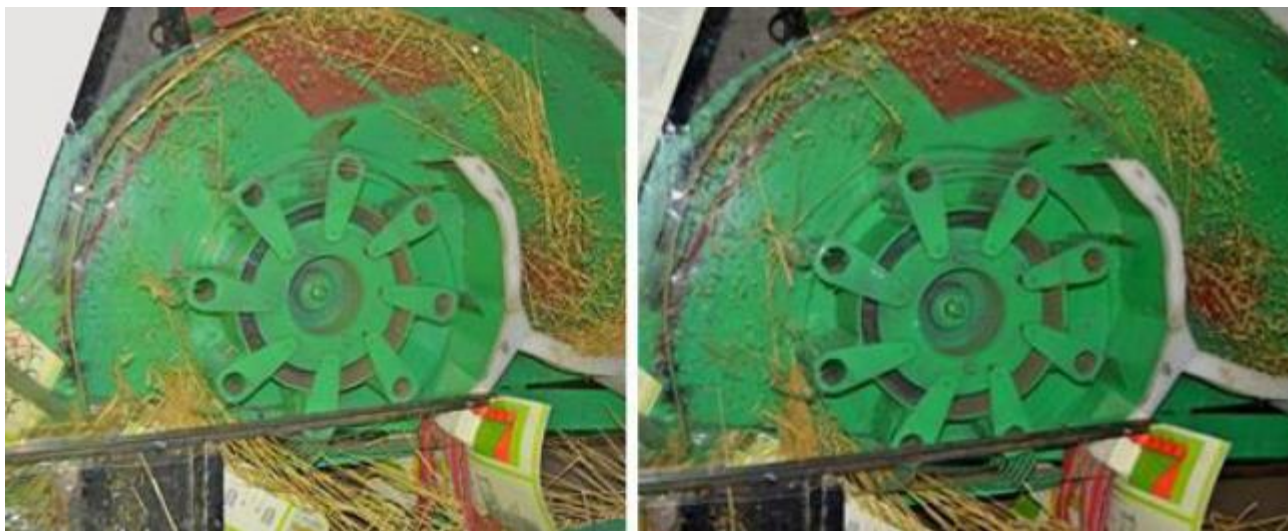


Рис. 3.4

У ході проведення дослідів 2 і 4, при зміні кута нахилу очісувальних зубів на барабані першого типу з 0,35 до 0,70 рад, частоті обертання  $60 \text{ с}^{-1}$  (570 об/хв) та швидкості рухомого поля 2,4 м/с, втрати зерна збільшилися з 0,7 до 1,5 %. При

зниженні частоти обертання до  $51 \text{ с}^{-1}$  (490 об/хв) втрати зросли з 0,9 до 2,2 %. Це пояснюється зміною траєкторії руху зерна після його сходу з зуба в транспортному каналі очісувального пристрою. Як зазначено в роботі [17], траєкторія зерна при цьому нахилена назад до горизонтальної площини, що підвищує ймовірність повторного контакту з зубцями та затягування його в зазор між ними і передньою кромкою ложа шнека.

Досліди 6 і 7 виконувалися при тих самих режимах роботи, що й у дослідях 1 і 2, але барабан першого типу був замінений на восьмигранний з жорстко закріпленими очісувальними зубами (рис. 3.5). Порівняння результатів дослідів 1, 3 та 6, 7 показало, що зміна форми поверхні очісувального барабана при збереженні його режимів і параметрів роботи не призводить до істотного збільшення втрат зерна.

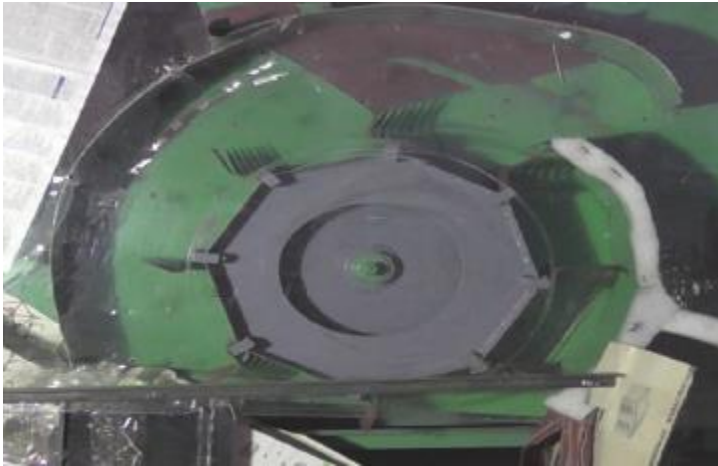


Рис. 3.5

Вплив зміни кута нахилу очісувальних зубів на втрати зерна оцінювали шляхом встановлення рослин озимої пшениці під певним кутом щодо напрямку руху біжучого поля, що показано на рис. 3.6. Режим роботи очісувального пристрою залишили незмінним, таким же, як у досліді 1.



Рис. 3.6

Результати експерименту свідчать, що при очісуванні полеглих рослин, закріплених на біжучому полі з такою ж щільністю, як у попередніх дослідах, збільшення кута нахилу очісувальних зубів з 0,35 рад до 0,70 рад дозволило зменшити втрати зерна з 1,16 % до 0,62 %.

Очевидно, що використання барабана з регульованим кутом нахилу очісувальних зубців дозволяє покращити ефективність роботи очісувальної жниварки при збиранні полеглих хлібів та хлібів із великою різницею у висоті рослин.

#### **3.4 Результати очісування зернового та цукрового сорго на лабораторній установці**

При впровадженні жниварки в господарствах виник інтерес до оцінки якості збирання сорго. Однією з проблем при збиранні зернового сорго є те, що при досягненні зерном збиральної вологості 14–16 % стебла залишаються вдвічі вологішими — до 30–40 %. При використанні жниварок суцільного зрізу зерно, яке спочатку має збиральну вологість, після обмолоту в МСП комбайна з вологими стеблами підвищує вологість до 20 % і потребує додаткової обробки на сушильних установках.

