

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Інженерно-технічний факультет
Кафедра агроінженерії і системотехніки імені Михайла САМОКИША

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ТЕМУ:
**«ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОНСТРУКТИВНО-
РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕРКОВО-СЕПАРУЮЧОГО БЛОКУ
ДЛЯ ОБРОБКИ ВОРОХУ ТРАВ»**

Виконав:

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

Олександр КОЗАК

Керівник:

доктор технічних наук,
професор

Борис КОТОВ

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____

Шкала ECTS _____

«__» грудня 2025 р.

Допускається до захисту:

«__» грудня 2025 р.

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

Василь ДУГАНЕЦЬ

м. Кам'янець-Подільський, 2025

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ	4
АНОТАЦІЯ	5
РЕФЕРАТ	6
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ, СИМВОЛІВ, ПОЗНАЧЕНЬ .	7
ВСТУП.....	8
1. ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ОБ’ЄКТА ТА ПРЕДМЕТА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	12
1.1. Огляд технологій післязбиральної обробки насіння бобових трав і аналіз конструкцій теркових пристроїв.....	12
1.2. Аналіз досліджень процесу витирання вороху люцерни та обґрунтування вибору робочого органу	18
Висновки до першого розділу	24
2. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ОБґРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОБОТИ ТЕРКОВОГО ПРИСТРОЮ	25
2.1. Визначення розрахункової продуктивності теркового пристрою ..	25
2.2. Обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів теркового пристрою	32
2.3. Математичне моделювання процесу транспортування сипкого матеріалу у просторі робочого русла.....	35
Висновки до другого розділу	38
3. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА ВИБІР МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	40
3.1. Програма, об’єкт і предмет дослідження	40
3.2. Методика проведення лабораторних досліджень.....	45
3.2.1. Оцінка впливу конструктивно-технологічних параметрів на якісні показники роботи теркового пристрою	45
3.2.2. Визначення продуктивності та характеристик порівняльного аналізу теркового пристрою	47
Висновки до третього розділу	54

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕРКОВОГО ПРИСТРОЮ.....	54
4.1. Визначення ступеня витирання насіння терковим пристроєм.....	54
4.2. Визначення продуктивності теркового пристрою.....	62
4.3. Порівняльний аналіз показників якості роботи базового та удосконаленого теркового пристрою	66
Висновки до четвертого розділу	69
5. АНАЛІЗ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ТЕРКОВОГО ПРИСТРОЮ	71
5.1. Розробка методики інженерного розрахунку раціональних параметрів теркового пристрою	71
5.2. Економічна ефективність застосування розробленого теркового пристрою.....	79
Висновки до п'ятого розділу	85
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	89
ДОДАТОК А Матеріали комп'ютерної презентації.....	94
ДОДАТОК Б Копії друкованих тез доповідей	102

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Інженерно-технічний факультет
Кафедра агроінженерії і системотехніки імені Михайла САМОКИША
Освітній ступінь «магістр»
Спеціальність 208 Агроінженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Анатолій РУДЬ

04 квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу здобувачеві вищої освіти

КОЗАКУ

Олександрю Михайловичу

**Тема роботи: «ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА
КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕРКОВО-
СЕПАРУЮЧОГО БЛОКУ ДЛЯ ОБРОБКИ ВОРОХУ ТРАВ»**

Керівник роботи: професор КОТОВ Борис Іванович

Затверджено наказом по Закладу вищої освіти «Подільський державний університет» від 04 квітня 2025 року № 355с.

Строк подання закінченої кваліфікаційної роботи 20 листопада 2025 року.

Вихідні дані до роботи:

1. Науково-технічна література, авторські свідоцтва і патенти на винаходи терково-сепаруючого блоку для обробки вороху трав.
2. Протоколи випробування терково-сепаруючого блоку для обробки вороху трав.
3. Результати дослідження та випробування терково-сепаруючого блоку для обробки вороху трав.

Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Вступ.

1. Тенденції розвитку об'єкта та предмета досліджень.
2. Теоретичні аспекти обґрунтування технологічного процесу роботи терково-сепаруючого пристрою.
3. Розробка програми та вибір методики проведення експериментальних досліджень.
4. Експериментальне обґрунтування технології та конструктивно режимних параметрів теркового пристрою.
5. Аналіз техніко-економічної ефективності використання розробленого теркового пристрою.

Загальні висновки і рекомендації.

Список використаних джерел.

Додатки.

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній роботі магістра представлено перспективні напрямки підвищення ефективності збирання насіння бобових трав

На основі аналізу існуючих робочих органів, теоретичних і експериментальних досліджень визначено конструктивну схему та встановлено оптимальні значення параметрів терково-сепаруючого блоку для обробки вороху трав, які дозволять підвищити якісні показники роботи машини в цілому.

За результатами досліджень розроблено та виготовлено експериментальний зразок терково-сепаруючого блоку для обробки вороху трав, виробнича перевірка яких при роботі на машині підтвердила його працездатність та ефективність.

Виконано лабораторні дослідження ефективності функціонування терково-сепаруючого блоку для обробки вороху трав.

Розраховано техніко-економічна ефективність застосування розробленого теркового пристрою.

THE SUMMARY

The master's thesis presents promising directions for improving the efficiency of leguminous seed collection

On the basis of the analysis of existing working bodies, theoretical and experimental studies, a design scheme was determined and the optimal values of the parameters of the grater-separating unit for processing a pile of herbs were determined, which will allow to improve the quality indicators of the machine as a whole.

Based on the results of the research, an experimental sample of the grater-separating unit for processing a pile of herbs was developed and manufactured, the production check of which during operation on the machine confirmed its operability and efficiency.

Laboratory studies of the effectiveness of the grating-separating unit for processing a pile of herbs have been carried out.

The technical and economic efficiency of using the developed grating device is calculated.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра складається з пояснювальної записки, виконаної машинописним способом на 88 аркушах формату А4, яка вміщує 5 розділів, 7 таблиць, 61 рисуноків, 49 найменування використаних джерел і презентаційного матеріалу на 14 аркушах.

Мета магістерської роботи присвячена питанням перспективним напрямкам підвищення ефективності збирання насіння бобових трав є удосконалення спеціалізованих стаціонарних машин для витирання та сепарації насінневого вороху дисково-терковими пристроями, які поєднують у собі систему конструктивного виконання рухомого та нерухомого теркових дисків, розташованих один над одним з робочим зазором. На основі аналізу існуючих робочих органів, теоретичних і експериментальних досліджень визначено конструктивну схему та встановлено оптимальні значення параметрів терково-сепаруючого блоку для обробки вороху трав, які дозволять підвищити якісні показники роботи машини в цілому. За результатами досліджень розроблено та виготовлено експериментальний зразок терково-сепаруючого блоку для обробки вороху трав, виробнича перевірка яких при роботі на машині підтвердила його працездатність та ефективність.

Ключові слова: ТЕХНОЛОГІЯ, ТЕРКОВО-СЕПАРУЮЧИЙ БЛОК, ОБРОБКА, ВОРОХ, ТРАВИ, МОДЕЛЬ.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ, СИМВОЛІВ, ПОЗНАЧЕНЬ

Скорочення	Розшифровка скорочень
ВАТ	Відкрите акціонерне товариство
КРМ	Кваліфікаційна робота магістра
ЕК	Екзаменаційна комісія
МТА	Машинно-тракторний агрегат
m	маса проби в природному стані, кг
m_m	маса висушеної проби (твердої фази)
$m_в$	маса вологи (рідкої фази)
m_c	маси вологи і сухого ґрунту
W_n	польова (загальна) вологоємність
W_a	абсолютна вологість ґрунту
a	глибина заглиблення голок диска, м
k	коефіцієнт пропорційності, $k = 1,2$ кг/см
P	горизонтальна складова, Н
b	довжина лунки, м
n	число зубів на диску
R	радіус кола, при якому диск рухається без ковзання, м
d	діаметр голки, м
h	глибина обробітку, м
θ	кут сколювання ґрунту
φ	кут тертя голки об ґрунт
h_{max}	максимальна глибина обробітку
a	висота стерні
d	діаметр маточини
n	частота обертання уповільненого диска
n_o	частота обертання диска-шляховимірювача
a_n	деформація стискання пружини, см

ВСТУП

Актуальність роботи. Розпад в Україні існуючих потужних господарств тваринницького спрямування з індустріальними технологіями утримання і відгодівлі великої рогатої худоби й свиней та значне збільшення кількості дрібних аграрних формувань, призвели до зниження виробництва насіння багаторічних бобових трав.

На сьогоднішній день дрібні фермерські господарства виробляють більше половини загального об'єму продукції тваринництва, які не забезпечені на достатньому рівні сучасними ефективними технологіями і засобами механізації за відносно незначних добових потребах в кормах [1].

Однією з основних причин, яка призводить до зниження кормової бази тваринництва є припинення пошуку та розробок ефективних технологій та засобів механізації, які б покращували показники якості роботи машин на збиранні насіння багаторічних бобових трав.

Враховуючи тенденцію збільшення в останні роки обсягів виробництва тваринницької продукції, виникає потреба в розвитку кормової бази господарств і забезпеченні них насіннєвим матеріалом багаторічних бобових трав.

Існуючі комбайнові технології збирання насіння бобових трав (пряме та роздільне збирання, збирання з подвійним комбайнуванням, тощо) не забезпечують збирання насіння без втрат, при цьому до 30...40 % врожаю втрачається разом із половиною [2].

Стаціонарні та напівстаціонарні технології збирання насінників бобових трав є перспективними у плані забезпечення мінімальних втрат насіння. Але технічні засоби, які реалізують домолочування вороху трав значно пошкоджують насіння, не забезпечують його необхідної чистоти за значних показниках (до 8...15 %) недомолоченого насіння [3].

Перспективним напрямком підвищення ефективності збирання насіння бобових трав є удосконалення спеціалізованих стаціонарних машин для витирання та сепарації насіннєвого вороху дисково-терковими пристроями, які

поєднують у собі систему конструктивного виконання рухомого та нерухомого теркових дисків, розташованих один над одним з робочим зазором.

У зв'язку з цим, розроблення нових активних робочих органів для витирання насіння бобових трав і дослідження впливу їх конструктивно-кінематичних параметрів для підвищення показників якості технологічного процесу роботи дисково-теркових пристроїв є важливою актуальною народногосподарською задачею.

Мета і завдання досліджень. Покращення показників якості збирання насіння бобових трав шляхом удосконалення конструкції та вибору раціональних параметрів теркових пристроїв, вирішення важливої науково-технічної задачі, яке полягає у розробці аналітично-емпіричних методів обґрунтування раціональних параметрів робочих органів теркового пристрою.

Відповідно до мети дослідження поставлені такі *завдання*:

- розробка конструктивно-технологічної схеми теркового пристрою на основі вдосконалення робочих органів дискового типу;
- встановлення функціональних зв'язків продуктивності роботи теркового пристрою залежно від його основних конструктивно-кінематичних параметрів і умов роботи;
- розробка математичних моделей процесу переміщення вороху люцерни в просторі робочого русла теркового пристрою за умови контактної взаємодії насіння;
- експериментальне встановлення відповідності та адекватності числової реалізації розроблених математичних моделей;
- проведення порівняльних досліджень показників якості роботи вдосконаленого та базового молотильно-сепаруючого пристрою і визначення економічної ефективності його застосування.

Об'єкт дослідження – технологічний процес і робочі органи вдосконаленого дисково-теркового пристрою.

Предмет дослідження – конструктивно-кінематичні параметри та показники якості роботи дисково-теркового пристрою.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження базувалися на математичному моделюванні технологічного процесу роботи дисково-теркового пристрою (витирання та переміщення насіння) з використанням основних положень теорії машин і механізмів, класичної механіки та вищої математики. Експериментальні дослідження проводили в польових умовах з використанням розроблених установок на основі загальновідомих методик математичного планування і реалізації багатофакторних експериментів. Польові порівняльні дослідження машин проводили згідно зі стандартними методиками. Теоретичні розрахунки та статистичну обробку експериментальних даних проводили з використанням прикладних програм для персонального комп'ютера.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у проведенні комплексу наукових досліджень обґрунтовано технологічний процес витирання насіння люцерни і основні конструктивно-кінематичні параметри теркового пристрою.

Вперше отримано:

- аналітично-емпіричні залежності, які характеризують функціональні зв'язки продуктивності роботи теркового пристрою залежно від його основних конструктивно-кінематичних параметрів і умов роботи;
- аналітичні залежності для визначення основних конструктивно-кінематичних параметрів дисково-теркового пристрою – діаметра теркових дисків, частоти обертання рухомого диска, діаметра завантажувального отвору;
- детерміновану математичну модель процесу переміщення вороху люцерни в просторі робочого русла теркового пристрою за умови контактної взаємодії насіння;
- емпіричні рівняння регресії, які характеризують вихід витертого та ступінь витирання насіння люцерни залежно від параметрів процесу обробки та початкових умов.

Практичне значення одержаних результатів.

Запропоновано і експериментально обґрунтовано удосконалену конструкцію теркового пристрою та визначено його основні конструктивно-кінематичні параметри. Запропоновано рекомендації для вибору раціональних параметрів

удосконаленого молотильно-сепаруючого пристрою з застосуванням дисково-теркового пристрою. Результати порівняльної агротехнічної оцінки модернізованого та базового молотильно-сепаруючого пристрою підтвердили технологічну ефективність його роботи у виробничих умовах. Результати досліджень прийняті СФГ «Олександр» Хмельницької області для розроблення та вдосконалення існуючих робочих органів машин для збирання насіння бобових трав. Запропоновані методи інженерного розрахунку та отримані результати мають прикладне значення і дають змогу на стадії проектування здійснити розрахунок основних параметрів і режимів роботи процесу витирання насіння люцерни.

Апробація результатів роботи. Основні положення виконаних теоретичних і експериментальних досліджень роботи доповідались на: щорічних конференціях професорсько-викладацького складу та аспірантів Закладу вищої освіти «Подільський державний університету» (2024-2025 рр.).

Публікації. Основні результати дослідження відображені у 2 публікаціях, з них 2 статті у науково-фахових виданнях.

1. ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ОБ'ЄКТА ТА ПРЕДМЕТА ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Огляд технологій післязбиральної обробки насіння бобових трав і аналіз конструкцій теркових пристроїв

Найбільш ефективною технологією збирання насінників трав є пряме комбайнування зі збиранням вороху в бункер комбайна [4, 5, 6]. При цьому маса зібраного насіння від біологічного врожаю складає до 83%. Однак, отриманий при цьому ворох складає 5...20 % не витертих з бобів насінин [7, 8]. Подальша обробка вороху виконується на технологічні лінії післязбиральної обробки насіння трав, де обов'язковою є операція витирання (обмолочення) не витертих у процесі збирання бобів.

Ворох насінників трав в залежності від умов та способу збирання, виду та сорту може суттєво відрізнитися за своїм станом, що потребує відповідної послідовності виконання технологічних операцій при його післязбиральної обробки [9].

Технологія обробки насінників трав включає зберігання вороху до сушіння, а також операції сушіння, попереднє, первинне, повторне очищення на повітряно-решетно-трієрних машинах та додаткову обробку на спеціальних машинах – пневмосортувальному столі, електромагнітними насіннеочисними машинами, пневмосепараторах [10-13].

В кожному конкретному випадку залежно від фізико-механічних властивостей насіння основної культури, супутніх їм насінин бур'яну та культурних рослин, а також технологічних можливостей машин для очищення насіння, технологія обробки насінин уточнюється.

Попереднє очищення вороху проводять на одній або двох послідовно встановлених повітряно-решітних машинах попередньої очистки. При цьому на верхньому решеті видаляють найбільші домішки, на нижньому – самі дрібні, в пневмосепаруючому каналі – пил та легкі частини, швидкість витання яких менша за швидкість витання основної культури. Разом з великими домішками сходять і

необмолочені боби люцерни, що потребують додаткової обробки. Найкращі умови для витирання насіння забезпечуються при вологості вороху 18...20%. Якщо вологість вороху складає 30%, тоді з неї витирається не більше 60% насіння. Для зменшення навантаження на теркову машину, сильно засмічений ворох обробляють в два етапи – на першому видаляють на верхньому решеті тільки соломисті домішки, а на другому – суцвіття та боби [14].

Для попередньої очистки вороху насінників трав використовують, як спеціальні машини, так і універсальні, призначені для обробки зернових, зернобобових, технічних культур та насінників трав. До вітчизняних належать повітряно-решітні машини: ОВС-25, СМ-4, МС-4,5, МПО-30Р; іноземні: К-523/1, К-524 та інші [10, 15, 16].

Для первинного та повторного очищення насінників трав використовують німецькі повітряно-решітні машини К-523/1, К-546А, К-548А10, К-218/І «Пектус-Селектра» в комплекті з трієрним блоком К-553А, повітряно-решітно-трієрна машина К-531А «Пектус-Гігант», трієрний блок К-236А01, універсальна очисна машина U-100F «Пектус» [17, 18].

Принципові схеми машин для очищення насінників трав характеризуються великим різноманіттям, та всі вони призначені для очищення, а в деяких випадках і сортування насіння. Недоліком машин є те, що вони не виділяють насінини з не витертих та не обмолочених бобів. В зв'язку з цим виникає необхідність використовувати спеціальні дорогі машини, а також здійснювати додаткове транспортування матеріалу, що збільшує загальні витрати на виробництво насіння. Тому суміщення в конструкції насіннеочисної машини теркового та сепаруючого пристрою є корисним для зниження витрат на очищення насінників бобових трав [19-22].

На теперішній час існує класифікація теркових пристроїв, в основу яких покладений найбільш вагома ознака – спосіб дії робочих органів на матеріал що обробляється [23-25]. Дана ознака більш точно відображає суть процесу виділення насіння у відмінності від класифікації по конструктивному виконанню чи характеру руху матеріалу що обробляється.

Теркові пристрої розділені на чотири групи в залежності від дії робочих органів на матеріал: бильне (ударне), бильне з перетиранням (переважає бильне), перетираюче з бильним (переважає перетираюче), перетираючи (рис.1.1). Кожна група розділена на підгрупи, відмінність яких полягає у виконанні робочих органів і способі подачі вихідного матеріалу в пристрій. На (рис. 1.2) зображені різні конструктивні схеми пристроїв для витирання насінників трав.

Молотковий пристрій (рис. 1.2а) з бильною дією забезпечує низьку ступінь витирання насіння й високий (до 20 %) їх дроблення [26, 27]. Тому застосування пристрою даного типу для видалення насінників трав нераціональне.

Барабанний пристрій з тангенціальною подачею (рис. 1.2б), завдяки рівномірному розташуванню матеріалу, що обробляється по всій ширині барабана, забезпечує ступінь витирання насінин до 98 % при подрібненні 1,7 % [28-30]. Продуктивність пристрою даного типу одна з найвищих (0,1...0,3 т/год).

У барабанному пристрої з аксіальною подачею (рис. 1.2в) частина матеріалу в процесі обробки потрапляє через міжбильні вікна в порожнину барабану та обробляється. Крім того, пристрій є менш продуктивний (0,1...0,3т/год) [14, 31, 32].

Штифтові пристрої з тангенціальною подачею (рис. 1.2г) характеризуються низьким ступенем витирання насіння (не більше 60 %) при високому їх дробленні. Основні робочі органи запозичені у молотильних апаратів [33].

Шнековий пристрій (рис. 1.2д) забезпечує ступінь витирання насінників 92...94 %. При вмісті у воросі крупних фракцій та збільшені його вологості ступінь витирання суттєво знижується. Продуктивність пристрою даного типу не більше 0,3 т/год.

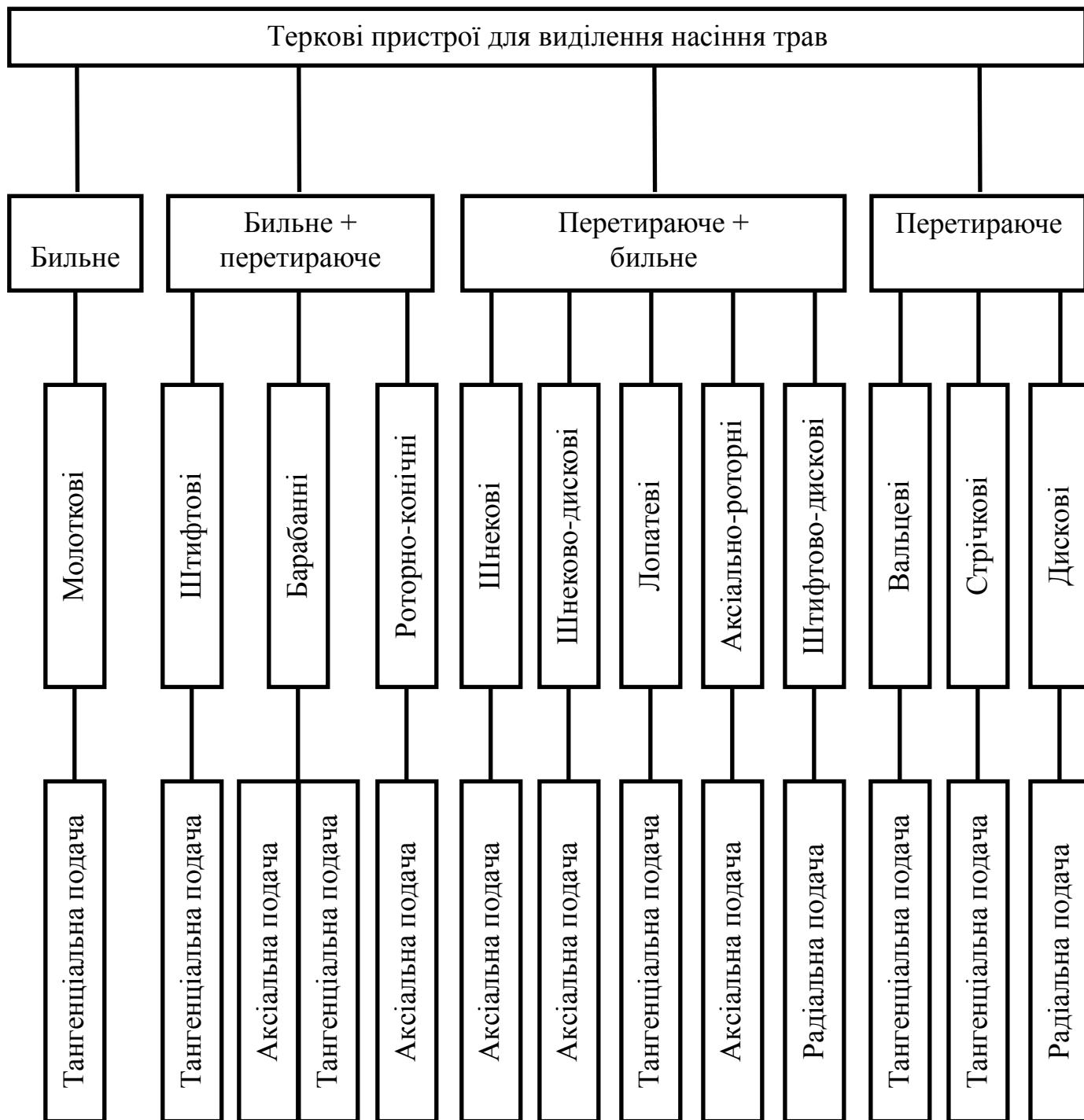


Рис. 1.1. Класифікація теркових пристроїв

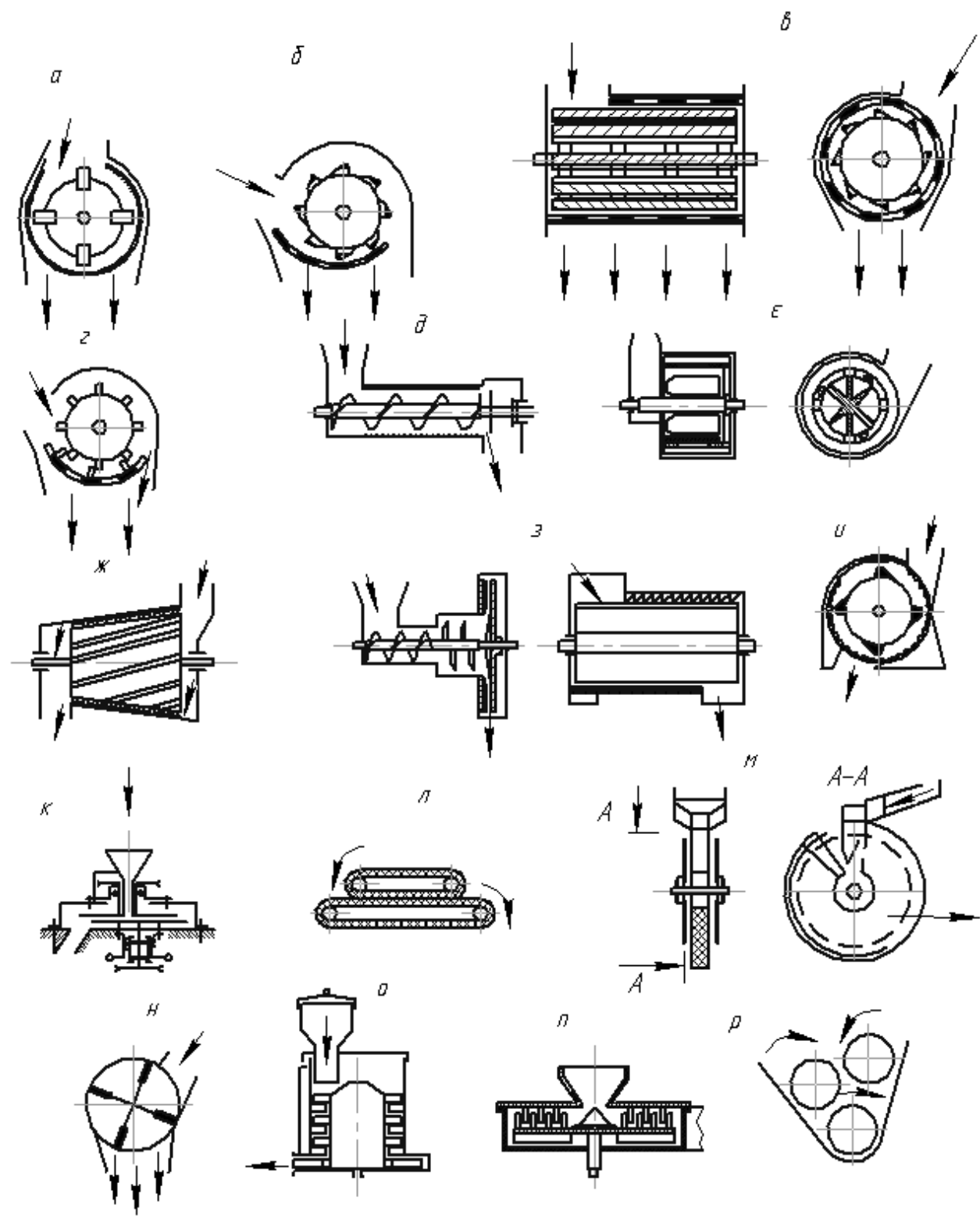


Рис. 1.2. Схеми теркових пристроїв

В терковому пристрої центробіжного типу (рис. 1.2е) з поворотною декою-обичайкою при вологості матеріалу 8,6 % може бути забезпечений ступінь витирання насіння до 100 %. При вологості 11,3 % кількість не витертих бобів складає 23,9 %, при цьому травмується до 15 % насінин. Ворох перед обробкою повинен бути попередньо підготовлений. Продуктивність пристрою складає 0,59...0,76 т/год [34].

Роторно-конічний пристрій з аксіальною подачею (рис. 1.2ж), продуктивністю до 0,75 т/год, забезпечує ступінь витирання 98.9...99.7 % за вологості 10 %. Однак при вмісті у воросі дрібнодисперсних фракцій та підвищенні його вологості поверхня впорядковується, тобто пустоти між рифами забиваються, ступінь витирання суттєво знижується [36, 37, 38, 39].

Шнеково-дисковий пристрій (рис. 1.2, з) з аксіальною подачею, як і шнековий, забезпечує ступінь витирання насіння 92...95%, подрібнення 1.5...2.1%. продуктивність даного пристрою – 0.35...0.4 т/год [40, 41].

Аксіально-роторний пристрій (рис. 1.2и) має високі показники якості роботи: ступінь витирання – 98 %, подрібнення – 1,5 %. Продуктивність пристрою складає до 7 т/год [41].

Дискові пристрої з плоскою (рис. 1.2к) та бугристою (рис. 1.2м) поверхнями мають ступінь витирання до 96 %, подрібнення – не більше 2 %. Їх спільний недолік – це низька продуктивність (до 0,3 т/год) та значне зниження якості обробки при збільшенні вологості вороху. В даному пристрої утворюються джгути вороху, що знижує якість роботи. Крім того, при експлуатації необхідно правильно встановити та відрегулювати стрічки. В іншому випадку вони зміщуються та технологічний процес порушується.

Лопатевий терковий пристрій (рис. 1.2н), який використовують в секційних теркових апаратах, обладнано еластичними бичами, завдяки чому подрібнення насіння практично відсутнє. Ступінь витирання до 97% при продуктивності 0,1...0,12 т/год.

Штифтові пристрої з вертикальною віссю обертання (рис. 1.2о) призначено для селекційної роботи. Ступінь витирання насіння пристроєм даного типу досягає 98,4 % при подрібненні 1,07 %. Продуктивність пристрою низька – не більше 0,11 т/год [41].

У штифтово-дисковому пристрої (рис. 1.2п), завдяки раціональному розміщенню штифтів, ротор працює рівномірно, без більшого навантаження та забезпечує ступінь витирання до 97...98 % при вологості матеріалу 10...14 % [41]. Подрібнення насіння практично відсутнє. Продуктивність – не більше 0,15 т/год.

Стрічкові пристрої (рис. 1.2л) з перетираючою дією забезпечують ступінь витирання до 96...98 % при подрібненні не більше 1,5 %.

Вальцьовий пристрій (рис. 1.2р) з прогумованими робочими органами, які обертаються з різною частотою, забезпечує ступінь витирання насіння 94...99%, дроблення – не більше 1,0 % за невисокої вологості та засміченості матеріалу [41]. Зі зміною вологості та складу матеріалу знижується ступінь витирання насіння та надійність технологічного процесу. Робочі органи вальцьового пристрою мають низький ступінь зношення.

З вищеперерахованих пристроїв найбільш перспективним є аксіально-роторний. Він забезпечує високу ступінь витирання насіння при значно засміченому та вологому воросі. Достатньо висока продуктивність та низький рівень пошкоджень роблять вигідним використання даного типу пристроїв в промислових умовах [41].

1.2. Аналіз досліджень процесу витирання вороху люцерни та обґрунтування вибору робочого органу

Процес видалення насіння люцерни залежить від багатьох факторів, в тому числі і від типу теркового пристрою та його конструктивних параметрів. Для кожного конкретного типу пристрою існує своя методика розрахунку конструктивних та кінематичних параметрів, тому що процес, який відбувається в терковому пристрої, визначається методом дії робочих органів на матеріал, що обробляється. Складність процесу витирання обумовлюється відсутністю його єдиного математичного опису, а існуючі залежності виведені тільки для окремих випадків.

Серед пристроїв для витирання насінників трав найбільше розповсюдження отримали пристрої аксіально-роторного типу, в яких перетираюча дія домінує над бильною. Вони забезпечують якісне витирання насіння при високій продуктивності та простій конструкції. В даних пристроях найчастіше в якості робочих органів використовуються біла зернозбиральних комбайнів.

Встановлено, що при використанні комбінованих бил досягаються кращі результати, при цьому транспортування вороху здійснюється тільки ребристими билами, кількість яких з прямими ребрами має домінувати над кількістю бил зі зворотними ребрами. Гладкі била не мають транспортної здатності, а лише розподіляють матеріал по деці.

Кількість транспортуючих бил може бути визначена за формулою [25]:

$$m_m = m_n - m_o, \quad (1.1)$$

де m_n – кількість бил з прямими ребрами;

m_o – кількість бил зі зворотними ребрами.

Осьова швидкість переміщення вороху в терковому пристрої прямо пропорційна числу транспортуючих бил, ширині била, тангенсу кута нахилу ребер била та частоті обертання барабану [26]

$$v_{oc} = \frac{\psi \cdot n \cdot m_T \cdot b \cdot \operatorname{tg} \alpha}{2,6}, \quad (1.2)$$

де ψ – поправочний коефіцієнт;

n – частота обертання барабана, с^{-1} ;

b – ширина била, м;

α – кут нахилу ребер бил, град.

Поправочний коефіцієнт ψ залежить від коефіцієнту тертя частинок по билу, від конструктивного виготовлення бил, фізико-механічних особливостей вороху та інших факторів. Коефіцієнт визначається експериментально та коливається в широкому діапазоні значень, при цьому для кожного конструктивного виконання теркового пристрою він різний. Отриманий вираз не враховує переміщення матеріалу, що рухається по інерції в просторі між билами, при відсутності взаємодії з билами. Тому розрахунок осьової швидкості за даною формулою є недостатньо точним.

Для визначення продуктивності теркового пристрою, в якому транспортування матеріалу в осьовому напрямку здійснюється ребристими билами, запропонований вираз [26]

$$Q = \kappa \cdot \gamma \cdot \pi \cdot \delta \cdot (D - \delta) \cdot \left(1 - \frac{m_c \cdot L \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\pi \cdot D \cdot p} \right) \cdot \frac{m_c \cdot n \cdot L}{p}, \quad (1.3)$$

де k – ступінь стискання;

γ – щільність вороху, кг/м³;

δ – робочий зазор, м;

p – кількість дій;

L – довжина теркового пристрою, м;

D – діаметр обичайки, м;

m_c – загальна кількість бил.

З даного виразу виходить, що продуктивність теркового пристрою прямо пропорційна діаметру барабану, робочому зазору, кількості бил, кількості обертів барабану та зворотно пропорційна кількості дій.

Використання даної формули для визначення продуктивності теркового пристрою з осьовою подачею не забезпечує великої точності розрахунку, тому що не враховується об'єм матеріалу, що переміщується між ребрами била.

Таким чином, найбільш розповсюджені технології збирання насіння бобових трав передбачають пряме комбайнування, роздільне збирання і збирання з подвійним комбайнуванням. Але всі комбайнові технології не забезпечують збирання насіння без втрат.

Найбільш простим і дешевим способом збирання є пряме комбайнування. Таким чином збирають насінники з невеликим не полеглим травостоем при їх незначній вологості (до 22...24 %). При більшій вологості проводити збирання не рекомендується через різке збільшення втрат насіння, недомолот, а також існування можливості його пошкодження при обмолоті. Агробіологічні особливості насінників, строки їх збирання вимагають застосування доробки обмолоченої комбайном маси [29].

Обґрунтування технології збирання насіння трав з врахуванням природно-кліматичних умов і особливостей дозрівання врожаю є важливим резервом нарощування як обсягів їх виробництва, так і зменшення втрат. Оскільки спеціальні

машини для збирання насіння багаторічних бобових трав відсутні, то усі відомі технології орієнтовано на використання зернозбиральних комбайнів із використанням спеціальних теркових пристроїв (адаптерів), які більш придатні для роботи із ворохом насінників трав (рис. 1.3).

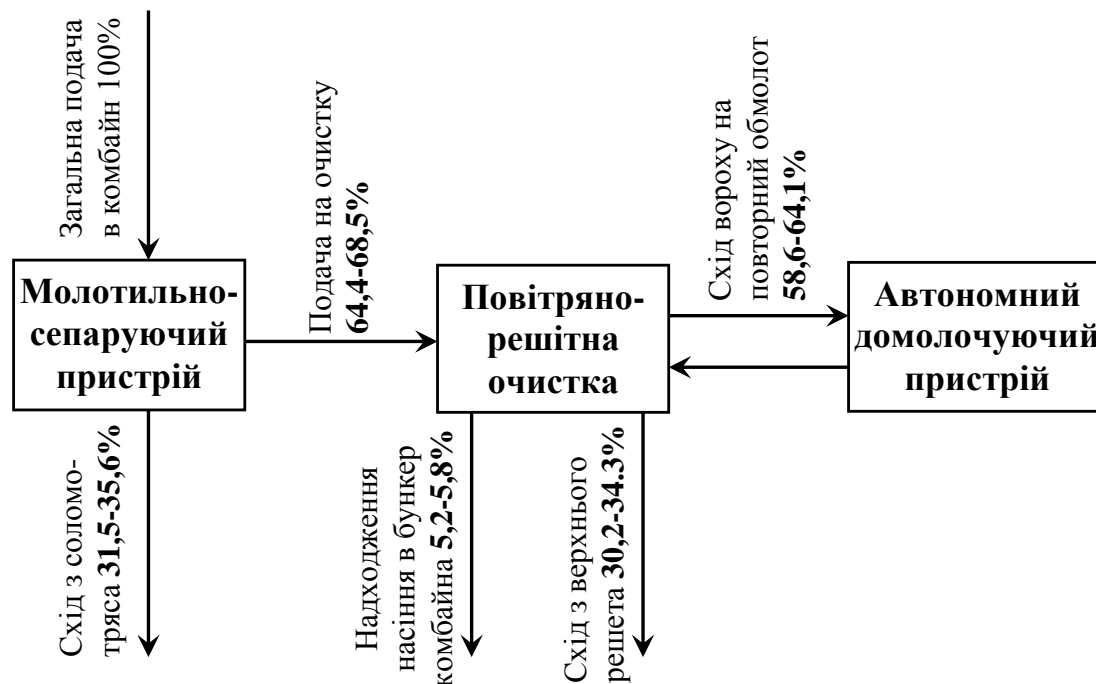


Рис. 1.3. Схема технологічних потоків в молотарках зернозбирального комбайну при збиранні насіння багаторічних бобових трав

Дослідження показників якості роботи існуючих теркових пристроїв ПСТ-10, ПСТ-8 та ПСТ-54-108А показали, що використання цих пристроїв на зернозбиральних комбайнах для витирання насіння багаторічних бобових трав дає змогу збільшити відсоток витертого насіння в бункері лише на 10...15%, але вирішити проблему повноти витирання насіння молотаркою зернозбирального комбайна не вдається. Це призводить лише до збільшення циркуляційного навантаження на робочі органи молотарки, і в першу чергу – решітного стану очистки [27].

Практично єдиним способом здійснити збирання з мінімальними втратами, особливо при несприятливих умовах, є збирання всієї біологічної маси (або її насінневої частини) і обробка її на стаціонарі.

Нами запропоновано новий технологічний процес отримання насіння

багаторічних трав, яким передбачено довитирання насіння багаторічних бобових трав на стаціонарних комплексах замість існуючої практики здійснення цього процесу автономними терковими пристроями зернозбиральних комбайнів [9].

Технологічну схему такого способу наведено на (рис. 1.4).