Очісування сорго передбачає відділення лише суцвіть і зерна, що дозволяє обійтися без сушіння після збору. Якість очісування сортів сорго, які відрізняються фізико-механічними властивостями, таких як Зерноградське 53 та

гібрид Слов'янське, перевіряли на лабораторній установці, адаптованій для збирання зернових колосових культур.

Перед дослідями визначили висоту рослин обох сортів: у Зерноградського 53 ярусність не перевищувала 0,20 м, а у Слов'янського досягала 0,60 м. Діаметр стебла в зоні контакту з очісувальними зубами становив відповідно 0,004–0,008 м і 0,008–0,016 м.

Вологість зерна сорго вимірювали за допомогою приладу Wipfle-65. Діаметр стебел у зоні контакту з очісувальними зубами становив відповідно 0,004–0,008 м та 0,008–0,016 м. Очісування проводили на лабораторній установці (рис. 3.1), причому кожний експеримент повторювали тричі. На рис. 3.7 показано фотографію процесу очісування сорту Зеркноградське 53.

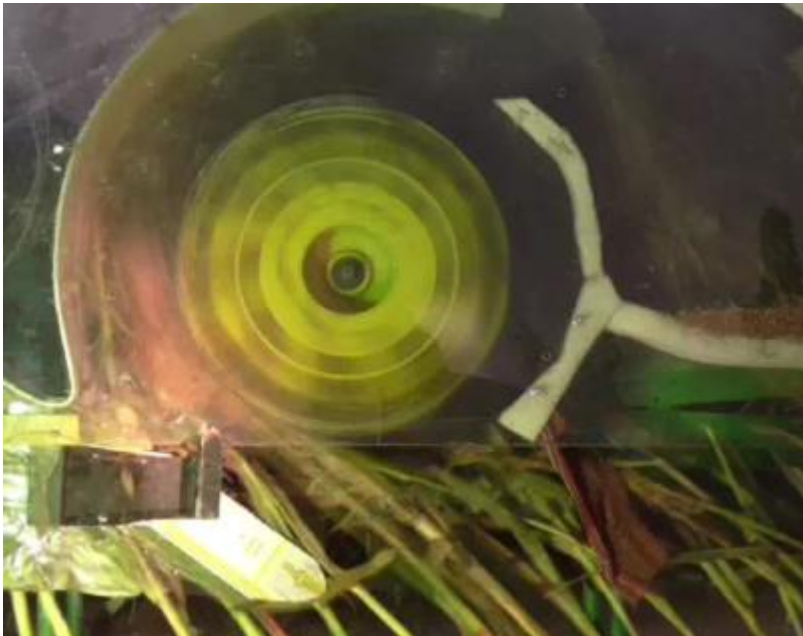


Рис. 3.7

На рис. 3.8 зображено рухоме поле з рослинами сорту сорго Слов'янське після проведеного очісування.



Рис. 3.8

З отриманих вимірювань і фотографій видно, що рослини сорго сорту Слов'янське значно різняться за висотою та товщиною стебел, яка досягала 0,16 м, що суттєво вплинуло на обсяг втрат. Додатково на втрати впливали бур'яни. Оскільки зазор між очісувальними зубами становив лише 0,008 м, частина колосків була фактично зрізана з рослин.

Через значну різницю у висоті рослин деякі колоски та їхні фрагменти втрачалися при контакті з очісувальними зубами (рис. 3.8).

Очісаний ворох рослин сорту Зерноградське 53 складався переважно з вільного зерна та невеликої кількості фрагментів стебел і колосся (рис. 3.9 б).



Рис. 3.9

Як видно з рис. 3.9 б, частка соломистої фракції в очісаному вороху невелика. Рослини сорго мають істотні відмінності від пшениці, зокрема за товщиною та міцністю стебла. Суцвіття цих культур також різняться: у пшениці зерно після повного дозрівання утримується переважно лусочками, тоді як у

сорго, будучи голозерним, зерно тримається у волоті завдяки зв'язку з плодоніжкою. На якість процесу очісування суттєво впливають різниця висоти рослин, товщина їхніх стебел і міцність зв'язку зерна сорго з мітелкою.

Було відмічено, що вологість зерна після очісування підвищилася лише на 0,7 % у сорту Слов'янське на полі 208. Значніше збільшення вологості у цьому випадку пов'язане з обривами та руйнуваннями стебел, що призвело до формування в купі більшої частки незернової маси врожаю (рис. 3.9 а). Через це втрати зерна сорго сорту Слов'янське на полі 208 виявилися в 2,64 рази більшими, ніж у сорту Зернорградське 53.

### **3.5 Результати вимірювання швидкості повітряного потоку у робочому просторі лабораторної установки**

Для проведення експериментальних досліджень на лабораторній установці були виготовлені очісувальні барабани наступних типів:

- з циліндричною поверхнею та шістьма рядами гребінок;
- у формі восьмигранної призми з жорстко закріпленими вісьмома рядами гребінок;
- восьмигранна призма з вісьмома рядами гребінок, обладнана механізмом регулювання кута їх нахилу.

Барабан з циліндричною поверхнею та шістьма рядами гребінок показано на рис. 3.10 а, а зміни швидкості повітряного потоку в робочому просторі лабораторної установки, виміряного за методикою, наведено на рис. 3.10 б.

Швидкість повітряного потоку, створюваного циліндричним барабаном із шістьма рядами гребінок, вимірювали при частоті його обертання 51 та 60 с<sup>-1</sup>.