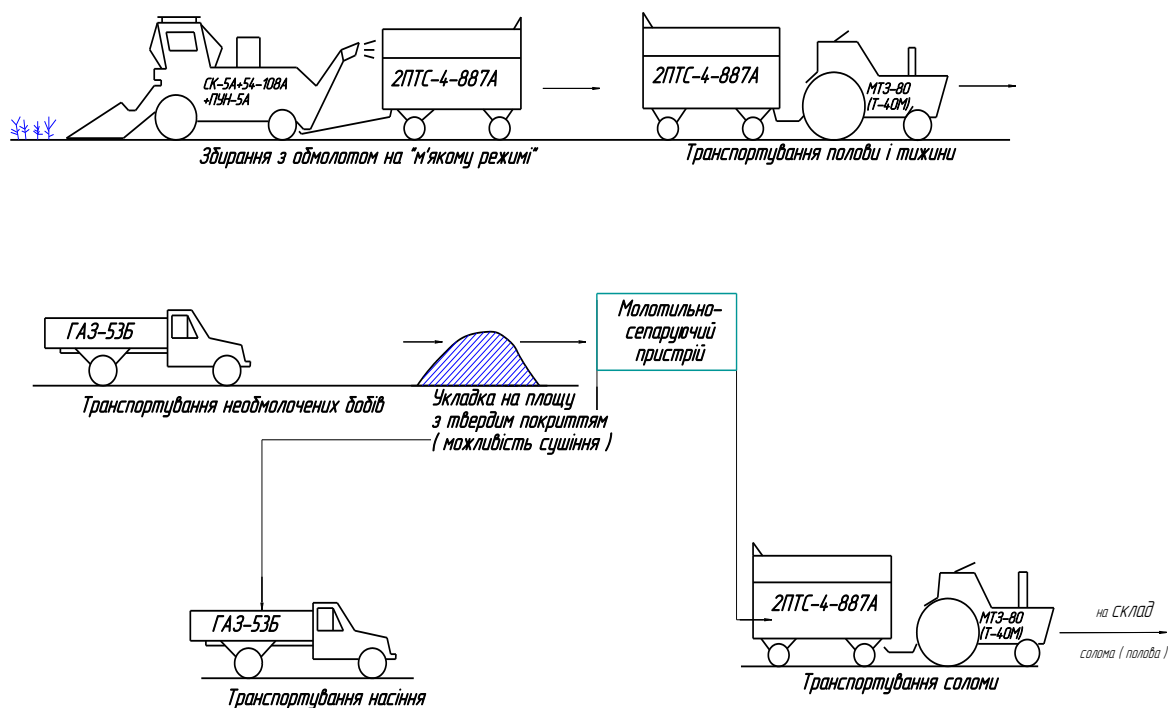


Рис. 1.4. Технологічна схема роздільного збирання насінників люцерни з обробкою всього біологічного врожаю на стаціонарі

Дослідження процесу витирання насіння багаторічних бобових трав свідчить про існуючі проблеми щодо виділення насіння з оболонок [25]. Для витирання насіння з оболонок в основному використовуються теркові пристрої барабанного типу з осьовим зміщенням матеріалу в робочому зазорі. Витирання насіння з оболонок в цих теркових пристроях відбувається за рахунок багатократної дії на матеріал бил ротора в робочому зазорі бич-дека. Висока енергоємність та металомісткість теркових пристроїв барабанного типу для витирання насіння багаторічних бобових трав при 70...75% повноті виділення насіння з оболонок не задовольняє споживача [23].

За результатами проведених досліджень встановлено, що основними напрямками удосконалення технологічного процесу обробітку насінневого вороху

на стаціонарі є інтенсифікація процесу первинної очистки насіння та його витирання з бобів, що надає можливість збільшити продуктивність технологічної лінії та зменшити трудомісткість процесу.

Аналіз пристроїв для витирання насіння трав свідчить, що найбільш високі показники якості роботи і продуктивності мають барабанні пристрої з тангенціальною подачею.

Тому метою роботи є підвищення показників якості збирання насіння бобових трав шляхом удосконалення конструкції та вибору раціональних параметрів дисково-теркового пристрою.

Завдання досліджень – вирішення важливої науково-технічної задачі, яке полягає у розробці аналітично-емпіричних методів обґрунтування раціональних параметрів робочих органів дисково-теркового пристрою.

Вирішення даного завдання зведено до розв'язку таких прикладних задач:

- розробка конструктивно-технологічної схеми дисково-теркового пристрою на основі вдосконалення робочих органів дискового типу.

- встановлення функціональних зв'язків продуктивності роботи дисково-теркового пристрою залежно від його основних конструктивно-кінематичних параметрів і умов роботи;

- розробка математичних моделей процесу переміщення вороху люцерни в просторі робочого русла дисково-теркового пристрою за умови контактної взаємодії насіння;

- експериментальне встановлення відповідності та адекватності числової реалізації розроблених математичних моделей;

- проведення порівняльних досліджень показників якості роботи вдосконаленого та базового молотильно-сепаруючого пристрою і визначення економічної ефективності його застосування.

Об'єктом дослідження є технологічний процес і робочі органи вдосконаленого теркового пристрою.

Предметом дослідження є конструктивно-кінематичні параметри та показники якості роботи теркового пристрою.

Висновки до першого розділу

1. Технологічний процес витирання насіння бобових трав із застосуванням традиційних робочих органів не забезпечує необхідних показників якості роботи.

2. Подальше вдосконалення технологічного процесу витирання насіння люцерни без розроблення нових і удосконалених конструктивних схем робочих органів і визначення їх функціональних параметрів практично вичерпало себе у плані покращення технологічних показників.

3. Підвищення агротехнічних показників якості витирання насіння люцерни доцільно здійснювати із застосуванням удосконалених теркових пристроїв, які виконують багаторазову дію з активною взаємодією між компонентами вороху та перетираючими поверхнями.

2. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОБОТИ ТЕРКОВОГО ПРИСТРОЮ

2.1. Визначення розрахункової продуктивності теркового пристрою

Робочий процес обробки, або витирання насіння з вороху люцерни, який обмолочується робочими органами збиральної машини та в подальшому надходить до сепарувальних транспортно-технологічних систем, є однією із важливих і складних технологічних операцій у загальному контексті технологічного процесу роботи зернозбиральних комбайнів. Збільшення ступеня витирання насіння, зменшення його пошкодження та втрат, є пріоритетними завданнями у загальному аспекті дотримання агротехнічних вимог до процесу обробки насіння, тобто до якості насіннєвого матеріалу.

Окрім здатності витирання насіння, теркові пристрої також характеризуються експлуатаційно-технологічними критеріями, серед яких технологічна пропускна здатність [15] регламентує продуктивність теркових пристроїв і, в кінцевому випадку, продуктивність збиральної машини загалом, чи спроможність обробляти складові компоненти вороху без їх «перевантаження» на робочих поверхнях за мінімізації пошкодження та втрат насіння [10].

Для обґрунтування раціональних конструктивно-кінематичних параметрів теркового пристрою (рис. 2.1), або мінімізації його параметрів, які одночасно задовольняють показники якості роботи та технологічні показники збирального комплексу, першочерговим завданням є теоретичне обґрунтування пропускної здатності теркового пристрою або його продуктивності.

В основу критерію обґрунтування технологічного процесу роботи теркового пристрою покладено умову, що пропускна здатність його робочих органів за проміжок часу $t = 1$ с, або продуктивність має дорівнювати, або бути більшою за загальну секундну подачу вороху люцерни, який надходить до них із попередніх транспортно-технологічних систем збирального комплексу, тобто повинна забезпечуватися умова [18]

$$dQ_n / dt \geq dW_b / dt, \text{ або } Q_n \geq W_b, \quad (2.1)$$

де Q_n – пропускна здатність (або продуктивність) теркового пристрою, кг/с;

W_b – загальна секундна подача вороху, який надходить до теркового пристрою, кг/с.

Ефективне витирання насіння люцерни, або інтенсифікація процесу відокремлення тіла насінини люцерни від оболонки забезпечується за рахунок контактних взаємодій робочих поверхонь нерухомого 6 (рис. 2.1) та рухомого 5 дисків на ворох люцерни, який поступає та знаходиться в робочому міждисковому зазорі, який є внутрішнім об'ємним простором робочого русла теркового пристрою.

З метою формалізації процесу обробки вороху люцерни об'єктом дослідження та для подальшого обґрунтування параметрів теркового пристрою розглянемо складену розрахункову схему внутрішнього об'ємного простору робочого русла, яку наведено на (рис. 2.1) та технологічний процес роботи теркового пристрою.

Внутрішній об'ємний простір робочого русла теркового пристрою утворений суміжно вертикальним розташуванням нерухомого 3 (рис. 2.1) і рухомого 8 дисків, які розташовані в корпусі 1 теркового пристрою із зазором, висота якого становить h_d , при цьому зовнішній діаметр нерухомого диска дорівнює D_n , а рухомого – D_p , який встановлено на валу 9, що обертається з кутовою швидкістю ω_n . На робочій поверхні нерухомого диска перпендикулярно та концентрично їй, закріплено обойму 4, виконану в вигляді втулки, зовнішній діаметр якої становить D_o , а внутрішній – d_o та радіально встановлено біла 5 кількістю k_n , які виконано у вигляді променів (рифів) шириною b_n , довжиною L_n та висотою h_c , які закріплено до втулки. Також на робочій поверхні нерухомого диска в проміжках між білами концентрично до осі диска розміщено кільцеві виступи 6, 7 загальною кількістю k_v , виконаних у вигляді круглого прутка, усереднений діаметр яких розташований, відповідно, від центра диска на відстані $0,5 D_{1v}$ і $0,5 D_{2v}$.

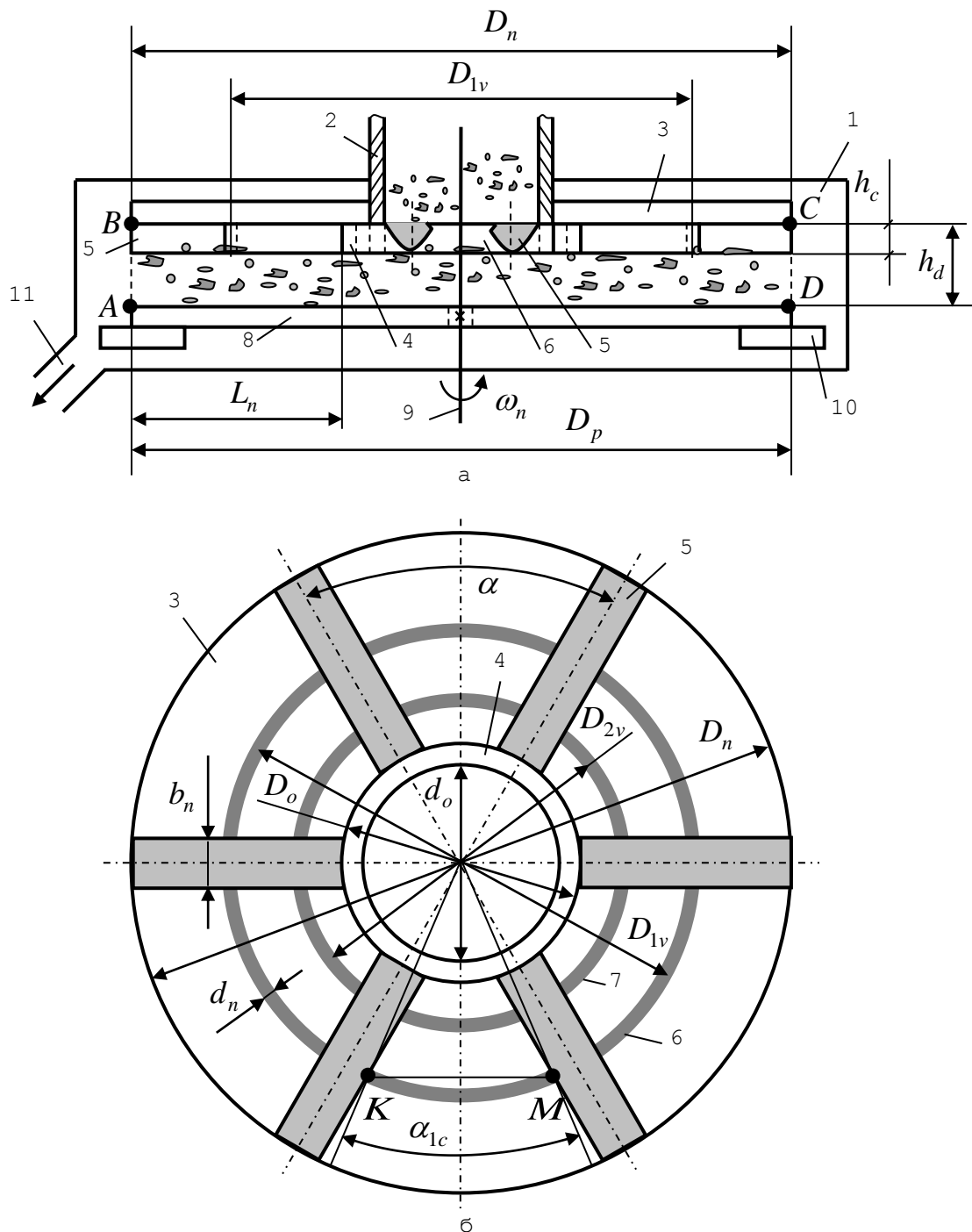


Рис. 2.1. Схема до розрахунку простору робочого руслу
теркового пристрою

Для подальшого аналізу та опису формалізованого процесу витирання насіння люцерни у контексті наведеної схеми приймаємо такі припущення:

- внутрішній об'єм простору робочого руслу утворений фігурою $ABCD$, зовнішні контури якої є правильним пустотілим циліндром, тобто внутрішні поверхні нерухомого 3 і рухомого 8 дисків паралельні між собою, тоді зовнішній

діаметр нерухомого диска D_n рівний зовнішньому діаметру рухомого диска D_p ;

- поперечний переріз бил 5, які закріплено радіально до внутрішньої поверхні нерухомого диска є сегментом циліндра, при цьому висота сегмента дорівнює h_c ;

- діаметр кільцевих виступів 6, 7, які розміщені концентрично до осі нерухомого диска однаковий і становить d_n ;

- висота втулки 4 дорівнює висоті поперечного перерізу била 5 та становить h_c .

Ворох з не витертим насінням люцерни через завантажувальний канал 2 надходить у внутрішній об'єм простору робочого русла теркового пристрою, де під дією відцентрової сили зміщується від центра осі рухомого диска 8 та центра осі обертання нерухомого диска 3 до їх периферії. У процесі його руху в просторі робочого русла відбувається процес витирання насіння люцерни, а в подальшому оброблений ворох люцерни захвачується лопатками 10, які направляють його до вихідного каналу 11, через який він виводиться за межі теркового пристрою.

Продуктивність теркового пристрою Q_n згідно з [12, 13] може бути розрахована за загальною формулою, яка визначає продуктивність машин неперервної дії

$$Q_n = F_p \rho_v \varphi_n V_c, \quad (2.2)$$

де F_p – робоча площа опорного (рухомого) диска, m^2 ;

ρ_v – насипна об'ємна маса вороху люцерни, kg/m^3 ;

φ_n – коефіцієнт заповнення внутрішнього робочого простору, утвореного фігурою $ABCD$;

V_c – середня швидкість руху обробленого вороху в напрямку периферії дисків, m/s .

Робоча площа F_p рухомого диска за умови $D_n = D_p = D$ визначається

$$F_p = 0,25\pi(D^2 - d_v^2), \quad (2.3)$$

де d_v – діаметр приводного вала, м².

Коефіцієнт заповнення φ_n внутрішнього простору робочого русла, утвореного фігурою $ABCD$ характеризує, яка частина робочого простору теркового пристрою заповнюється ворохом люцерни та визначається за формулою

$$\varphi_n = V_v / V_n, \quad (2.4)$$

де V_v – об'єм вороху люцерни в просторі робочого русла, м³;

V_n – загальний внутрішній об'єм простору робочого русла, м³.

Загальний внутрішній об'єм V_n простору робочого русла, утвореного фігурою $ABCD$, зовнішні контури якої є правильним пустотілим циліндром дорівнює

$$V_n = 0,25\pi D^2 h_d, \quad (2.5)$$

де D , h_d – діаметр і висота циліндра, м.

Максимально можливий об'єм $V_{v.max}$ вороху люцерни, який заповнює простір робочого русла теркового пристрою буде складатися із різниці загального внутрішнього об'єму V_n простору робочого русла і сумарного об'єму $\sum V_e$ конструктивних елементів, які встановлено на внутрішній поверхні нерухомого диска та, які займають певний об'єм в загальному внутрішньому об'ємі V_n простору робочого русла, тобто

$$V_{v.max} = V_n - \sum V_e = V_n - \left(V_w + \sum_{j=1}^{k_n} V_{b_j} + \sum_{i=1}^{k_v} V_{k_i} + V_d \right), \quad (2.6)$$

де V_w , $\sum_{j=1}^{k_n} V_{b_j}$, $\sum_{i=1}^{k_v} V_{k_i}$, V_d – відповідно, об'єм втулки, сумарний об'єм бил і

кільцевих вставок, об'єм приводного вала, м³.

При цьому відповідні об'єми прийнятих фігур, які регламентують конструктивні елементи, що встановлено на внутрішній поверхні нерухомого диска визначаються за формулами:

$$V_w = 0,25\pi h_c (D_o^2 - d_o^2); \sum_{j=1}^{k_n} V_{b_j} = F_c L_n k_n = 0,5 r_b^2 [(\pi \alpha_b / 180) - \sin \alpha_b] L_n k_n, \quad (2.7)$$

де D_o , d_o – зовнішній і внутрішній діаметр втулки, м;

h_c – висота втулки, м;

F_c – площа поперечного перерізу била, або сегмента, м²;

α_b – центральний кут, який стягує хорду била, град;

k_n – загальна кількість встановлених бил, шт.;

L_n , r_b – довжина била та радіус дуги сегмента била, м;

$$\sum_{i=1}^{k_v} V_{k_i} = \sum V_{1v} + \sum V_{2v} + \dots + \sum V_{iv}; \quad V_d = 0,25\pi d_v^2 h_d; \quad i = 1, 2, \dots, k_v, \quad (2.8)$$

де $\sum V_{1v}$, $\sum V_{2v}$, ..., $\sum V_{iv}$ – відповідно, сумарний об'єм однієї i -ої кільцевої вставки, яка розміщена концентрично на відстані від центра нерухомого диска рівній, відповідно, $0,5 D_{1v}$, $0,5 D_{2v}$, ..., $0,5 D_{iv}$, м³;

k_v – загальна кількість концентрично встановлених кільцевих вставок, шт.

Кільцеві вставки виконано у вигляді концентрично вкладених і симетрично розміщених по колу відповідного діаметра D_{1v} , D_{2v} , ..., D_{iv} на відстані від центра нерухомого диска рівній, відповідно, $0,5 D_{1v}$, $0,5 D_{2v}$, ..., $0,5 D_{iv}$ секторних частин прутка круглого перерізу діаметром d_n сумарною кількістю на одному колі, яка рівна кількості встановлених бил k_n .

Тоді сумарний об'єм кожної i -ої кільцевої вставки яка розміщена концентрично на відстані від центра нерухомого диска, яка рівна, відповідно, $0,5 D_{1v}$, $0,5 D_{2v}$, ..., $0,5 D_{iv}$ визначається за формулою

$$\sum V_{1v} = V_1 - V'_{1k_n} k_n; \quad \sum V_{2v} = V_2 - V'_{2k_n} k_n; \quad \sum V_{iv} = V_i - V'_{ik_n} k_n, \quad (2.9)$$

де V_1 , V_2 , ..., V_i – відповідно, повний об'єм кожної i -ої кільцевої вставки, яка розміщена концентрично на відстані від центра нерухомого диска рівній,

відповідно, $0,5 D_{1v}, 0,5 D_{2v}, \dots, 0,5 D_{iv}, \text{ м}^3$;

$V'_{1k_n}, V'_{2k_n}, \dots, V'_{ik_n}$ – об'єм однієї умовної секторної частини кожної i -ої кільцевої вставки, яка розміщена по ширині b_n кожного встановленого на нерухомому диску біла, м^3 .

У цьому випадку максимальна продуктивність теркового пристрою $Q_{n.max}$ буде визначатися за залежністю

$$Q_{n.max} = 0,125\pi D(D^2 - d_v^2)\rho_v\varphi'_{n.max}\varphi_e\lambda_v \frac{d\varphi}{dt} =$$

$$= 0,125\pi D(D^2 - d_v^2)\rho_v\varphi'_{n.max}\lambda_v \frac{h_c(D_o^2 - d_o^2) + 4\Theta L_n k_n / \pi + d_v^2 h_d + \frac{\pi d_n^2 k_n}{180^0} \Omega}{8Dh_d} \frac{d\varphi}{dt}, \quad (2.10)$$

або

$$Q_{n.max} = \frac{\pi^2 n_n D(D^2 - d_v^2)\rho_v\varphi'_{n.max}\varphi_e\lambda_v}{120}, \quad (2.11)$$

де n_n – частота обертання рухомого диска, об/хв.

Одержана залежність (2.11) характеризує зміну продуктивності теркового пристрою залежно від його конструктивно-кінематичних параметрів.

Аналіз залежності $Q_n = f(D, n)$ (рис. 2.2) показує, що продуктивність теркового пристрою змінюється приблизно в межах від 0,2 до 1,3 кг/с залежно від значень діаметра D та частоти обертання n_n рухомого диска, при цьому зміна Q_n має прямий лінійний характер – зі збільшенням D та n_n продуктивність пристрою зростає, що також характерно поведінці залежностей, які наведено на (рис. 2.3).

Значне зростання продуктивності Q_n спостерігається за значення діаметра рухомого диска $D \geq 0,5$ м, при цьому в діапазоні зміни $400 \leq n_n \leq 1000$ об/хв для діаметра рухомого диска $D = 0,6$ м продуктивність Q_n збільшується приблизно на 0,65...0,7 кг/с (рис. 2.5а), а значне зростання продуктивності Q_n залежно від зміни коефіцієнта заповнення φ'_n простору робочого русла теркового пристрою (приблизно на 0,2...0,25 кг/с) відбувається за значення $\varphi'_n \geq 0,5$ (рис. 2.3б).

Згідно з залежністю (2.11) побудовано графічні відтворення зміни продуктивності $Q_{n.max}$ (рис. 2.2, рис. 2.3).

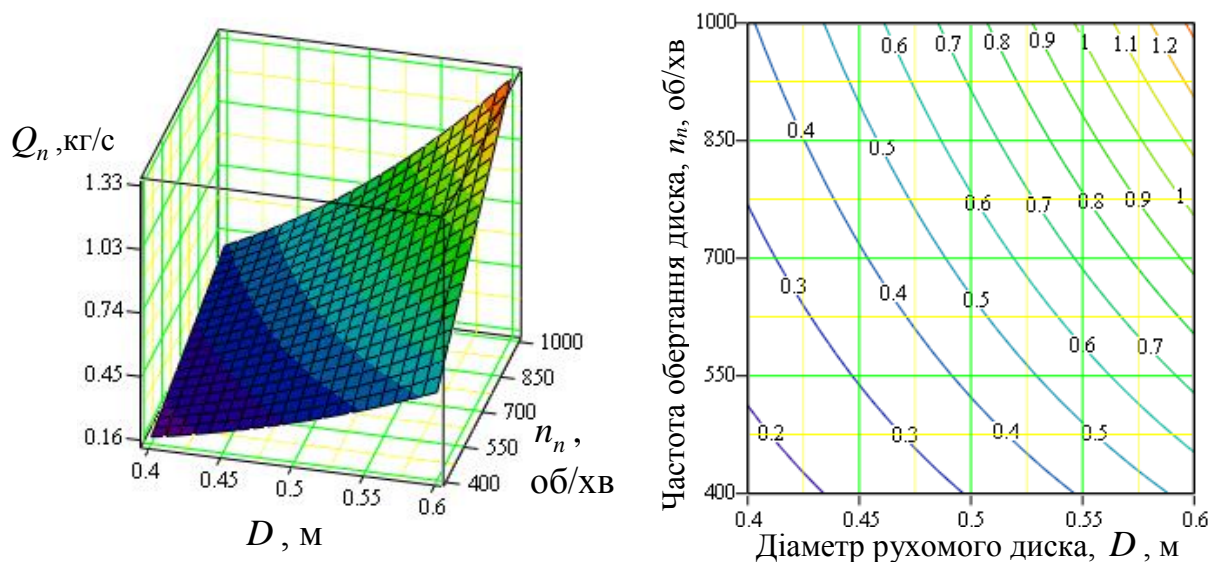


Рис. 2.2. Залежність зміни Q_n як функціонал $Q_{n.max} = f(D, n)$

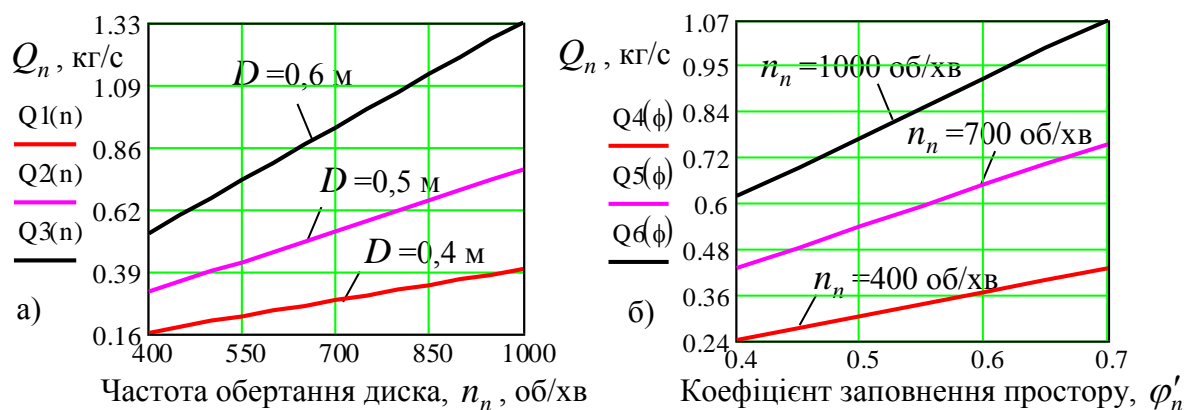


Рис. 2.3. Залежність зміни Q_n як функціонал:

$$\text{а} - Q_{n.max} = f(n); \text{б} - Q_{n.max} = f(\varphi'_n)$$

2.2. Обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів теркового пристрою

Основні конструктивно-кінематичні параметри теркового пристрою та їх взаємозв'язок регламентований критеріями значень основних показників якості та показниками технологічно-експлуатаційної стабільності його роботи [9, 10].

З метою формалізації процесу транспортування сипких матеріалів та для подальшого обґрунтування раціональних параметрів робочих органів теркового

пристрою розглянемо функціональну схему технологічного процесу роботи завантажувального каналу теркового пристрою, яку наведено на (рис. 2.4).

Основними транспортними вузлами завантажувального каналу є бункер 1 (рис. 2.4), який має завантажувальну горловину 2, яка переходить у завантажувальний отвір 3, активатор 4. Активатор приводиться в обертання за допомогою вала 9.

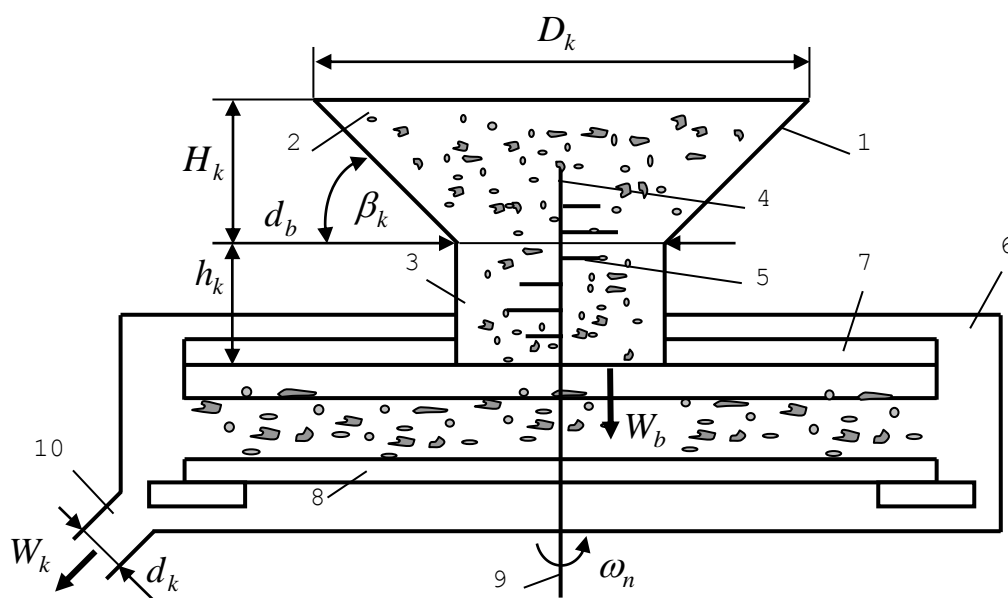


Рис. 2.4. Схема до розрахунку параметрів теркового пристрою:
 1 – бункер; 2 – завантажувальна горловина; 3 – завантажувальний отвір; 4 – активатор; 5 – планка; 6 – корпус; 7, 8 – нерухомий і рухомий диск; 9 – приводний вал; 10 – вихідний канал

Сипкий матеріал із завантажувальної горловини 2 через завантажувальний отвір 3 висипається в внутрішній об'ємний простір робочого русла теркового пристрою, який розташований між внутрішніми робочими поверхнями нерухомого 7 і рухомого 8 дисків, встановлених в корпусі 6 теркового пристрою. Одночасно з висипанням сипкого матеріалу відбувається його інтенсивне перемішування планками 5 активатора 4. Далі процес роботи теркового пристрою аналогічний опису згідно з (рис. 2.1а).

Для формалізації процесу роботи завантажувального каналу теркового

пристрою приймаємо такі припущення:

- поперечний переріз завантажувального бункера та завантажувальної горловини має форму кола, діаметр яких дорівнює D_k, d_b ;

- закономірності руху сипкого матеріалу в завантажувальному каналі описуються (підкоряються) основним закономірностям вільного витікання сипкого сільськогосподарського матеріалу із місткості [106], при цьому витрати сипкого матеріалу через завантажувальний отвір відбуваються у процесі його стікання у воронку під кутом природного укосу до періоду руйнування висоти динамічного розвантажувального склепіння [17];

- витрати сипкого матеріалу через завантажувальний отвір до дисків в кінцевому аспекті не менше продуктивності теркового пристрою.

Взаємозв'язок між розмірними характеристиками завантажувального каналу або бункера 1 та конструктивно-кінематичними параметрами теркового пристрою 6, встановимо на основі аналітичного аналізу розрахункової секундної подачі W_b завантажувального каналу, необхідної продуктивності Q_n теркового пристрою та пропускної здатності W_k вихідного каналу [18].

Позначимо площу поперечного перерізу завантажувального отвору 3 через S_k (см²), витрати сипкого матеріалу через отвір 3 або секундну подачу сипкого матеріалу до теркового пристрою 6 через W_b (кг/с), пропускну здатність вихідного каналу через W_k (кг/с).

Тоді раціональне функціонування теркового пристрою, або забезпечення його необхідної продуктивності роботи з врахуванням (2.1) можливе за умови [18]

$$W_b \leq Q_n \leq W_k. \quad (2.12)$$

Пропускна здатність вихідного каналу W_k (кг/с) регламентується характеристиками вихідного каналу та конструктивно-технологічними параметрами рухомого диска теркового пристрою.

На основі аналізу встановлено, що для оптимальної обробки сипкого матеріалу відповідної кількості, яке завантажене через завантажувальний отвір

бункера теркового пристрою діаметром $d_b = 0,09 \dots 0,15$ м, частота обертання рухомого диска знаходиться в межах $n_n = 60 \dots 950$ об/хв. За зміни коефіцієнта заповнення φ'_n внутрішнього простору робочого русла теркового пристрою у діапазоні $\varphi'_n = 0,4 \dots 0,7$ частота обертання рухомого диска знаходиться у межах $n_n = 300 \dots 900$ об/хв.

Таким чином, на основі проведеного теоретичного аналізу технологічного процесу роботи теркового пристрою можна констатувати, що основні раціональні конструктивно-кінематичні параметри робочих органів теркового пристрою, за яких забезпечується витирання насіння з вороху люцерни, або задовільне протікання процесу обробки сипкого середовища у межах зміни розрахункової продуктивності теркового пристрою $Q_n = 0,8 \dots 6,6$ кг/с будуть становити: діаметр нерухомого та рухомого диска $D = 0,5 \dots 0,6$ м; частота обертання рухомого диска $n_n = 300 \dots 900$ об/хв; діаметр отвору завантажувального каналу бункера $d_b = 0,1 \dots 0,15$ м; діаметр щілини отвору вивантажувального каналу $d_k = 0,1 \dots 0,16$ м; коефіцієнта заповнення внутрішнього простору робочого русла $\varphi'_n = 0,5 \dots 0,7$. Значення інших розмірних параметрів теркового пристрою встановлено конструктивно за відповідними критеріями.

2.3. Математичне моделювання процесу транспортування сипкого матеріалу у просторі робочого русла

Транспортування сипкого матеріалу в просторі робочого русла теркового пристрою може відбуватися у вигляді переміщення одиничних частинок витертого насіння вороху люцерни або їх відокремленої одна від одної групи під дією сил несучого повітряного потоку в вигляді аеросуміші [19], при цьому можливі два основні види режимів руху частинок: частинки сипкого матеріалу переносяться повітряним потоком за допомогою «стрибків» і суцільним потоком [11].

Режими руху потоку частинок сипкого матеріалу регламентують, як правило, його основні фізико-механічні властивості, головні з яких є щільність,

крупність частинок, коефіцієнти внутрішнього та зовнішнього тертя тощо та рівномірності подачі сипких матеріалів в простір робочого русла [11].

Енерговитрати процесу транспортування під час пневматичного способу переміщення сипучого середовища в основному залежать від режимів руху потоку частинок сипкого матеріалу. Швидкість руху потоку є домінуючим фактором енергозатрат процесу транспортування, які мінімальні за хвильового та порційного руху матеріалу в аерованому стані [12].

Для формалізації процесу переміщення сипкого матеріалу приймаємо обмеження, що його транспортування відбувається у вигляді суцільного потоку, а частинки сипкого матеріалу у процесі руху зберігають свою форму та масу.

Аналіз режимів руху потоків частинок сипких матеріалів показує, що вони супроводжуються взаємним переміщенням частинок, які мають дуже складний характер [15]. У нашому випадку внаслідок різних швидкостей поступального переміщення частинок масою m_n в просторі робочого русла теркового пристрою, вони мають відносну зсувну швидкість V_c , а внаслідок взаємних контактів (співударів) частинок, вони набувають додаткових компонентів поступальної швидкості V_n хаотичного переміщення, при цьому елемент масою m_n приймає участь в переносному обертальному русі разом з рухомим диском і одночасно в відносному – вздовж канавки бил.

Розглянемо процес співудару двох елементів масою m_n , які знаходяться в радіальній міжосьовій канавці била на відстані R_n від осі обертання диска, який обертається з кутовою швидкістю ω_n , при цьому вважаємо, що матеріал частинок є пружним. Розрахункова схема процесу пружного співудару двох формалізованих сферичних частинок 1, 2 масою m_n наведена на (рис. 2.5).

Явище співудару двох частинок 1 і 2 масою m_n відбувається переважно за косоного співудару внаслідок взаємного обміну ударними масовими імпульсами (рис. 2.5), при цьому виникають зсувні течії матеріалу, а напрямок векторів u_1 і u_2 швидкостей тіл співудару направлений під кутом β_c співудару до горизонтальної осі системи декартових координат.

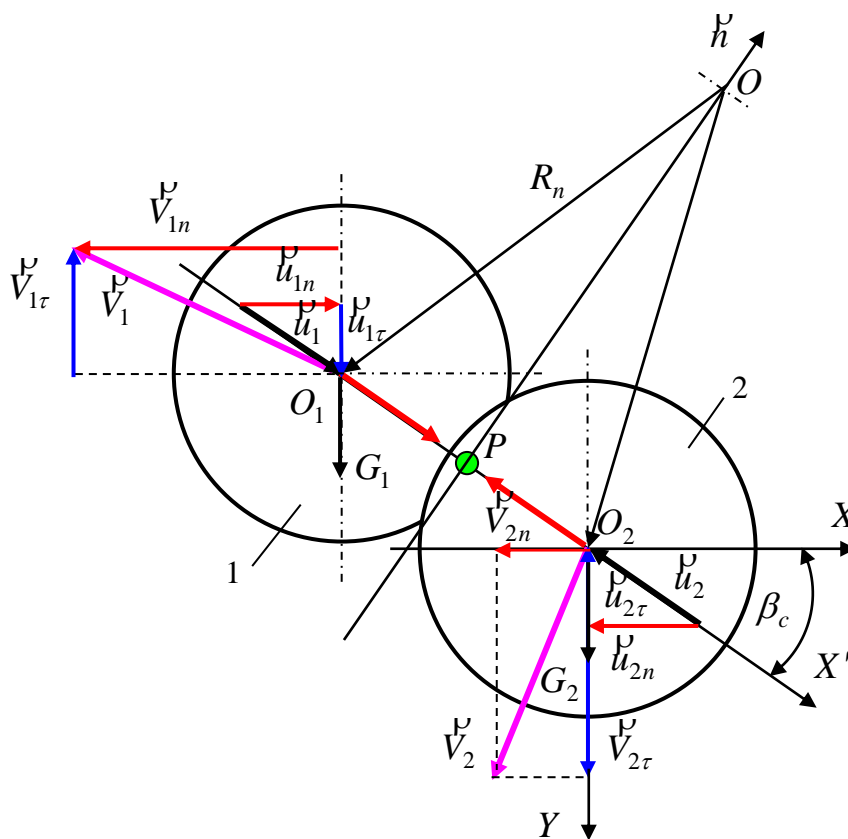


Рис. 2.5. Схема для розрахунку процесу спіудару частинок матеріалу масою m_n

Для рішення задачі зсувних течій, що виникають під час спіудару двох частинок 1 і 2 масою m_n застосовуємо кінетичну теорію суцільних газів [16], при цьому згідно з теорією руху гранульованого середовища [17] відомо, що при зсуві потоку миттєва швидкість частинок являє собою суму трьох споріднених компонент швидкості: швидкість флуктації, поступальну (усереднену) і обертову швидкість.