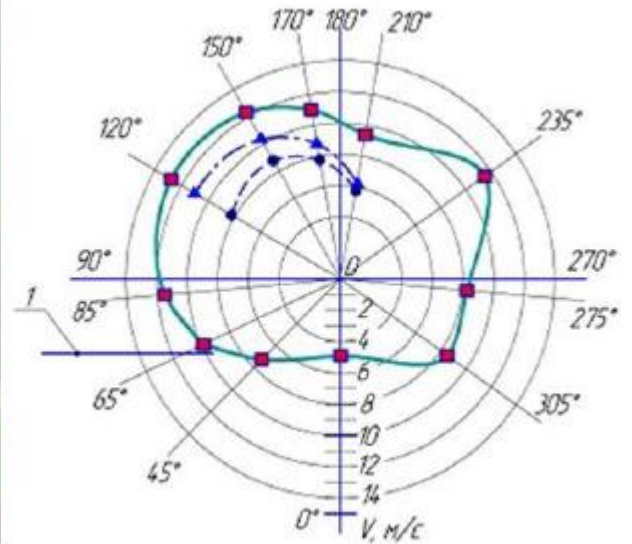


Рис. 3.10

Максимальна швидкість повітряного потоку (рис. 3.10) досягає 13 м/с у точці під кутом  $120^\circ$ . При очісуванні барабаном із шістьма рядами зубців і частоті обертання  $60 \text{ с}^{-1}$  кількість ударів очісувальних зубців у секунду становить 57. Для барабана з восьмигранною поверхнею та жорстко закріпленими вісьмома рядами гребінок при частоті  $51 \text{ с}^{-1}$  число ударів збільшується до 65. Як показують наведені дані, інтенсивність роботи очісувальних барабанів з вісьмома рядами гребінок значно вища, що дає змогу проводити очісування при нижчій частоті їх обертання.

На рис. 3.11 наведено два варіанти конструкцій очісувальних барабанів, що досліджувалися.

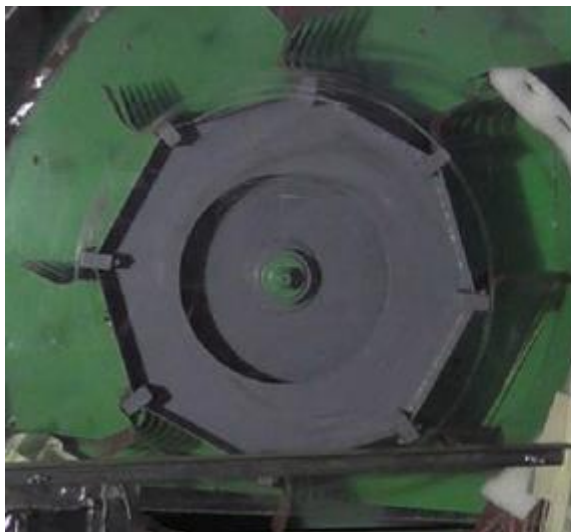


Рис. 3.11

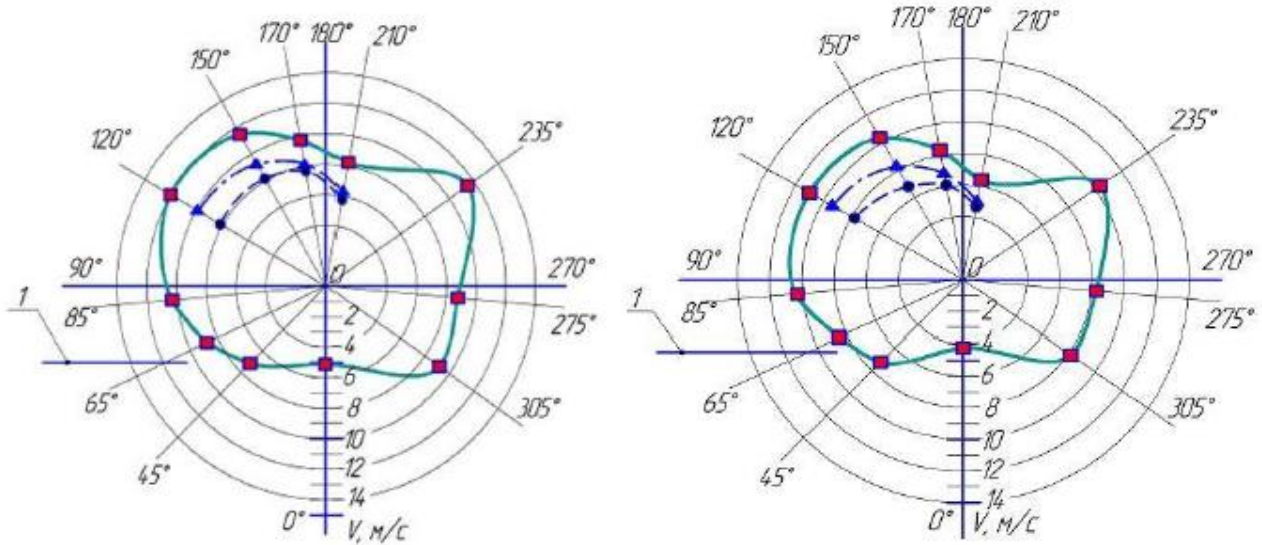


Рис. 3.12

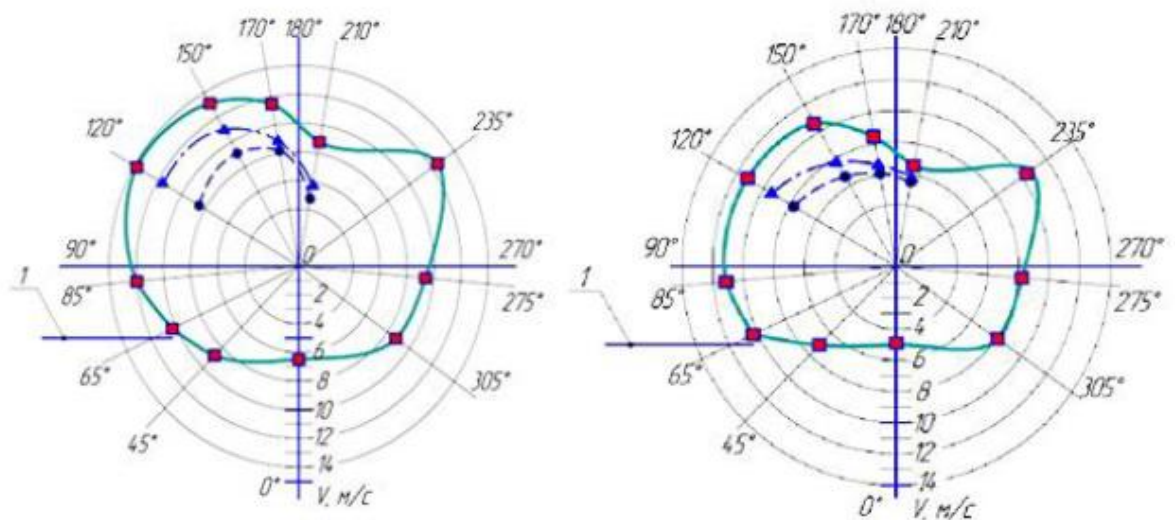


Рис. 3.13

У тому ж перерізі, де розташована точка 5, але на відстані від очісувального барабана ближче до внутрішньої поверхні обтічника, швидкість повітряного потоку зменшується до 11 м/с і 8 м/с (точка 12, рис. 3.4). У точках 8, 15, 19 (рис. 3.4) зниження швидкості обумовлене розширенням транспортного каналу та наявністю сіток, через які повітря виходить назовні.

При однаковій частоті обертання (рис. 3.12, 3.13) восьмигранний нерегульований барабан забезпечує більшу швидкість повітряного потоку у всіх точках виміру приблизно на 1,0 м/с ( $\approx 10\%$ ). Як показано на рис. 3.12 і 3.13, швидкість повітряного потоку при різних частотах обертання регульованого

барабана практично не змінюється. Порівняно з нерегульованим барабаном (рис. 3.11 а) та барабаном з регульованим кутом нахилу зубців (рис. 3.11 б), швидкість останнього у відповідних точках на 1–3 м/с менша. Зниження швидкості пов'язане з тим, що через розвинену поверхню барабана та збільшення глибини западин між рядами зубців ширина транспортного каналу збільшується. Щоб зменшити вплив цього фактору, барабани з регульованим кутом нахилу очісувальних зубців слід виготовляти за формою, близькою до восьмигранного барабана.



Рис. 3.14

На рис. 3.14 показано лабораторну установку [17] у двобарабанному варіанті з барабаном, оснащеним регульованим кутом нахилу очісувальних зубців.

На рис. 3.15 наведено графіки зміни швидкості повітряного потоку, виміряні в різних точках робочого простору лабораторної установки (рис. 3.14) відносно початку координат.

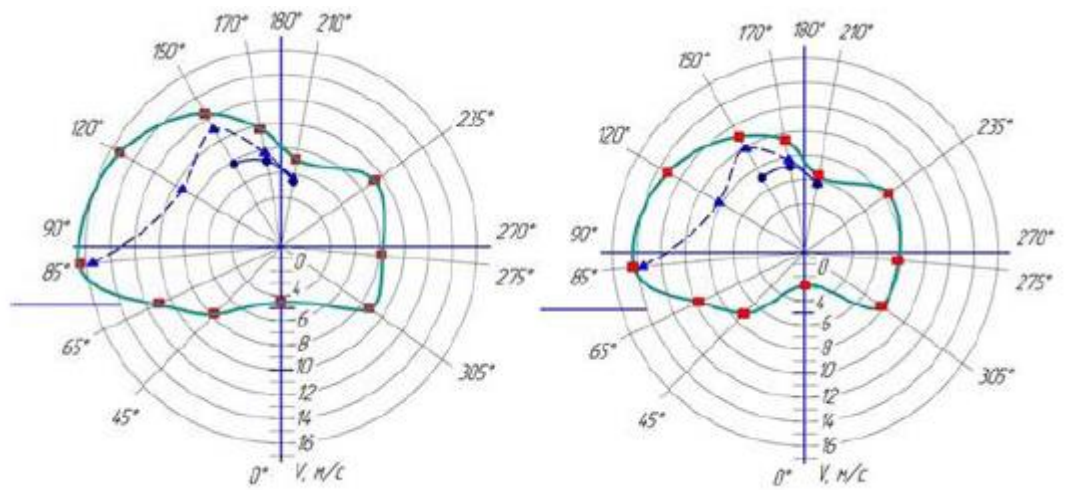


Рис. 3.15

Слід зазначити, що передній барабан обертався на 1–1,5 % швидше, ніж барабан, що очисує, а його зуби були нахилені назад, у протилежний бік від напрямку обертання. Як видно з рис. 3.15, швидкість повітряного потоку в зоні між барабанами перевищує показники однобарабанної жнивarki на 4–5 м/с, що може позитивно впливати на роботу з полеглим хлібостом. Однак у зоні зближення внутрішніх поверхонь кожуха переднього та очисного барабана спостерігається суттєве зниження швидкості потоку, що підкреслює необхідність ретельного підбору конструктивних параметрів цієї ділянки. Результати також включають визначення напрямку руху повітряного потоку.



Рис. 3.16

Повітряний потік спрямовувався в бік транспортуючого каналу та вперед по ходу жнивarki, якщо барвник повітряного потоку розташовувався нижче нижньої кромки обтічника. З цього випливає, що при сході зерна з зуба нижче

нижньої кромки обтічника існує ймовірність його переміщення повітряним потоком вперед по ходу жнивarki.

Якщо ж барвник встановлювали вище нижньої кромки обтічника (рис. 3.16 б), повітряний потік рухався лише вгору в зону транспортного каналу та далі у ложі шнека.

### **3.6 Результати польових випробувань експериментального очісувального зразка жнивarki**

На основі лабораторних досліджень щодо впливу кута нахилу очісувальних зубців на якість процесу очісування було розроблено технічне завдання та виготовлено експериментальний зразок очисної жнивarki з механізмом регулювання кута нахилу зубців [15].

Випробування проводили на полі, зайнятому озимою пшеницею сорту Бригада з врожайністю 6,09 т/га та вологістю зерна 12,3 %. Полеглість хлібостою становила 20 %, середня висота рослин – 0,68 м, співвідношення зерна до соломи – 1:1,7, забур'яненість – відсутня, маса 1000 зерен – 42,3 г.