Згідно з положеннями [18] рівняння стану сипкого середовища під час його переміщення записано у вигляді

$$p(x)\bar{\varepsilon}(x) = \chi \left(\frac{du}{dx} \right)^2. \quad (2.13)$$

Аналіз рівняння (2.13) показує, що добуток квадрата швидкості переміщення сипкого зернистого середовища $(du/dx)^2$ на коефіцієнт фізичної константи χ , який записано в правій частині, тотожній питомому значенню

роботи, яка затрачена на переміщення шару частинок 1 і 2 масою m_n із розрахунку на 1 м^2 . Ліва частина добутку аналогу гідростатичного тиску $p(x)$ на (пористість) зернистого середовища $\bar{\varepsilon}(x)$ тотожна за фізичним смислом кінетичній енергії взаємних хаотичних переміщень частинок 1 і 2 масою m_n внаслідок переміщення сипкого зернистого середовища.

Висновки до другого розділу

1. Продуктивність теркового пристрою змінюється в межах від 0,2 до 1,3 кг/с, при цьому зростання продуктивності Q_n на 0,2...0,25 кг/с спостерігається при значенні діаметра рухомого диска $D \geq 0,5$ м та коефіцієнта заповнення внутрішнього простору робочого русла $\varphi'_n \geq 0,5$. У діапазоні зміни частоти обертання диска $400 \leq n_n \leq 1000$ об/хв продуктивність Q_n збільшується приблизно на 0,65...0,7 кг/с.

2. Значення діаметра D рухомого диска, за якого буде забезпечуватися умова роботи теркового пристрою без «забиття» матеріалу знаходиться в межах $D = 0,4...0,8$ м за зміни діапазону $\varphi'_n = 0,4...0,6$. Дійсне значення діаметра D нерухомого та рухомого диска повинні бути у межах 0,6...0,7 м, що відповідає середньому значенню діаметра d_b завантажувального отвору вихідного каналу бункера та діаметра d_k кільцевої щілини вихідного каналу $d_b = d_k = 0,15$ м і середньому значенню $\varphi'_n = 0,5$.

3. Площа поперечного перерізу S_k завантажувального отвору бункера повинна бути від 0,04 до 1,4 см^2 за зміни діаметра рухомого диска в межах $D = 0,6...0,7$ м і діаметра d_b завантажувального отвору бункера $d_b = 0,09...0,15$ м.

4. Встановлено, що для оптимальної обробки сипкого матеріалу відповідної кількості, яка завантажена через завантажувальний отвір бункера теркового пристрою діаметром $d_b = 0,09...0,15$ м частота обертання рухомого диска знаходиться в межах $n_n = 60...950$ об/хв. За зміни коефіцієнта заповнення φ'_n внутрішнього простору робочого русла теркового пристрою у діапазоні $\varphi'_n = 0,4...0,7$ частота обертання рухомого диска знаходиться у межах $n_n = 300...900$ об/хв.

5. Домінуючим фактором, який суттєво впливає на зростання кінетичної енергії K_V , K_X та K_{II} є u – доударна швидкість контакту насінини у межах зміни u від 5,0 до 15,0 м/с приріст кінетичної енергії частинки K_V , K_X та K_{II} становить, відповідно, 0,8...0,85 Дж, 0,035...0,04 Дж, 0,03...0,35 Дж, а сумарна кінетична енергія $\sum K_m$ взаємних переміщень частинок вороху люцерни у внутрішньому об'ємному просторі робочого русла теркового пристрою знаходиться в межах 0,06...1,3 Дж.

6. Раціональні конструктивно-кінематичні параметри робочих органів теркового пристрою, за яких забезпечується витирання насіння з вороху люцерни, або задовільне протікання процесу обробки сипкого середовища у межах зміни розрахункової продуктивності теркового пристрою $Q_n = 0,8...6,6$ кг/с будуть становити: діаметр нерухомого та рухомого диска $D = 0,5...0,6$ м; частота обертання рухомого диска $n_n = 300...900$ об/хв; діаметр отвору завантажувального каналу бункера $d_b = 0,1...0,15$ м; діаметр щілини отвору вивантажувального каналу $d_k = 0,1...0,16$ м; коефіцієнта заповнення внутрішнього простору робочого русла $\varphi'_n = 0,5...0,7$.

3. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА ВИБІР МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Програма, об'єкт і предмет дослідження

Об'єктом дослідження молотильно-сепаруючого пристрою та його складового базового елемента макетного зразка теркового пристрою є технологічний процес обробки (витирання) підготовленого матеріалу (вороху люцерни). При цьому складовими компонентами технологічного процесу обробки вороху люцерни є дослідження зміни технологічних параметрів, або зміни продуктивності роботи теркового пристрою та кількісних і якісних параметрів (кількості витертого насіння, втрати та пошкодження насіння) залежно від конструктивно-технологічних параметрів структурних елементів теркового пристрою, в тому числі основних робочих органів теркового пристрою: обертового і нерухомого дисків.

Предметом досліджень є конструктивно-кінематичні параметри робочих органів теркового пристрою, які забезпечують виконання технологічного процесу витирання насіння з вороху люцерни і показники продуктивності та якості роботи.

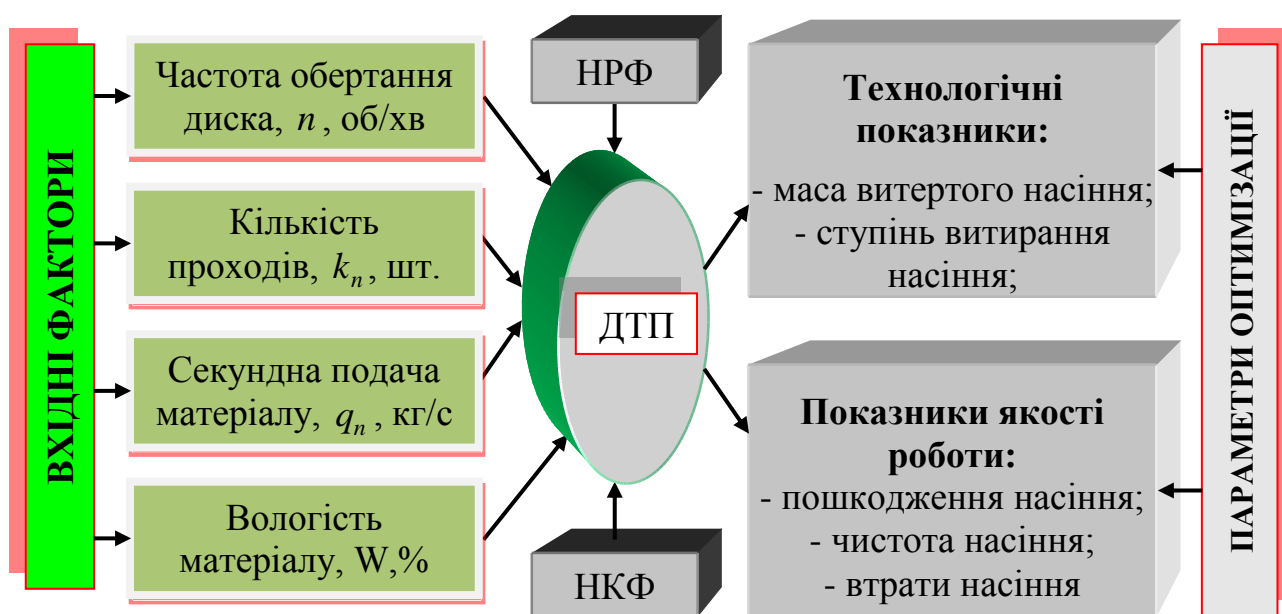
Згідно з метою дипломної роботи та поставлених завдань, а також для перевірки адекватності отриманих результатів теоретичного аналізу, програма проведення експериментальних досліджень макетного зразка теркового пристрою була наступною:

- провести лабораторні експериментальні дослідження з метою одержання емпіричних регресійних залежностей, які характеризують:
- зміну кількості витертого насіння та ступеня витирання насіння з вороху люцерни залежно від основних технологічних параметрів процесу завантаження і конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів та конструктивного виконання нерухомого диска теркового пристрою;
- зміну продуктивності роботи теркового пристрою залежно від його

основних технологічних параметрів процесу завантаження та конструктивно-кінематичних параметрів його робочих органів;

- визначити показники технологічної ефективності використання удосконаленого молотильно-сепаруючого пристрою, який обладнано теркового пристрою і базового молотильно-сепаруючого пристрою (базової машини) на основі проведення порівняльних польових досліджень в умовах виробництва.

Методика проведення теоретичних досліджень базувалася на основі математичного моделювання технологічного процесу роботи теркового пристрою з метою побудови детермінованих математичних моделей, що характеризують основні технологічні та якісно-кількісні показники, які досліджуються з використанням основних положень теоретичної механіки (кінематичного аналізу процесу співудару двох тіл), теорії машин і механізмів (аналізу напрямків швидкостей руху складових частин механізмів і матеріалу обробки), вищої математики, фізики та прикладних програм для комп'ютера (побудови графічних залежностей).



3.1. Структурна модель проведення досліджень теркового пристрою

Експериментальні дослідження базувалися на основі загальних положень планування, проведення, обробки та аналізу одержаних результатів експериментального масиву багатофакторних експериментів із використанням прикладних програм для персонального комп'ютера.

При проведенні експериментальних досліджень побудовану структурну модель теркового пристрою (рис. 3.1) представляли у вигляді кібернетичного поняття “чорного ящика” [26], або багатовимірної системи «вхід-вихід». Вхідними величинами, або змінними діючими факторами даної структурної моделі є технологічні параметри процесу завантаження та конструктивно-кінематичні параметри робочих органів теркового пристрою, а її вихідними величинами – основні технологічні та кількісно-якісні показники процесу, який моделюється.

Для експериментального дослідження продуктивності теркового пристрою

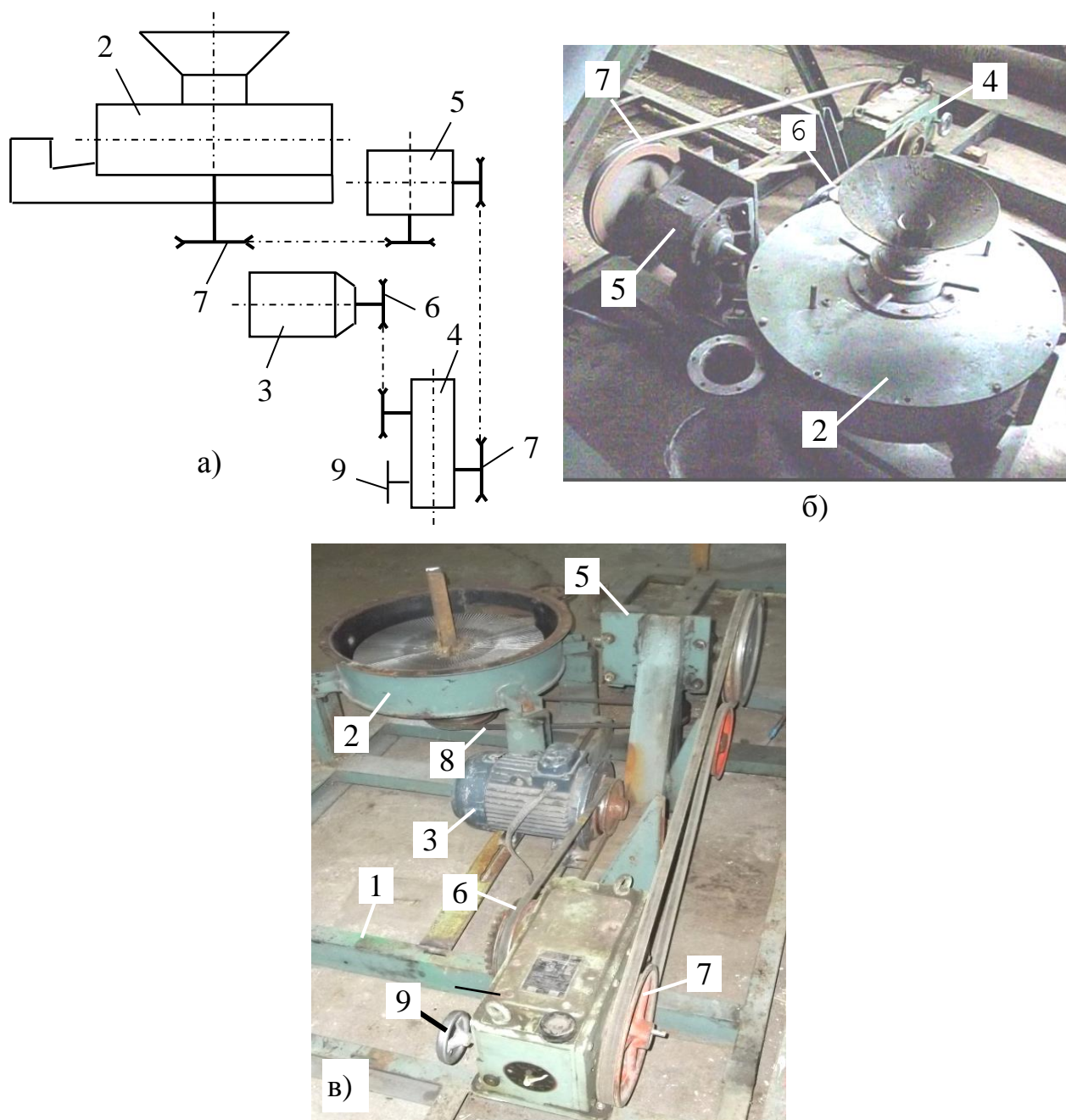


Рис. 3.2. Конструктивна схема (а) та загальний вигляд (б, в) лабораторної установки: 1 – рама; 2 – терковий пристрій; 3 – електродвигун; 4 – варіатор обертів; 5 – конічний редуктор; 6, 7, 8 – клинопасова передача

Q_n (кг/с) та кількісних показників (маси витертого насіння $m_{iv}^{W_i}$ (г) та ступеня витирання насіння $P_{iv}^{W_i}$ (%)) вороху люцерни, використано розроблений макетний зразок лабораторної установки молотильно-сепаруючого пристрою. Конструктивна схема та загальний вигляд макетного зразка лабораторної установки наведена (рис. 3.2).

Терковий пристрій призначений для дослідження кількісно-якісно показників і його продуктивності роботи, які характерні для процесу витирання насіння з різним конструктивним виконанням робочих органів залежно від їх конструктивно-кінематичних параметрів (рис. 3.3).

Терковий пристрій включає корпус 1 (рис. 3.3а) із завантажувальним каналом 2. У просторі завантажувального каналу встановлено пальцевий живильник-перегортач 3, який посаджено на верхню частину вала 4, а на нижнього частину вала посаджено рухомий терковий диск 5. У корпусі 1 встановлено нерухомий диск 6, який має стакан 7, отвір якого є продовженням завантажувального каналу. Стакан виконано у вигляді пустотілого циліндра, на зовнішню сторону якого накручено різьбову втулку 8. За допомогою різьбової пари «стакан-втулка», регулюють робочий зазор між нерухомим і рухомим терковим дисками. Корпус теркового пристрою має кришку 9, при цьому для усунення провертання нерухомого диска та його фіксації він з'єднаний з кришкою за допомогою штифтів 10, які входять в направляючі отвори 11 кришки корпуса. До нижньої поверхні нерухомого диска закріплено біла 12, які встановлено на диску радіально у вигляді променів (рис. 3.3б).

Біла виконано у вигляді рифів 13, які мають насічку, виконану почергово з дзеркальним напрямком. В проміжках між білами концентрично до осі диска розміщено кільцеві виступи 14. Рухомий терковий диск 5 встановлено на вертикальному валу в підшипниковій опорі корпуса та приводиться в дію за рахунок клинопасової передачі 15. Верхня робоча поверхня рухомого диска 5 має радіальні пази 16 (рис. 3.3в), які виконано наступним чином: на одній третині радіуса поверхні диска від центра його обертання до периферії кут між радіальними пазами дорівнює α ; на ділянці від третини до двох третин радіуса – $\alpha/2$; на ділянці від двох третин радіуса до кінця диска – $\alpha/4$. До нижньої поверхні рухомого диска 5 прикріплено лопатки 17. У нижній частині периферії корпуса під лопатками розміщено вивантажувальний канал 18.

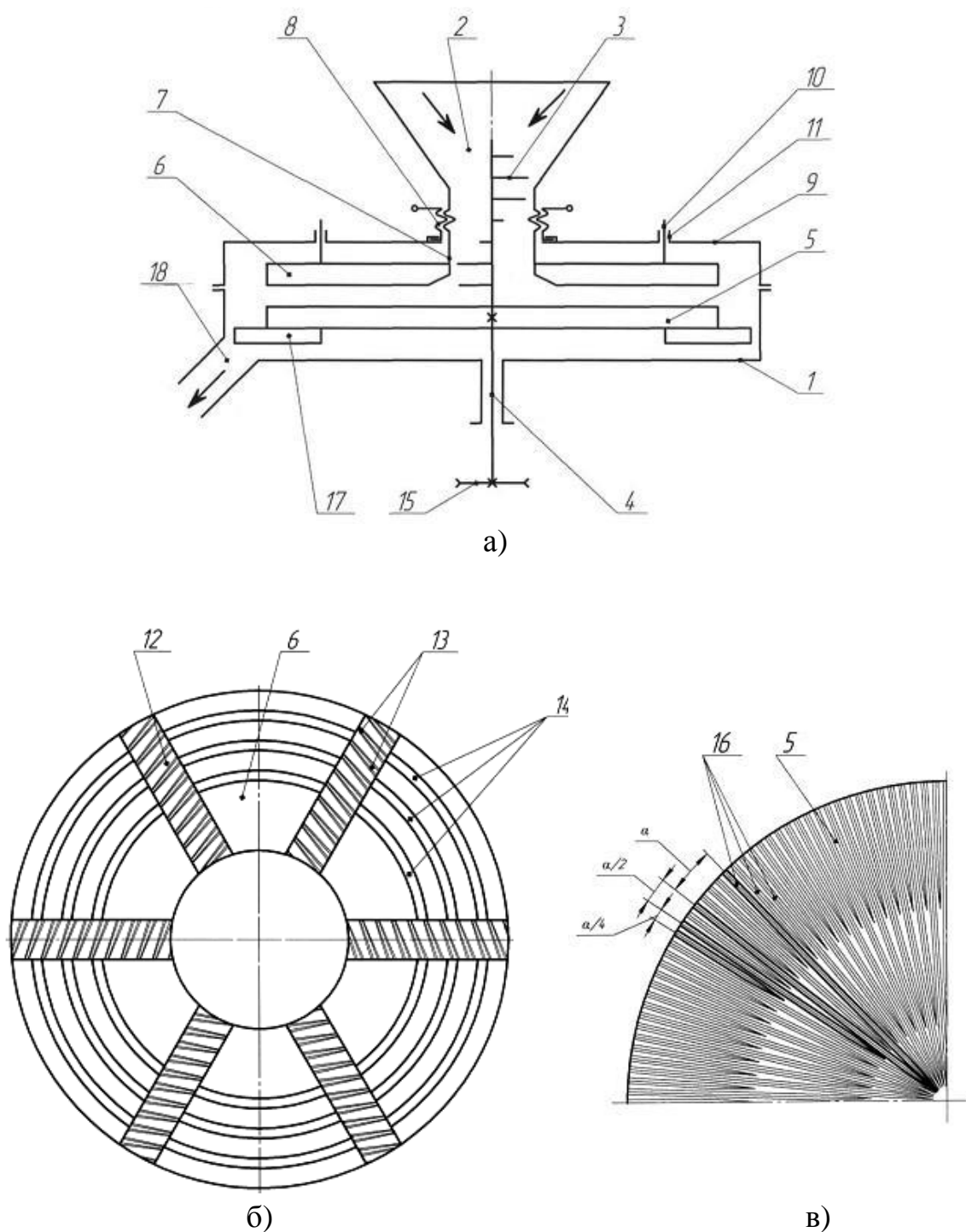


Рис. 3.3. Конструктивна схема: а – терковий пристрій; б – нерухомий диск; в – рухомий терковий диск; 1 – корпус; 2 – завантажувальний канал; 3 – живильник-перегортач; 4 – вал; 5 – рухомий терковий диск; 6 – нерухомий диск; 7 – стакан; 8 – різьбова втулка; 9 – кришка; 10 – штифт; 11 – направляючий отвір; 12 – біла; 13 – риф; 14 – кільцевий виступ; 15 – клинопасова передача; 16 – радіальний паз; 17 – лопатка; 18 – вивантажувальний канал

3.2. Методика проведення лабораторних досліджень

3.2.1. Оцінка впливу конструктивно-технологічних параметрів на якісні показники роботи теркового пристрою

Експериментальні дослідження теркового пристрою, формалізованого у вигляді структурної моделі теркового пристрою (рис. 3.1) направлені до визначення функціональних закономірностей впливу вхідних факторів на вихідну величину, або параметр оптимізації.