Через наявність ярусності хлібостою на ділянці кут установки гребінок був збільшений вперед по ходу на 8°, що дозволяло уникнути викиду зерна як з низькорослих, так і з високих рослин вперед по ходу жнивarki.

За результатами випробувань комбайн РСпМ-142 «Аркрос-580» із очісувальною жнивarkою ЖОпНТУ-6 показав продуктивність 29,8 т/год за годину основного часу та 17,9 т/год за змінний час, при рівні втрат 0,47 %, з яких 0,27 % становило вільне зерно, 0,09 % — у неочесаних колосках і 0,11 % — у обірваних колосках. На рис. 3.17–3.19 наведено загальний вигляд комбайна з очисною жнивarkою, а також загальний вигляд і схему барабана зі змінним кутом нахилу очісувальних зубців.

Керування механізмом регулювання кута нахилу зубів у експериментальному зразку жнивarki здійснюється оператором з кабіни комбайна за допомогою гідроциліндра 1, який через важіль 2 передає обертання

валу 3 (рис. 3.18 б), що, у свою чергу, обертає поворотний диск 10 (рис. 3.19), пов'язаний із повідками граблин 8 очісувальних гребінок 6.



Рис. 3.17



Рис. 3.18

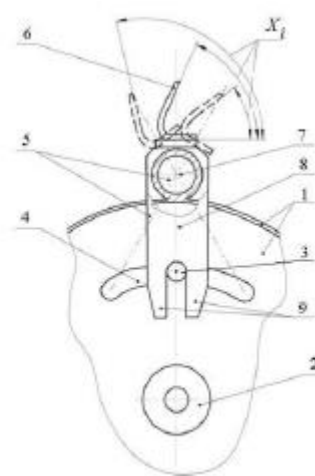
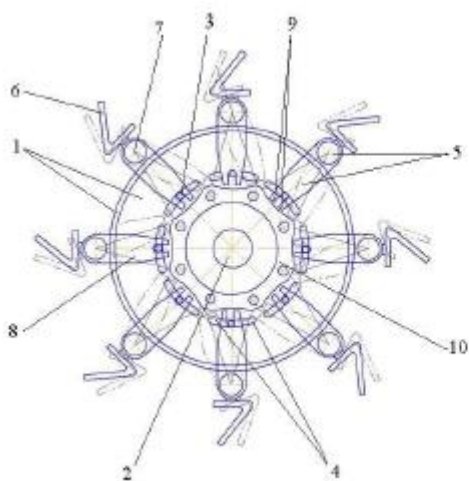


Рис. 3.19

Збиральний агрегат, що включає комбайн «Акррос-580» із навішеною жнивркою, оснащеною барабаном зі змінним кутом нахилу очісувальних зубців та механізмом копіювання, показано на рис. 3.20.

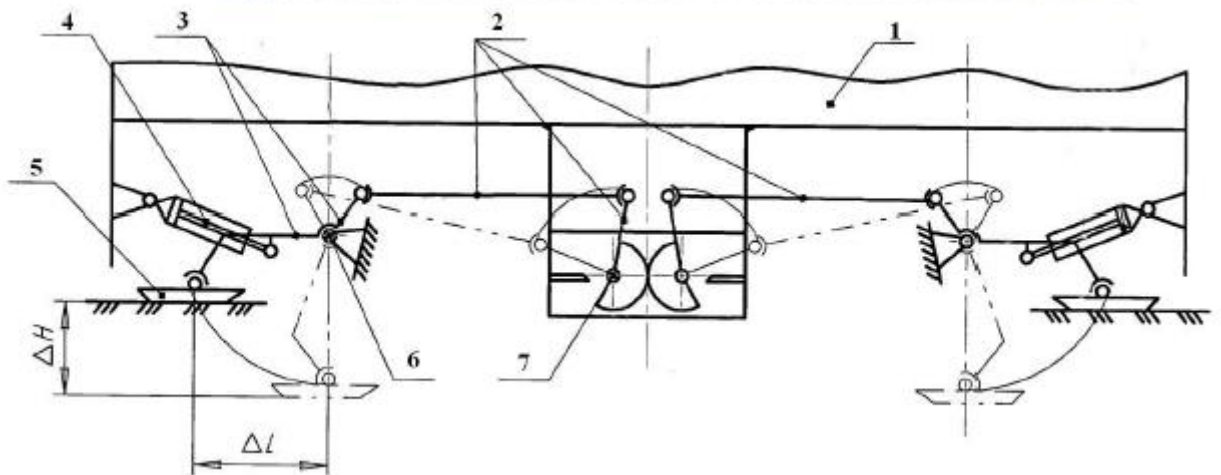


Рис. 3.20

Нове розташування опорних елементів (рис. 3.20) на поверхні поля забезпечує передачу стабільного за величиною навантаження від маси жнивварки, незалежно від коливань висоти хлібостою.

## **РОЗДІЛ 4. МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБИРАННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР КОМБАЙНОВИМ ОЧІСУВАННЯМ**

Впровадження технології збирання зернових колосових культур за допомогою комбайнового очісування дозволяє збільшити продуктивність комбайна у 1,5–2 рази та знизити витрати палива на 45–50 %. У господарствах з недостатньою кількістю комбайнів застосування цієї технології скорочує тривалість збиральних робіт і зменшує втрати зерна через осипання. Збереження обчісаного стеблостою також сприяє зниженню втрат вологи, зокрема завдяки затриманню снігу.

Водночас додаткова обробка стерні, що залишається після очісування, є необхідною для підготовки полів під озимі культури. Недоліком запропонованої технології є підвищені втрати зерна, що зумовлено як недосконалістю конструкції очісувальних пристроїв, так і низьким рівнем кваліфікації персоналу.

Реальна оцінка ефективності збирання зернових очісуванням можлива лише з урахуванням усіх зазначених переваг і недоліків та їхнього впливу на обсяг і вартість наступних механізованих операцій. Як і будь-яка інша технологія, комбайнове очісування буде ефективним лише за певних умов.

Впровадження цієї технології змінює потребу в техніці не лише під час збирання, але й для інших робіт, наприклад, з'являється додатковий вид механізованих операцій із обробки стерні. У такому випадку економічну ефективність впровадження технології оцінюють за результатами оптимізації структури машинно-тракторного парку типового господарства, використовуючи критерій сукупних витрат.

Розміри втрат, пов'язаних із умовами праці та впливом на навколишнє середовище, у порівнюваних варіантах відрізняються незначно. Тому розрахунки виконують, орієнтуючись на величину експлуатаційних витрат, з урахуванням капітальних вкладень та фінансових втрат, пов'язаних із зниженням урожайності через перевищення нормативної тривалості збирання. Запропонований підхід до оцінки економічної ефективності технологій і машинних комплексів реалізований у алгоритмно-програмному комплексі «Система автоматизованого

проектування механізованих технологій та технічного оснащення рослинництва (АСПТіОР)», який ми використовували для оцінки ефективності комбайнового очісування.

У роботі зазначено, що при розрахунку величини експлуатаційних витрат як для окремої операції, так і для всіх механізованих робіт у господарстві, для досягнення достатньої точності необхідно:

- після округлення кількості машинно-тракторного агрегату (МТА) до цілих чисел фактична тривалість їх роботи зменшувалася пропорційно до зростання числа МТА;
- нормативне завантаження енерго- та сільськогосподарських машин, прийняте на першій ітерації, максимально наближалось до фактичного, а кількість задіяних МТА на кожній операції була цілою.

Водночас річне завантаження при розрахунках беруть за рекомендаціями зональних НДІ, що може відрізнятись від реального показника в конкретному господарстві у 1,5–2 рази.

Процес прийняття рішення здійснюється поетапно. Перший етап реалізується за допомогою лінійного програмування, при якому отримують нецілочислові результати. Для переходу до цілочислового рішення застосовують штучний метод: після визначення складу оптимального МТП різницю між нормативним завантаженням машини (прийнятим на початковому етапі) та фактичним (отриманим у результаті розрахунку) обчислюють нецілочисловим методом. Після першого округлення до цілого числа визначають відхилення нормативного завантаження за формулою (4.4). Ця процедура повторюється на кожному кроці округлення в обох напрямках (рис. 4.1).

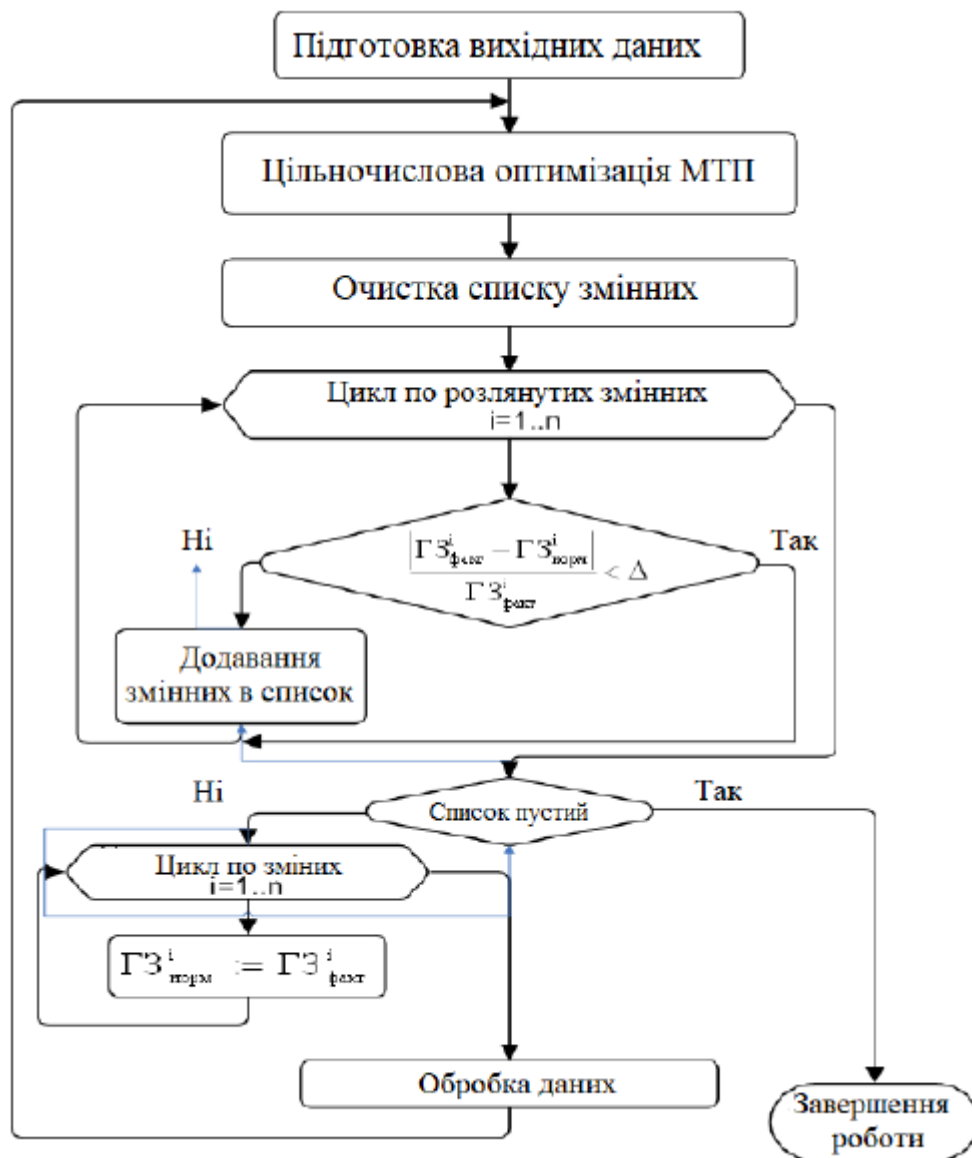


Рис. 4.1

Втрати зерна охоплюють:

- втрати внаслідок осипання, що виникають через затримку у строках збирання [9, 10];
- втрати, що залишаються позаду комбайна.