Для отримання рівняння регресії, яке характеризує зміну кількості витертого насіння $m_{iv}^{W_{iv}}$ та ступеня витирання насіння $P_{iv}^{W_{iv}}$ з вороху люцерни залежно від основних технологічних параметрів процесу завантаження і конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів та конструктивного виконання нерухомого диска теркового пристрою, вибирали відповідний план двофакторного експерименту, при цьому незалежними змінними факторами приймали: частоту обертання рухомого теркового диска n , яку кодували індексом x_1 ; кількість проходів k_n технологічної маси, яку кодували індексом x_2 .

Дослідження функціональної зміни показників параметрів оптимізації $m_{iv}^{W_{iv}}$ і $P_{iv}^{W_{iv}}$ провели для трьох встановлених фіксованих значень абсолютної вологості вороху люцерни (наважки) $W_{iv} = 18, 21$ і 24 %.

Порядок побудови та проведення експериментальних досліджень апроксимуючої математичної моделі $m_{iv}^{(W_{iv})} = f_m(x_1; x_2)$, $P_{iv}^{(W_{iv})} = f_p(x_1; x_2)$ був наступним:

- кодування змінних вхідних факторів;
- складання таблиці факторів і рівнів варіювання;
- складання план-матриці послідовності проведення експериментів;
- реалізацію експериментів згідно з план-матрицею;

- обробку експериментального масиву даних з метою одержання рівняння регресії параметра оптимізації з визначенням виду функціонала залежності та її коефіцієнтів;
- перевірку відтворюваності одержаних експериментальних даних;
- оцінку значущості коефіцієнтів регресії;
- перевірку адекватності отриманої математичної моделі реальному експериментальному процесу.

Перед реалізацією експериментів проводили підготовку технологічного матеріалу до його відповідно значення фіксованої вологості $W_{iv} = 18, 21, 24 \%$ шляхом змочування початкового вороху та наступного вимірювання його вологості за стандартною методикою [13]. Похибка вимірювання вологості W_{iv} технологічного матеріалу перед початком проведення кожного експерименту в середньому становила $\pm 0,5 \%$.

Маса наважки M_n технологічного матеріалу (вороху люцерни) для всіх експериментів становила $M_n = const = 400 \pm 5$ г, а вміст насіння у воросі складав 33...34 %.

Порядок проведення, умови відбору кількості витертого насіння $m_{iv}^{W_{iv}}$ та ступеня витирання насіння $P_{iv}^{W_{iv}}$ проводили за стандартними методиками згідно з встановленими положеннями [12, 13].

Підготовлений ворох (наважку) відповідної вологості W_{iv} завантажували у завантажувальний канал теркового пристрою лабораторної установки. Після 1 проходу технологічної маси зважували на вагах масу витертого насіння $m_{iv}^{W_{iv}}$ (г) з точністю ± 1 г. Аналогічно визначали $m_{iv}^{W_{iv}}$ після 3 і 4 проходів технологічної маси.

Ступінь витирання насіння $P_{iv}^{W_{iv}}$ з вороху люцерни визначали у відсотках відносно початкової загальної маси M_n наважки технологічного матеріалу за відомою формулою $P_{iv}^{W_{iv}} = m_{iv}^{(W_{iv})} \cdot 100 / M_n$ (%).

Отримані експериментальні значення кількості витертого насіння $m_{iv}^{W_{iv}}$ та

ступеня витирання насіння $P_{iv}^{W_{iv}}$ з вороху люцерни для граничних значень відповідних точок композиційного плану двофакторного експерименту типу ПФЕ 3^2 , заносили у відповідні графі план-матриці експерименту.

Обробку отриманого експериментального масиву даних проводили за загальновідомими методиками та методами статистичної обробки для отримання емпіричної математичної моделі $m_{iv}^{(W_{iv})} = f_m(x_1; x_2)$, $P_{iv}^{(W_{iv})} = f_P(x_1; x_2)$ з використанням методик кореляційного і регресійного аналізу апроксимуючої функції, яка характеризує вплив факторів і їх взаємодію на параметр оптимізації, тобто кількості витертого насіння $m_{iv}^{W_{iv}}$ та ступеня витирання насіння $P_{iv}^{W_{iv}}$ з вороху люцерни.

Порядок обробки експериментальних даних кількості витертого насіння $m_{iv}^{W_{iv}}$ та ступеня витирання насіння $P_{iv}^{W_{iv}}$ з вороху люцерни був наступним.

1. Отримавши масив експериментальних даних проводили перевірку його відтворюваності.

2. Якщо в результаті перевірки за допомогою критерію Кохрена доведено, що процес відтворюваний, то наступним кроком в обробці результатів експериментальних даних є визначення коефіцієнтів регресії.

3. Перевірку адекватності рівняння регресії, представленого у вигляді функціонала $m_{iv}^{(W_{iv})} = f_m(x_1; x_2)$, $P_{iv}^{(W_{iv})} = f_P(x_1; x_2)$, проводили за критерієм Фішера.

4. Провівши перевірку адекватності необхідно оцінити значимість коефіцієнтів регресії b_i , b_{ij} , b_{ijk} , використавши критерій

5. Встановлення зв'язку між величинами (між вихідним параметром і фактором, а також факторами між собою) проводили на основі проведення кореляційного аналізу.

3.2.2. Методика проведення досліджень продуктивності роботи та порівняльних досліджень теркового пристрою

Для отримання рівняння регресії, яке характеризує зміну продуктивності

$Q_{n.e}$ (кг/с) теркового пристрою, вибирали відповідний план двофакторного експерименту, при цьому незалежними змінними факторами приймали: частоту обертання диска n , яку кодували індексом x_1 ; секундну подачу матеріалу (наважки вороху) q_n , яку кодували індексом x_2 . Двофакторний експеримент провели на трьох рівнях варіювання факторами, тобто реалізували експеримент типу ПФЕ 3^2 .

Підготовлений ворох фіксованої вологості $W_{iv} = 18, 21, 24$ % полотном транспортера подавали до завантажувального каналу лабораторної установки, при цьому секундну подачу матеріалу наважки q_n визначали попередньо за формулою

$$q_n = M_{mp} V_{mp} / L_n, \quad (3.1)$$

де M_{mp} – маса вивантаженого матеріалу з вихідного кінця полотна транспортера, кг, зваженого з точністю ± 5 г;

V_{mp} – швидкість руху полотна транспортера, м/с;

L_n – шлях проходження вороху від початку руху до вихідного кінця транспортера, м.

Швидкість руху полотна транспортера визначали згідно з стандартною методикою за частотою обертання та діаметром барабана ведучого вала транспортера.



а)



б)

Рис. 3.4. Загальний вигляд: а – рухомого диска; б – нерухомого диска

Конструктивну форму виконання теркового пристрою (конструкцію

нерухомого диска) приймали на основі аналізу результатів досліджень з визначення характеру зміни кількості витертого насіння $m_{iv}^{W_{iv}}$ та ступеня витирання насіння $P_{iv}^{W_{iv}}$ з вороху люцерни залежно від зміни параметрів процесу роботи теркового пристрою.

При цьому рухомий терковий диск (рис. 3.4а) було виконано ребристим, а нерухомий диск – у вигляді диска з закріпленими на ньому шістьма білами та плоскими пластинами, які встановлені у міжбильному просторі, де також по колу діаметром 200 і 300 мм закріплено кільцеві вставки з прутка діаметром 6мм, (рис. 3.4б).

Частоту обертання n рухомого теркового диска встановлювали за допомогою відповідної кількості обертів рукоятки варіатора лабораторної установки.

Продуктивність теркового пристрою визначали за формулою

$$Q_n = M_c / t_o, \quad (3.2)$$

де M_c – маса вивантаженого матеріалу з вивантажувального каналу теркового пристрою, кг, зваженого з точністю ± 5 г;

t_o – час вивантаження матеріалу (обробленого вороху) з вивантажувального каналу, с.

Час вивантаження t_o обробленого вороху з вивантажувального каналу для кожного експерименту приймали постійним і рівним $t_o = const = 20$ с.

Для проведення порівняльних досліджень, на основі запропонованого теркового пристрою, конструктивна схема якого наведена на (рис. 3.3) було розроблено принципову схему польової експериментальної установки удосконаленого молотильно-сепаруючого пристрою, конструктивну схему якого наведено на (рис. 3.5). Конструктивну схему варіанту виконання рухомого диска теркового пристрою наведено на (рис. 3.6), а загальний вигляд – на (рис. 3.4а). Конструктивну схему варіанту виконання нерухомого диска теркового пристрою наведено на (рис. 3.7).

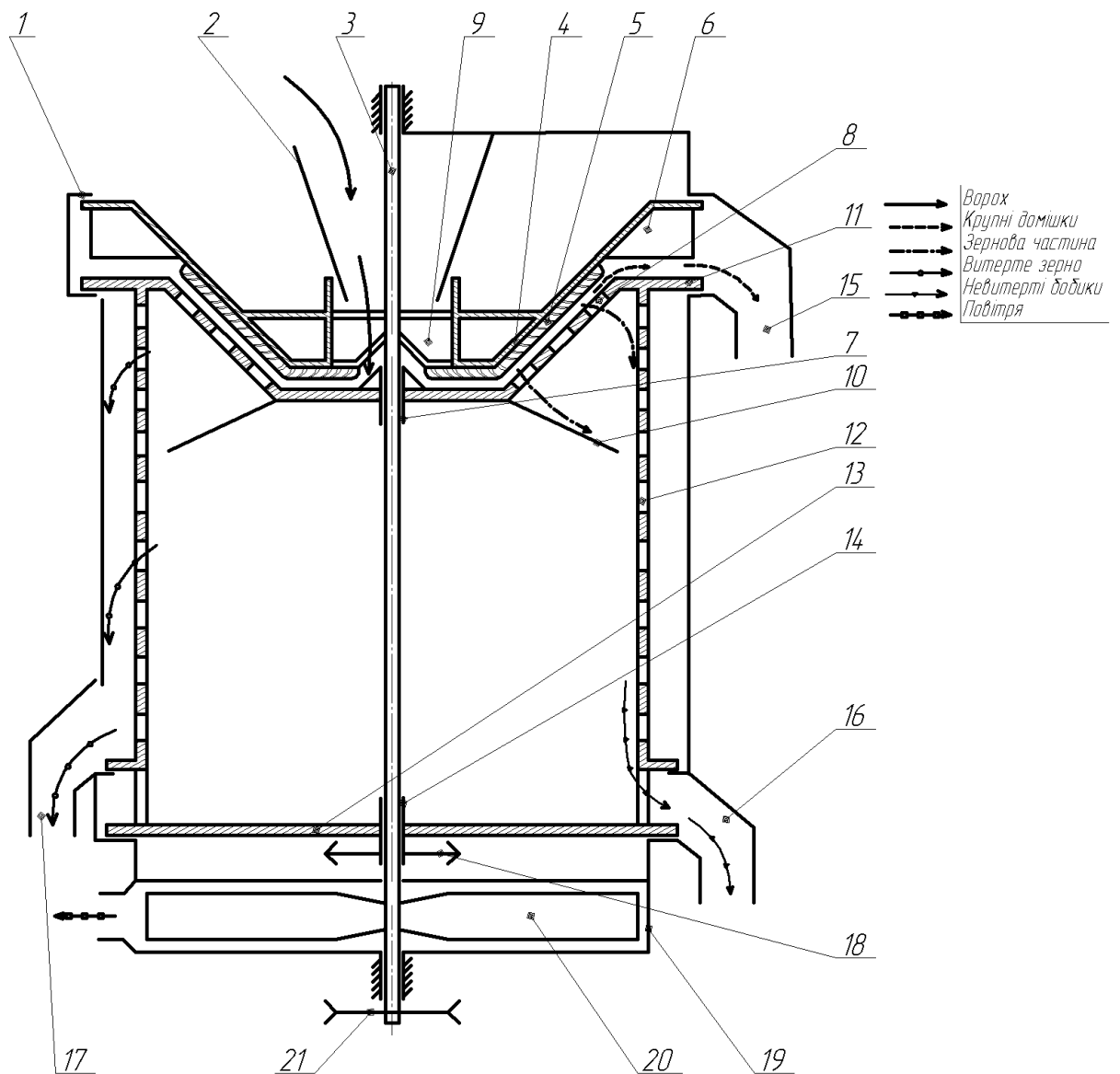


Рис. 3.5. Конструктивна схема удосконаленого молотильно-сепаруючого пристрою: 1 – кожух; 2 – завантажувальна воронка; 3 – вал; 4 – конічний барабан; 5 – бичі; 6 – лопатки; 7 – підшипник; 8 – дека; 9 – скребки; 10 – розсіюючий конус; 11 – кільце; 12 – циліндричне решето; 13 – диск; 14 – підшипникова опора; 15 – канал для відводу солом'яної частини вороху; 16 – канал для відводу не витертого із бобів зерна; 17 – канал для відводу очищеного насіння; 18 – автономний привід; 19 – вентилятор; 20 – лопаті; 21 – привод.

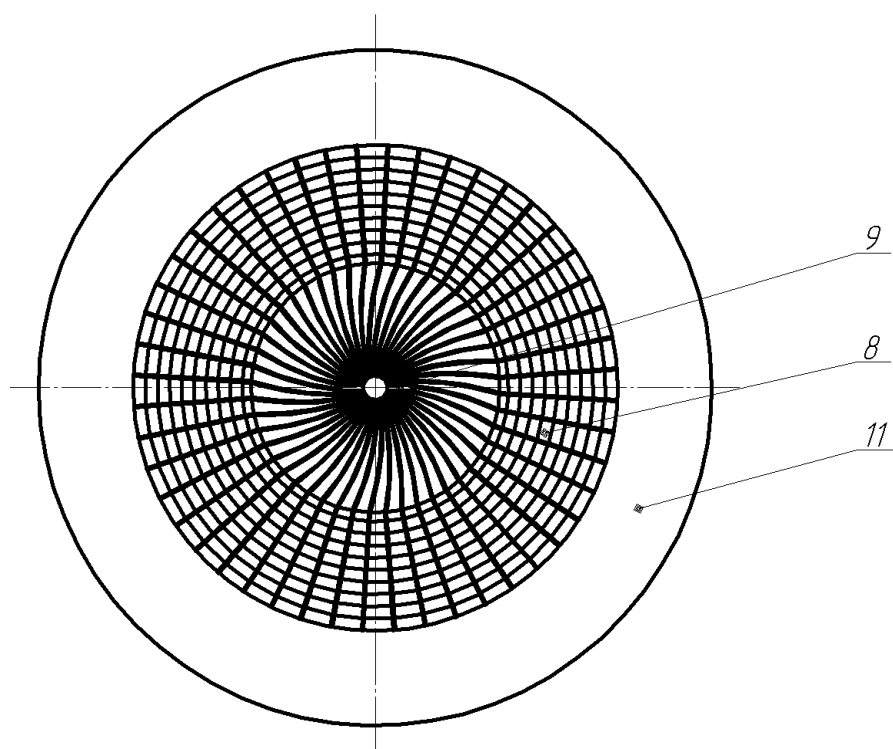


Рис. 3.6. Конструктивна схема деки (рухомого диска)

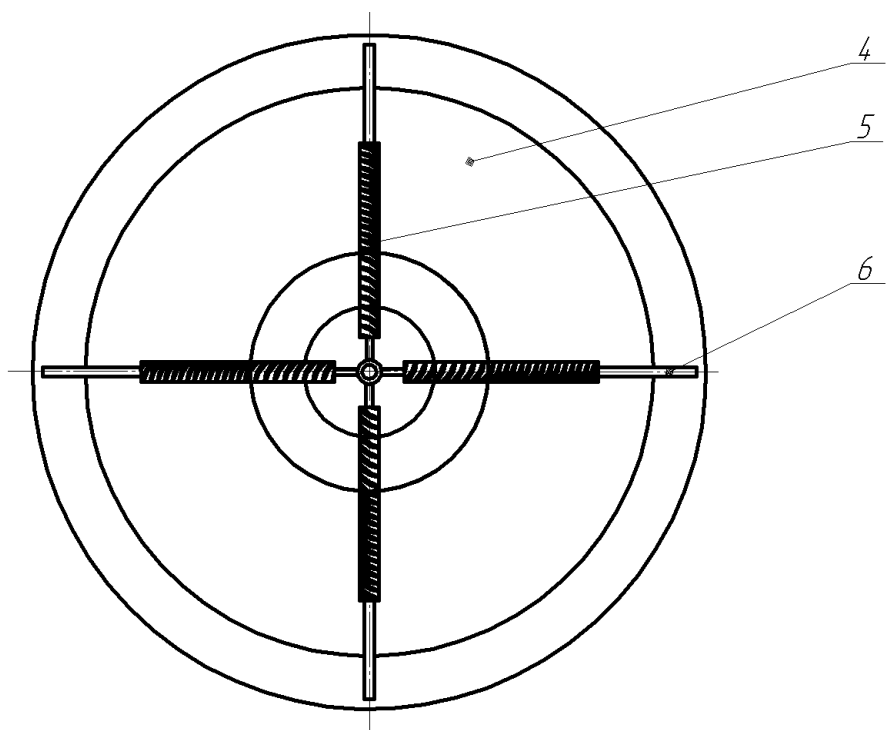


Рис. 3.7. Конструктивна схема барабана (нерухомого диска)

Удосконалений молотильно-сепаруючий пристрій включає кожух 1 із завантажувальним каналом 2 (рис. 3.5). В завантажувальному каналі на вертикальному валу 3 встановлено конічний барабан 4.

Барабан виконано у вигляді пустотілого конічного циліндра, до меншої основи якого та по периметру бічної поверхні барабана знизу закріплено била 5, а у верхній частині конічного циліндра по периметру конуса встановлено лопатки 6. На вертикальному валу на підшипниках 7 еквідистантно до барабана встановлена дека 8 із скребками 9. Нижня частина деки виконана з глухою рифленою поверхнею, а її конічна частина – перфорованою. Знизу до зрізаної основи деки прикріплено розсіюючий конус 10. Зверху конічна частина деки обв'язана кільцем 11, до якого знизу приєднане циліндричне решето 12. Внизу циліндричне решето з'єднане з диском 13, який встановлено на валу в підшипниковій опорі 14.