## ВИСНОВКИ

1. Розроблено математичну модель процесу очісування зернових культур одно-барабанною очисною жнивваркою, що описує взаємодію суцвіть рослин із зовнішньою поверхнею обтічника, контакт із його внутрішньою поверхнею до потрапляння зерна в міжвитковий простір шнека та дозволяє визначити середню швидкість руху вороху в транспортуючому каналі.

2. Дослідження показали, що після сходу зерна із зуба та під час руху до інтегруючого шнека можливі повторні контакти із внутрішньою поверхнею транспортного каналу та зубами барабана. Запропоновано визначати після кожного контакту вектор швидкості та його величину на основі теорії сухого тертя, а координати точок контакту обчислювати у «MathCad» з подальшою побудовою в пакеті «Компас». Наприклад, при куті початку очісування  $1,047$  рад і радіусі внутрішньої поверхні обтічника  $0,5$  м координати точки контакту склали  $X = -0,495$ ,  $Y = -0,070534$ , а проекції нормальної та тангенціальної складових швидкості зерна після відскоку:  $V_{n2} = 5,63$  м/с,  $V_{\tau 2} = 3,52$  м/с.

3. Взаємодія зерна з половистими та соломистими фракціями в транспортуючому каналі призводить до передачі частини його енергії цим компонентам. Якщо швидкість зерна після передачі енергії знижується до швидкості витання, можливі втрати. Пропонується визначати швидкість зерна у вороху як середнє значення швидкостей компонентів, керуючись законом збереження кількості руху.

4. Експериментальні дослідження на лабораторній установці, що імітує очісування полеглого та нерівномірного за висотою хлібостою, показали, що зміна кута нахилу очісуючих зубів від  $0,35$  до  $0,70$  рад дозволяє зменшити втрати зерна з  $1,16$  % до  $0,62$  %.

5. При зміні частоти обертання очісувального барабана у формі восьмигранної призми з  $51$  с<sup>-1</sup> до  $60$  с<sup>-1</sup> швидкість повітряного потоку збільшується приблизно на  $15$  %. При цьому, на лабораторній установці значення швидкості повітряного потоку у внутрішній поверхні транспортуючого каналу для восьмигранного барабана на  $10$ – $20$  % вищі, ніж у барабанів із циліндричною

поверхнею та барабана з регульованим кутом нахилу зубів при однаковій частоті обертання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агулов І.І., Вознюк Л.Ф., Левчій О.В. Довідник по технічному обслуговуванню сільськогосподарських машин. *Київ: Урожай*, 1989. 252 с.
2. Алієв Е.Б., Яропуд В.М. Фізико-математичний апарат руху насіння в повітряному потоці. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2017. №2 (97). С.19-23.
3. Бакум М.В., Нікітін С.П., Сергєєва А.В. Проектування сільськогосподарських машин: навч. посіб. *Харків: Харк. держ. техн. ун-т с.-г.*, 2003. 336 с.
4. Бондаренко М.Г., Демещук В.А. Комплектування і використання машинно-тракторного парку в рослинництві: підруч. для студ. Вузів. *Київ: Вищ. шк.*, 1995. 237 с.
5. Калетнік Г.М., Адамчук В.В., Булгаков В.М., Яременко В.В. Дослідження та розробка методів діагностування гідравлічних приводів зернозбиральних комбайнів. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. №2 (94). 2016. С. 12-19.
6. Власенко В.В., Кондратець В.О., Коровайченко Ю.М. Розробка і технологія виробництва сільськогосподарських машин: зб. наук. пр. *Київ*, 1994. 210 с.
7. Вознюк Л.Ф., Іщенко В.В., Михайлович Я.М. Технічне обслуговування і діагностування сільськогосподарських машин: навч. посіб. для мол. спец. *Київ: Урожай*, 1994. 216 с.
8. Войтюк Д.Г., Яцун С.С., Довжик М.Я. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: навч. посіб.; за ред. Д. Г. Войтюка. *Суми: Унів. кн.*, 2008. 543 с.
9. Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г., Павх І.І. Машини сільськогосподарського виробництва: навч. посіб. для студ. Вузів. М-во освіти і науки України, Тернопіль: Терноп. акад. нар. госп-ва, 2002. 251 с.
10. Довідник по регулюванню сільськогосподарських машин / В. І. Кочев, А. С. Кушнар'юв, В. Д. Роговий, П. П. Карпуша [та ін.]; за ред. В. І. Кочева. *К.: Урожай*, 1985. – 312 с.

11. Дудак С.М., Грицака О.М., Спирін А.В. Кінетика процесу вимолоту зерна зернозбиральними комбайнами. *Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Технічні науки*. 2015. №1(89),Т1. С.53-56.

12. Павленко В.С., Паламарчук І.П., Цуркан О.В., Полевода Ю.А. З'єднання в машинобудуванні: навч. Посібник. *Вінниця: ПП «ТД Едельвейс і К»*, 2015. 110 с.

13. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Т. 1. Ч. 1. Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. М-во освіти і науки України, М-во аграр. політики України, Харк. держ. техніч. ун-т с.-г. – Х.: ОКО, 2001. 443 с.

14. Ільченко В.Ю., Пономаренко Н.О., Яропуд В.М., Бондаренко А.С. Дослідження першочерговості постановки тракторів на зберігання. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2017. №2 (98).С. 49-55.

15. Купчук І.М. Перспективи розвитку конструктивних схем вібраційних приводів транспортних і технологічних машин АПК. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2018. №3 (90). С. 44-52.

16. Ланець О.С., Боровець В.М., Деревенько І.А. Визначення потужності приводів вібраційних машин з силовим та кінематичним збуренням. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2018. № 3 (90). С. 53-61.

17. Kaletnik H., Adamchuk V., Bulgakov V., Kyurchev V., Nadykto V. Main problems in the field of agricultural mechanization in Ukraine. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2016. №3 (95). С. 6-12.