У верхній частині кожуха розміщено канал 15 для відводу солом'яної частини вороху, а в нижній частині кожуха – канал 16 для відведення не витертого із бобів зерна і канал 17 для відведення очищеного зерна. Дека і циліндричне решето мають один автономний привід 18. Під циліндричним решетом встановлено вентилятор 19, лопаті 20 якого закріплено на вертикальному валу та приводяться в дію приводом 21 синхронно з барабаном [18].

Удосконалений молотильно-сепаруючий пристрій працює таким чином.

Отриманий після збирання зернозбиральним комбайном бункерний ворох зерна вороху люцерни, або необмолочені боби через завантажувальну воронку 2 подаються в пустотілий барабан 4. Через кільцевий отвір в барабані 4 ворох просипається на деку 8, де спочатку скребками 9 зміщається від центра осі деки до периферії, далі матеріал поступає в робочий зазор між бичами 5 і декою 8. В нижній частині деки 8 в зазорі між бичами 5 і декою 8, матеріал протягується по глухій рифленій поверхні деки, де зерно інтенсивно виділяється із оболонок або колосків і зміщається бичами та центробіжною силою на конічну частину деки 8. На конічній частині деки 8 відбувається довитирання не витертого із бобів зерна

та просіювання із вороху зернової частини. На виході з конічної частини деки 8 солом'яна частина вороху захвачується лопатками 6 і викидається в канал 15 для відводу її із пристрою. Зернова частина, яка просипалась крізь деку 8 поступає на розсіюючий конус 10, де під дією центробіжних сил відкидається на поверхню циліндричного решета 12. На решеті 12 зернова частина розділяється на фракції. Витерте із оболонки зерно і мілкі домішки, які просипаються крізь отвори решета 12 поступають в канал 17 для відводу очищеного зерна. На виході із вихідного каналу 17 зерно продувається повітряним потоком, який створює вентилятор 19, де із нього виділяються легкі солом'яні частинки. Залишки не витертого зерна, що сходять по решету вниз, через канал 16 повторно подаються в завантажувальну воронку 2 для домолоту.

Конструктивно-кінематичні параметри теркового пристрою встановлювали згідно з результатами теоретичних і експериментальних досліджень.

Порівняльні дослідження удосконаленого та базового молотильно-сепаруючого пристрою проводили в 2023 р. у ФГ «Адамівка Агро», Хмельницької області.

Порядок проведення, умови відбору проб і визначення показників якості роботи удосконаленого молотильно-сепаруючого пристрою, обладнаного терковим пристроєм та базового молотильно-сепаруючого пристрою, проводили за стандартними методиками згідно з встановленими положеннями [16].

Попередньо зернозбиральним комбайном СК-5 «Нива» проводили збирання люцерни. Бункерний ворох люцерни через завантажувальний канал молотильно-сепаруючого пристрою завантажували у робочий міждисковий простір теркового пристрою. Розрив у часі між відбором бункерного вороху або збиранням люцерни та завантаженням його у молотильно-сепаруючий пристрій становив не більше 5 хв. Вологість завантаженого вороху люцерни становила в середньому 20 ± 1 %.

Вихідними даними для проведення аналізу одержаних результатів досліджень показників якості роботи порівнювальних молотильно-сепаруючих пристроїв є агротехнічні вимоги до технологічного процесу збирання люцерни [19]. При цьому згідно з агротехнічними вимогами необхідно забезпечити такі

основні показники якості роботи: недомолот насіння з вороху люцерни – не більше 2%; пошкодження насіння (дроблення) – не більше 3%; домішок (полови) у вимолоченому насінні – не більше 5%; втрати насіння – не більше 2%.

Порівняльні дослідження провели на основі аналізу співставлення одержаних результатів агротехнічних показників роботи удосконаленого і базового молотильно-сепаруючого пристрою.

Умови проведення порівняльних досліджень, які були однаковими для обох випадків визначали згідно з [19].

Висновки до третього розділу

1. На основі одержаних результатів теоретичних досліджень спроектовано та виготовлено лабораторно-польову установку теркового пристрою та удосконалений молотильно-сепаруючий пристрій із його застосуванням у конструктивно-технологічній схемі.

2. Запропоновано часткову методику експериментального визначення ступеня витирання насіння терковим пристроєм та визначення продуктивності його роботи.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕРКОВОГО ПРИСТРОЮ

4.1. Визначення ступеня витирання насіння терковим пристроєм

Для обґрунтування основних конструктивно-технологічних параметрів молотильно-сепаруючого пристрою провели лабораторні експериментальні дослідження зміни кількісних показників (маси витертого насіння $m_{iv}^{W_{iv}}$ (г) та ступеня витирання насіння $P_{iv}^{W_{iv}}$ (%) вороху люцерни) залежно від зміни частоти обертання рухомого диска n і кількості проходів k_n технологічної маси у межах зміни відповідних факторів $480 \leq n \leq 1080$ (об/хв), $1 \leq k_n \leq 5$ (шт.) і конструктивного виконання обертового та нерухомого диска теркового пристрою [17].

Окремо провели експериментальні дослідження зміни маси витертого насіння $m_{iv}^{W_{iv}}$ (г) залежно від впливу експозиції обробки, або часу обробки t_o (с) шляхом послідовного (почергового) завантаження маси вороху.

Конструктивну схему лабораторної установки для дослідження технологічного процесу витирання насіння m_{iv} вороху люцерни наведено на (рис. 3.2), а загальний вигляд установки – на (рис. 3.2 та рис.4.1).

Загальний вигляд варіантів конструктивного виконання нерухомого диска наведено на (рис.4.2), а лабораторної установки – на (рис.4.3), при цьому:

- варіант 1: обертовий диск виконано ребристим, а нерухомий диск виконано у вигляді диска з закріпленими на ньому шістьма білами та плоскими пластинами, які встановлено у просторі між білами (рис. 4.2а);

- варіант 2: обертовий диск виконано ребристим, а в просторі між трьома білами встановлено плоскі пластини (рис. 4.2б);

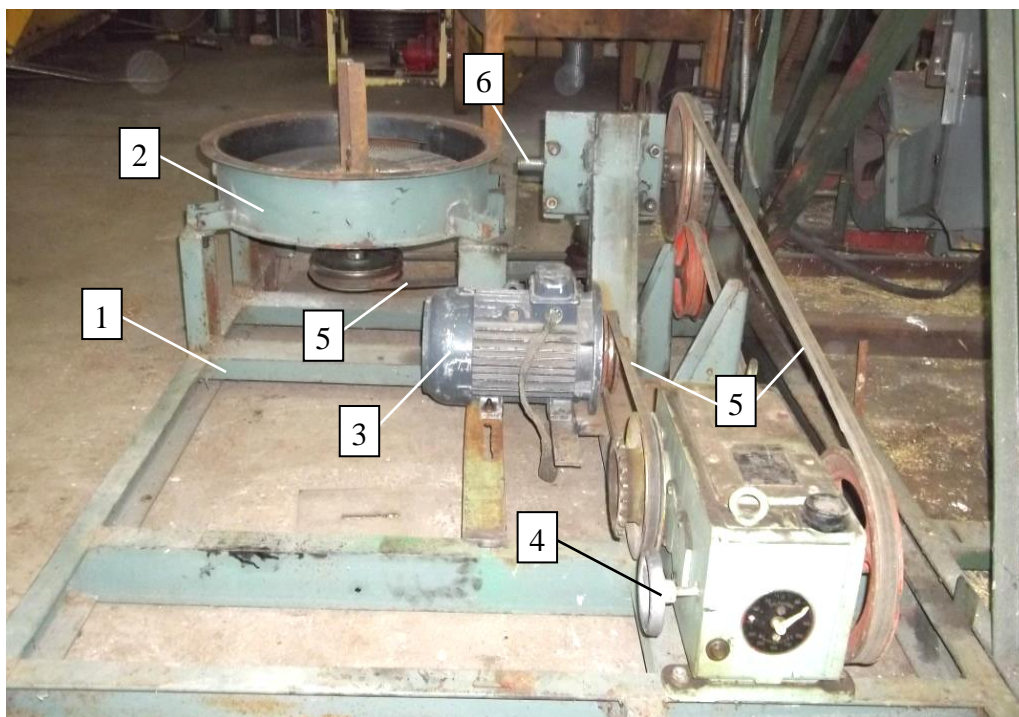


Рис. 4.1. Загальний вигляд макетного зразка лабораторної установки:

1 – рама; 2 – терковий пристрій; 3 – двигун; 4 – варіатор;
5 – клинопасова передача; 6 – опора

- варіант 3: обертовий диск виконано ребристим, а у просторі між шістьма білами нерухомого диска по колу діаметром 200, 250 і 300 мм закріплено кільцеві вставки з прутка діаметром 8 мм, (рис. 4.2в);

- варіант 4: обертовий диск виконано ребристим, а у просторі між шістьма білами нерухомого диска по колу діаметром 200, 250 і 300 мм закріплено кільцеві вставки з прутка діаметром 6 мм, (рис. 4.2г).

Для встановлення впливу вологості W_{iv} (%) наванжки технологічного матеріалу (вороху люцерни) на кількісні показники параметрів оптимізації (маси витертого насіння $m_{iv}^{W_{iv}}$ та ступеня витирання насіння $P_{iv}^{W_{iv}}$ вороху люцерни) експериментальні дослідження провели для трьох фіксованих значень абсолютної вологості вороху – $W_{iv} = 18, 21$ і 24 %, при цьому вважали, що встановлення та прийняття вологості вороху W_{iv} наванжки насіння люцерни у якості основного третього діючого фактора, є неприйнятним за причиною дуже значної мінливості зміни вологості вороху W_{iv} за час проведення всієї кількості експериментів.

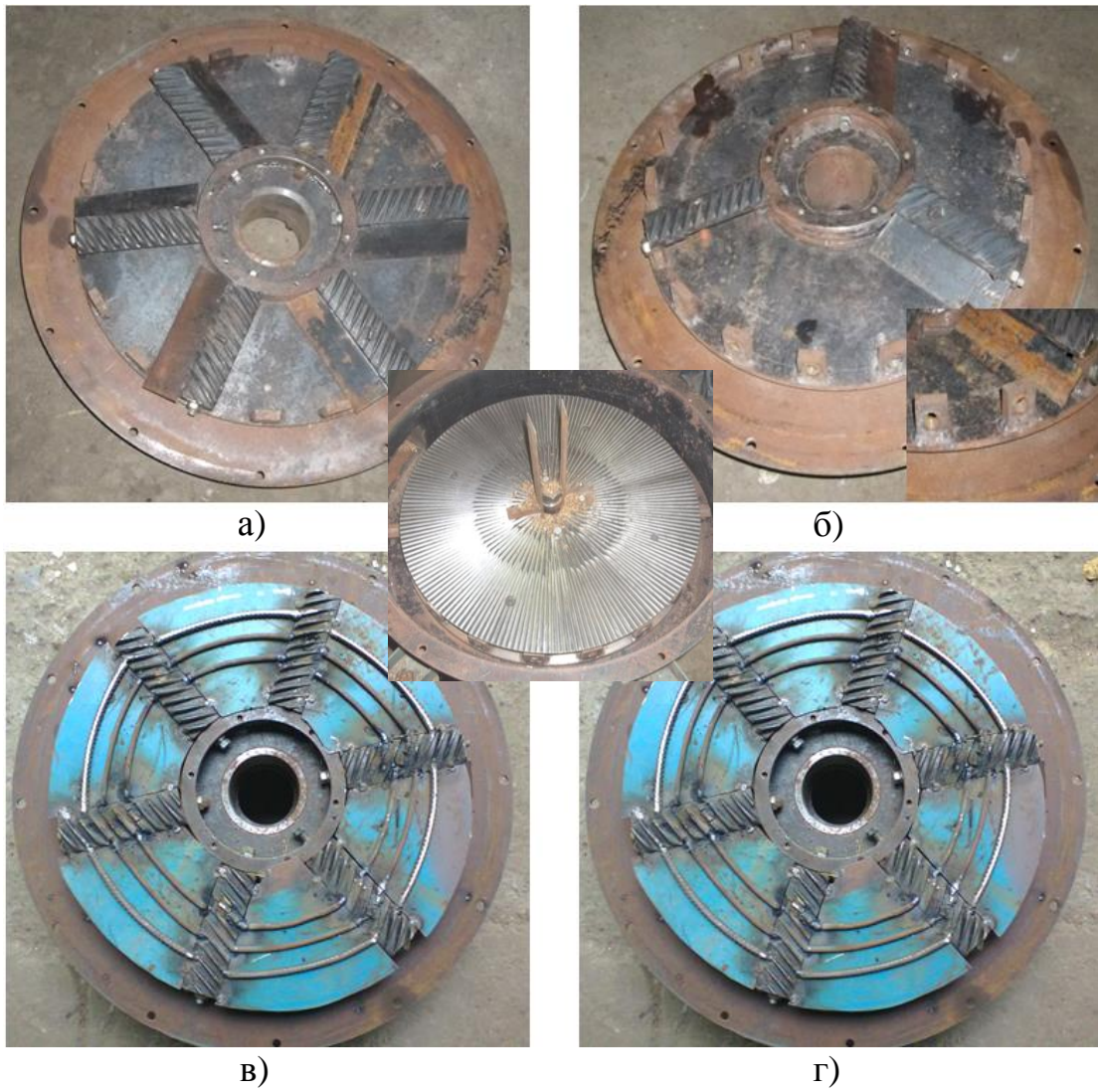


Рис. 4.2. Загальний вигляд виконання нерухомого диска:

а, б, в, г – відповідно, варіант 1, 2, 3, 4

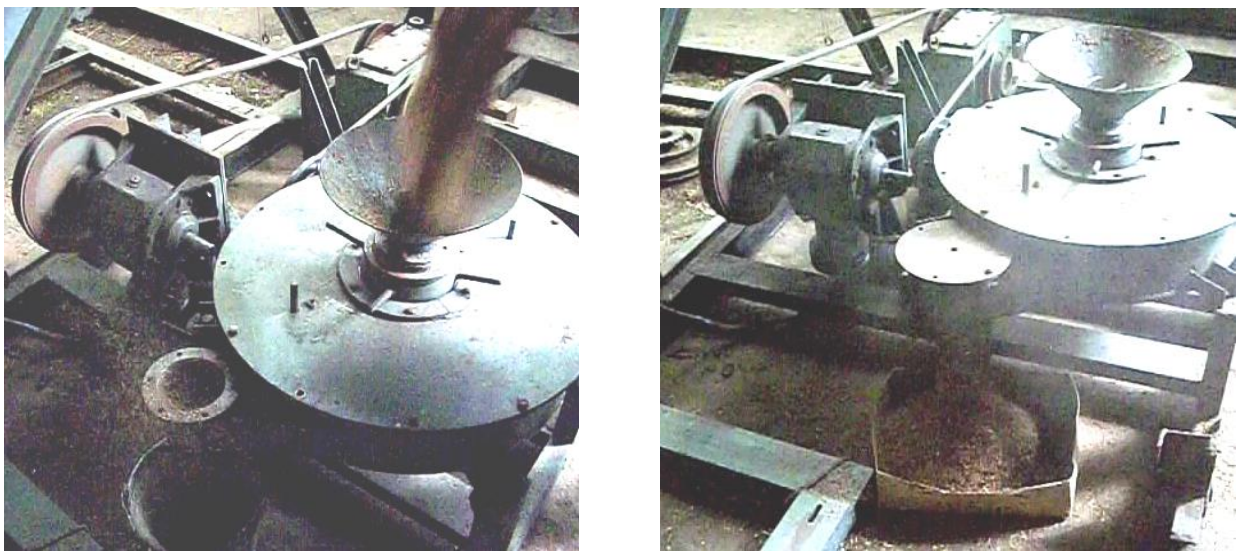


Рис. 4.3. Терковий пристрій у роботі

У цьому випадку фактор «вологість наважки вороху» W_{iv} є некерованим і нерегульованим, тому такий фактор не може бути прийнятим в якості основного діючого фактора [19].

Маса наважки технологічного матеріалу (вороху люцерни) кожного порядкового номера експерименту була постійною та становила 400 ± 5 г, вміст насіння – 33...34 %, похибка значень вимірювання вологості вороху – $\pm 0,5$ %.

Таблиця 4.1

Результати експериментальних досліджень $m_{iv}^{(18)}$, $P_{iv}^{(18)}$

за вологості вороху $W_{1v} = 18$ %

№ експ.	n , об/хв	k_n , шт.	$m_{1v}^{(18)}$, г	$P_{1v}^{(18)}$, %	$m_{2v}^{(18)}$, г	$P_{2v}^{(18)}$, %	$m_{3v}^{(18)}$, г	$P_{3v}^{(18)}$, %	$m_{4v}^{(18)}$, г	$P_{4v}^{(18)}$, %
1	480	1	26	6,6	35	8,8	29	7,3	40	10,0
2	780	1	47	11,8	61	15,3	62	15,5	67	16,8
3	1080	1	68	17,0	80	20,0	90	22,5	98	24,5
4	480	3	47	11,8	50	12,5	51	12,8	65	16,3
5	780	3	79	19,8	67	16,8	97	24,3	89	22,3
6	1080	3	100	25,0	107	26,8	110	27,5	120	30,0
7	480	5	55	13,8	94	23,5	70	17,3	80	20,0
8	780	5	91	22,8	110	27,5	115	28,8	98	24,5
9	1080	5	107	26,8	120	30,0	120	30,0	130	32,6

Таблиця 4.2

Результати експериментальних досліджень $m_{iv}^{(21)}$, $P_{iv}^{(21)}$

за вологості вороху $W_{2v} = 21$ %

№ експ.	n , об/хв	k_n , шт.	$m_{1v}^{(21)}$, г	$P_{1v}^{(21)}$, %	$m_{2v}^{(21)}$, г	$P_{2v}^{(21)}$, %	$m_{3v}^{(21)}$, г	$P_{3v}^{(21)}$, %	$m_{4v}^{(21)}$, г	$P_{4v}^{(21)}$, %
1	480	1	29	7,3	38	9,5	32	8	44	11,0
2	780	1	51	12,8	66	16,5	67	16,8	72	18,0
3	1080	1	76	19,0	89	22,3	98	24,5	109	27,3
4	480	3	49	12,3	53	13,3	53	13,3	68	17,0
5	780	3	82	20,5	71	17,8	102	25,5	93	23,3
6	1080	3	116	29	122	30,5	128	32,0	127	31,8
7	480	5	57	14,3	97	24,3	74	18,5	85	21,3
8	780	5	95	23,3	125	31,2	119	29,8	104	26,0
9	1080	5	127	31,8	135	33,8	135	33,8	135	33,8

Для побудови емпіричної математичної моделі, яка характеризує зміну маси витертого насіння $m_{iv}^{W_{iv}}$ та ступеня витирання насіння $P_{iv}^{W_{iv}}$ вороху люцерни кожного з варіантів конструктивного виконання теркового пристрою та відповідної вологості вороху наважки насіння люцерни, утворювали таблиці одержаних результатів точок композиційного плану двофакторного експерименту типу ПФЕ 3².

Результати реалізації план-матриці кожного з варіантів експериментальних досліджень маси витертого насіння $m_{iv}^{W_{iv}}$ та ступеня витирання насіння $P_{iv}^{W_{iv}}$ вороху люцерни, або експериментальний масив даних наведено у (табл. 4.1 - 4.3).