18. Мазур В.А., Балагура О.В., Журенко Ю.І. Вплив кількості технологічних операцій на фізико-механічні властивості біомаси люцерни при заготівлі сіна. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2018. №4. С. 9-17.

19. Малаков О.І., Бурлака С.А., Ярощук Р.О. Зниження навантаження елементів конструкції моста керованих коліс самохідної косарки шляхом раціональної установки гідроциліндрів. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки*. 2018. № 4. С.56-61.

20. Іскович-Лотоцький Р.Д., Зелінська О.В., Веселовська Н.Р., Веселовський Я.П. Оцінювання ефективності функціонування технологічного комплексу з

використанням системного підходу.// Техніка енергетика транспорт АПК.2017. №2(97).С. 109-114.

21. Павленко В.С., Цуркан О.В., Кравченко І.Є. Підшипники кочення. Вибір за статичною та динамічною вантажопідйомністю, конструювання підшипникових вузлів: Навчальний посібник. Київ: «Хай-Тек Прес»,2012. 128 с.

22. Павленко В.С., Цуркан О.В., Кравченко І.Є., Любін М.В. Пасові передачі. Теорія, розрахунки, конструювання: Навчальний посібник. Київ: «Хай-Тек Прес»,2011. 140 с.

23. Хоменко М.С., Вожик Ю.Г., Герасимчик В.Г. Підвищення якості роботи сільськогосподарської техніки. Київ: Урожай, 1987. 212 с.

24. Пономаренко Н.О., Ільченко В.Ю., Яропуд В.М., Усенко А.І. Аргументація середньої відстані пробігу пересувних засобів технічного обслуговування машин. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2016. №3 (95). С. 63-66.

25. Гаврилюк Г.Р. Практикум з технологічної наладки та усунення несправностей сільськогосподарських машин: практикум для студ. вузів. К.: Урожай, 1995. 280 с.

26. Пясецький А.А., Звонарьов Є.Г. Впровадження і застосування GPS-технологій в сільському господарстві. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. №4(99). 2017. С. 138-141.

27. Шмат К.І., Сисолін П.В., Карманов В.В., Іванов Г.І. Робочі процеси і розрахунок сільськогосподарських машин: навч. посіб. Херсон. держ. техн. ун-т. Херсон: Олді-плюс, 2004. 308 с.

28. Рудницький Б.О., Спирін А.В., Омелянов О.М., Твердохліб І.В. Атестація робочих місць – можливий фактор безпеки сільськогосподарського виробництва. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2015. №2(90). С. 33-36.

29. Рудницький Б.О., Антонів С.Ф., Запрута О.А. Особливості технології вирощування насіння нових та перспективних сортів бобових трав в умовах Лісостепу України. *Сільське господарство та лісівництво*. 2017. Вип. №7, том 2. С. 70-76.

30 Серета Л.П., Паладійчук Ю.Б., Зінев М.В. Ефективність застосування гідропривода в машині для подрібнення деревини DP-660 при виготовленні щепи. *Промислова гідравліка і пневматика*. 2017. № 1(55). С.63-69.

31. Сивак І.О., Деревенько І.А., Островський А.Й. Практикум з механіки матеріалів і конструкцій. Навчальний посібник. Вінниця: ВНАУ, 2011. 144 с.

32. Сивак Р.І., Деревенько І.А. Короткий курс теоретичної механіки. Вінниця: ТОВ «Вінницька міська друкарня», 2016. 200 с.

33. Войтюк Д.Г., Булгаков В.М., Кропивко С.В., Онищенко В.Б. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: підруч. для студ. Вузів. Київ, 2005. 464 с.

34. Солоня О.В. Статика взаємодії абсолютно твердих тіл із сипучим середовищем. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2018. № 3 (90). С. 105-116

35. Солоня О.В., Купчук І.М. Практикум з теорії механізмів і машин: навчальний посібник. Вінниця: ТОВ «Друк», 2014. 256с.

36. Спирін А.В., Котов Б.І., Зозуляк О.В. Моделювання та ідентифікація процесу сепарації дрібного вороху вібраційно-повітряними очистками зернозбирального комбайну. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2016. №4. С.42-45.

37. Твердохліб І.В. Дослідження процесу витирання насінневого вороху люцерни. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2017. №4(99). С. 77-83.

38. Твердохліб І.В., Барановський В.М., Спирін А.В., Полевода Ю.А. Роль і місце технічного діагностування в системі технічної експлуатації автомобілів в сільському господарстві. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2018. № 1 (100), Том 1. С. 24-28

39. Калетнік Г.М., Булгаков В.М., Черниш О.М., Кравченко І.Є., Солоня О.В., Цуркан О.В. Технічна механіка. Підручник. Київ: «Хай-Тек-Прес», 2011. 340 с.

40. Труханська О.О. Підвищення якості ремонту і технічного обслуговування сільськогосподарської техніки. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2018. № 3 (102).

41. Швець Л.В. Машина для зрізування та подрібнення чагарників. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2017. № 2(97). С. 153-161.

42. Янович В.П. Техніко-економічна оцінка вібраційних машин для механічної обробки сипкої сировини. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2017. № 4 (99). С. 70 –77.

43. ГСТУ 46.012-2000. Техніка сільськогосподарська. Методи економічної оцінки техніки. – [Чинний від 2001.02.01] – К. : Мінагрополітики України, 2000. – III, 18 с. – (Галузевий стандарт України).

44. Aliev E., Pryshliak V., Yaropud V. Research of physical and mechanical properties of oil seed crops. *MOTROL: Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2017. Vol 19., №3. P. 103-108.

45. Методичні рекомендації до виконання та оформлення дипломної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності Н7 «Агроінженерія» / Ю.І. Панцир, А.В. Рудь, В.І. Дуганець, В.І. Дуганець, Л.С. Шелудченко, С.М. Грушецький, С.П. Комарніцький. За ред. В.І. Дуганця. – Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2025. – 52 с.