Таблиця 4.3

Результати досліджень $m_{iv}^{(24)}$, $P_{iv}^{(24)}$ за вологості вороху $W_{3v} = 24$ %

№ експ.	n , об/хв	k_n , шт.	$m_{1v}^{(24)}$, г	$P_{1v}^{(24)}$, %	$m_{2v}^{(24)}$, г	$P_{2v}^{(24)}$, %	$m_{3v}^{(24)}$, г	$P_{3v}^{(24)}$, %	$m_{4v}^{(24)}$, г	$P_{4v}^{(24)}$, %
1	480	1	24	6,0	32	8,0	25	6,3	35	8,8
2	780	1	43	10,8	57	15,5	57	15,5	62	16,8
3	1080	1	63	15,8	76	19,0	85	21,3	95	25,0
4	480	3	43	10,8	47	11,8	48	12,0	61	15,3
5	780	3	75	18,8	62	16,8	93	23,3	84	21,0
6	1080	3	95	23,3	102	25,5	105	26,3	114	28,5
7	480	5	51	12,8	90	22,5	66	16,5	76	19,0
8	780	5	87	21,8	115	28,8	117	29,3	94	23,5
9	1080	5	101	25,3	125	31,2	125	31,2	124	31,1

Обробку одержаного масиву експериментальних даних для всіх варіантів реалізації дослідження провели згідно з відомими положеннями і методикою [13].

Для проведення узагальненого аналізу показників якості роботи теркового пристрою було побудовано діаграму зміни ступеня витирання насіння $p_{iv}^{W_{iv}}$ (%) відносно загальної маси завантаженого насіння m_z у складі наважки вороху залежно від кількості проходів k_n для всіх прийнятих варіантів конструктивного виконання нерухомого диска за фіксованих значень вологості наважки $W_{iv} = 18, 21$ і 24 %, яку наведено на (рис. 4.4).

При цьому загальна маса завантаженого насіння m_z у складі наважки вороху люцерни становила $m_z = 135$ г, а показник $p_{iv}^{W_{iv}}$ (у %) визначали відносно кількісного значення маси витертого насіння $m_{iv}^{(W_{iv})}$ за максимальної частоти обертання рухомого диска теркового пристрою $n = 1080$ об/хв, що наведено у (табл. 4.1 - 4.3.)

Результати обробки експериментальних даних з визначення $p_{iv}^{W_{iv}}$ наведено у (табл. 4.5).

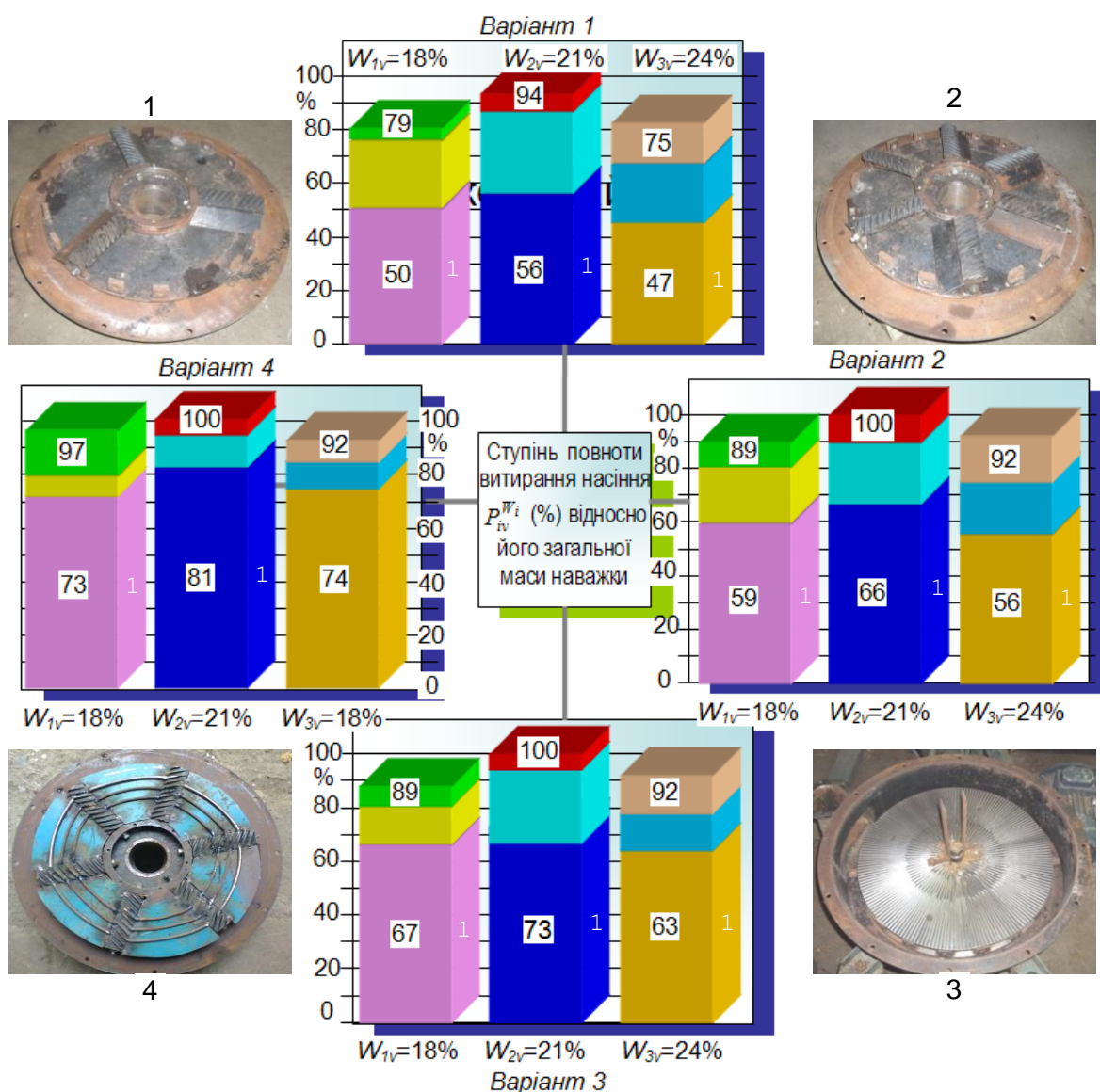


Рис. 4.4. Діаграма зміни ступеня витирання насіння $P_{iv}^{W_{iv}}$ (%) відносно загальної маси завантаженого насіння; 1, 2, 3, 4 – варіанти конструктивного виконання теркового пристрою

Таблиця 4.5

Результати експериментальних досліджень $p_{iv}^{(W_{iv})}$

k_n , шт.	Значення показника $p_{iv}^{(W_{iv})}$, %			
	Варіанти конструктивного виконання нерухомого диска ДТП			
	1	2	3	4
Вологість наважки $W_{1v} = 18$ %				
1	50	59	67	72
3	74	79	91	89
5	79	89	89	97
Вологість наважки $W_{2v} = 21$ %				
1	56	66	73	81
3	86	90	95	94
5	94	100	100	100
Вологість наважки $W_{3v} = 24$ %				
1	47	56	63	74
3	69	76	78	84
5	75	92	92	92

На основі аналізу (рис. 4.4) було встановлено, що:

- найбільші значення ступеня витирання насіння $p_{iv}^{(W_{iv})}$ за один робочий прохід одержано за вологості матеріалу наважки $W_{2v} = 21$ % для всіх варіантів конструктивного виконання нерухомого диска теркового пристрою, при цьому максимальне значення ступеня витирання насіння $p_{iv.1max}^{(W_{iv})}$ відповідає варіанту 4, або $p_{4v.1max}^{(21)} = 81$ %;

- розбіжність значення зменшення ступеня витирання насіння $p_{iv}^{(18)}$ і $p_{iv}^{(24)}$ за один робочий прохід за вологості матеріалу наважки $W_{1v} = 18$ % і $W_{3v} = 24$ % відносно показника $p_{iv}^{(21)}$, яке знаходиться у межах 5...10 % для всіх варіантів конструктивного виконання нерухомого диска теркового пристрою приблизно однакова та становить 2...3 %;

- максимальне значення ступеня витирання насіння $p_{iv.i max}^{(W_{iv})}$ (повне витирання насіння з вороху люцерни, або $p_{iv.i max}^{(W_{iv})} = 100$ %) одержано за п'ять робочих проходів і

вологості матеріалу наважки $W_{2v} = 21 \%$ для варіанту 2, 3 і 4 конструктивного виконання нерухомого диска, при цьому найменше значення приросту ступеня витирання насіння $p_{iv.5max}^{(21)}$ за п'ять робочих проходів відносно аналогічного показника $p_{iv.3max}^{(21)}$ за три робочих проходи відповідає варіанту 4 конструктивного виконання нерухомого диска теркового пристрою і становить 5 %, а значення приросту $p_{iv.5max}^{(21)}$ інших варіантів—знаходиться у межах 6...10%.

4.2. Визначення продуктивності теркового пристрою

Для встановлення адекватності побудованої теоретичної залежності, яка характеризує продуктивність теркового пристрою залежно від його конструктивно-кінематичних параметрів провели експериментальні дослідження процесу витирання насіння з вороху люцерни на основі побудови багатофакторного експерименту типу ПФЕ 2^3 .

Загальний вигляд макетного зразка теркового пристрою наведено на (рис. 3.2 і рис. 4.1), а загальний вигляд конструктивного виконання нерухомого диска – на (рис. 4.2г), тобто застосовували конструктивне виконання теркового пристрою за варіантом 4: обертовий диск виконано ребристим, а у просторі між шістьма білами нерухомого диска по колу діаметром 200, 250 і 300 мм закріплено кільцеві вставки з прутка діаметром 6 мм. Діаметр нерухомого та рухомого диска під час проведення експериментів становив $D = 0,5$ м.

Межі зміни частоти обертання n_n рухомого диска встановлювали на рівнях 480-780-1080 об/хв згідно з одержаним аналізом результатів теоретичних досліджень.

Експериментальні дослідження з визначення продуктивності теркового пристрою провели для трьох значень фіксованої вологості вороху люцерни $W_{iv} = 18, 21, 24 \%$, який попередньо підготовлювали, при цьому розрив в часі кінця підготовки та початку проведення дослідів не перевищував 5 хв.

Для побудови емпіричної математичної моделі, яка характеризує залежність

зміни продуктивності $Q_{n.e}^{(i)}$ теркового пристрою як функціонал $Q_{n.e}^{(i)} = f(n, q_n)$ провели обробку одержаного експериментального масиву даних за методикою згідно з положеннями, які наведено в [14].

Експериментальні значення масиву даних за час експерименту $t = 10$ с за трикратної повторності кожного дослідження для трьох фіксованих значень вологості наважки вороху люцерни $W_{iv} = 18, 21, 24$ % наведено у (табл. 4.6).

Таблиця 4.6

Значення експериментальних даних маси вивантаженого вороху (кг)
за час $t = 10$ с для вологості вороху люцерни $W_{iv} = 18, 21, 24$ %

№ п/п	$W_{iv} = 18$ %				$W_{iv} = 21$ %				$W_{iv} = 24$ %			
	1	2	3	Сер.	1	2	3	Сер.	1	2	3	Сер.
1	0,66	0,64	0,65	0,65	0,6	0,59	0,61	0,6	0,39	0,4	0,41	0,4
2	0,85	0,85	0,88	0,86	0,86	0,82	0,84	0,84	0,78	0,79	0,77	0,78
3	0,87	0,9	0,87	0,88	0,83	0,9	0,85	0,86	0,8	0,81	0,79	0,8
4	2,5	2,6	3,0	2,7	2,5	2,1	2,3	2,3	1,7	1,9	2,1	1,9
5	4,5	4,7	4,9	4,7	4,5	4,7	4,3	4,5	4,0	3,8	3,9	3,8
6	5,2	4,7	4,8	4,9	4,9	4,4	4,8	4,7	4,3	4,1	3,9	4,1
7	5,5	5,8	5,8	5,7	5,5	5,1	5,0	5,2	4,6	5,1	5,0	4,9
8	8,5	8,7	8,9	8,7	8,5	8,5	8,8	8,6	8,0	7,8	7,9	7,9
9	9,1	9,0	8,6	8,9	8,8	9,0	8,6	8,8	7,9	8,0	8,3	8,1

Діаграму середніх експериментальних значень розподілу продуктивності $Q_{n.e}^{(i)}$ теркового пристрою для трьох фіксованих значень вологості наважки вороху люцерни $W_{iv} = 18, 21, 24$ % наведено на (рис. 4.5).

Графічну інтерпретацію зміни продуктивності $Q_{n.e}^{(i)}$ теркового пристрою залежно від секундної подачі матеріалу q_n та частоти обертання n_n рухомого диску наведено на (рис. 4.6).

Найбільша кількість, яка дорівнює 3 випадкам розподілу продуктивності $Q_{n.e}^{(i)}$ теркового пристрою для трьох фіксованих значень вологості наважки вороху люцерни $W_{iv} = 18, 21, 24$ % припадає за значень зміни діапазону продуктивності теркового пристрою $0 < Q_{n.e}^{(i)} < 0,09$ кг/с і $0,41 < Q_{n.e}^{(i)} < 0,43$ кг/с, а найменша кількість (1 випадок) – за значень зміни діапазону продуктивності теркового пристрою $0,18$

$\langle Q_{n,e}^{(i)} \rangle < 0,39$ кг/с та значень $Q_{n,e}^{(i)} = 0,38; 0,55; 0,78; 0,88$ кг/с, (рис. 4.6).

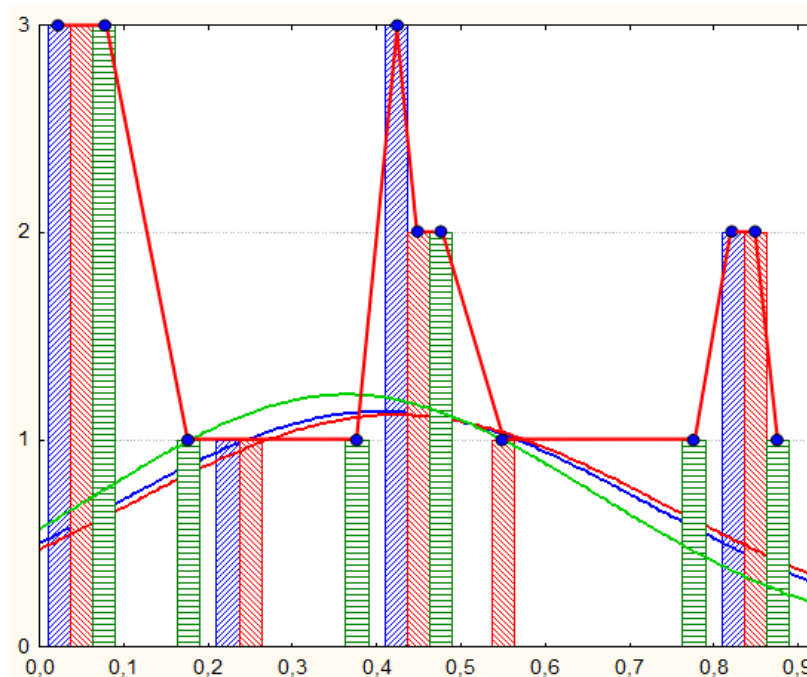
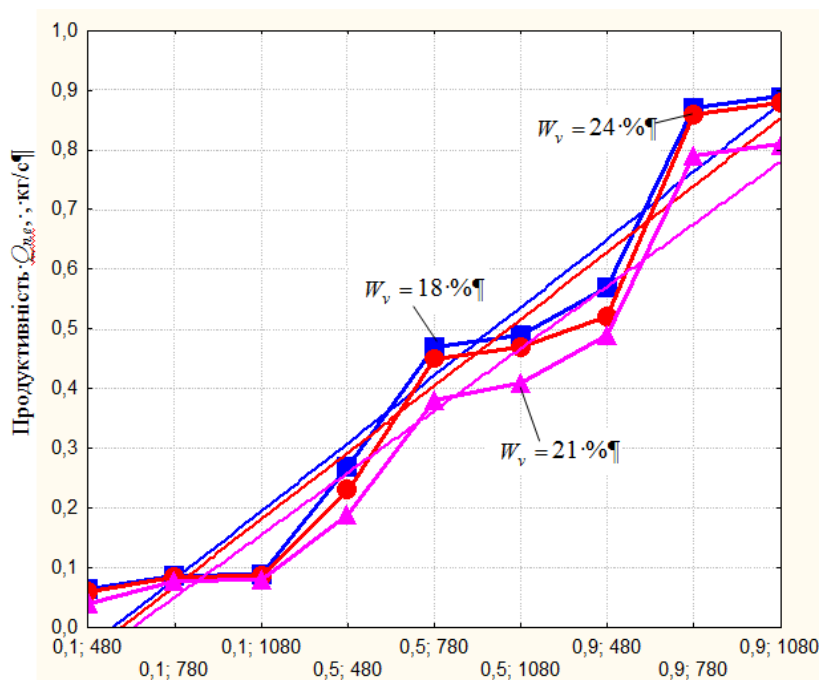


Рис. 4.5. Діаграма середніх значень розподілу продуктивності $Q_{n,e}^{(i)}$ теркового пристрою



Секундна подача матеріалу, q_n , кг/с

Частота обертання диска, n_n , об/хв

Рис. 4.6. Інтерпретація зміни продуктивності теркового пристрою

Аналіз (рис. 4.6) показує, що характер зміни продуктивності роботи $Q_{n,e}^{(i)}$

теркового пристрою суттєво залежить від частоти обертання n_n рухомого диска – за значень зміни n_n у діапазоні $480 \leq n_n \leq 780$ об/хв спостерігається значне зростання продуктивності роботи $Q_{n.e}^{(i)}$ теркового пристрою для всіх фіксованих значень вологості наважки вороху люцерни $W_{iv} = 18, 21, 24$ %:

- за секундної подачі матеріалу $q_n = 0,1$ кг/с у середньому на 55 %;
- за секундної подачі матеріалу $q_n = 0,5$ кг/с у середньому на 90 %;
- за секундної подачі матеріалу $q_n = 0,9$ кг/с у середньому на 60 %.

Подальше збільшення частоти обертання n_n рухомого диска до межі $n_n \leq 1080$ об/хв продуктивність роботи $Q_{n.e}^{(i)}$ теркового пристрою зростає в незначних межах – у середньому на 2,0...5,0 % залежно від вологості W_{iv} матеріалу наважки, при цьому збільшення вологості W_{iv} наважки від 18 до 21 % призводить до зменшення продуктивності роботи теркового пристрою у середньому на 0,6...0,8 кг/с.

Значення розбіжності теоретичних і експериментальних значень продуктивності теркового пристрою більше за 20 % (в діапазонах зміни частоти обертання рухомого диска зміни $480 \leq n_n \leq 680$ об/хв, зміни $930 \leq n_n \leq 1080$ об/хв) показує, що для більш точних розрахунків необхідно виконати проведення ґрунтовних (більш повних) досліджень на основі введення інтегральних коефіцієнтів заповнення φ_n простору робочого русла теркового пристрою та коефіцієнта λ_v , який враховує зниження теоретичної швидкості V_m переміщення матеріалу рухомим диском відносно середньої швидкості V_c .

Це дозволить на аналітичному рівні збалансовувати (регулювати на достатньо ймовірному теоретичному рівні) зміну коефіцієнта заповнення φ_n простору робочого русла теркового пристрою та враховувати непостійну (змінну за часом) секундну подачу q_n матеріалу наважки вороху через завантажувальний канал до простору робочого русла.

У другому випадку інтегрований коефіцієнт λ_v дозволить точніше встановити його пріоритетне значення та відмінності впливу на загальний баланс

процесу транспортування дисковими механізмами дрібних сипких матеріалів. При цьому інтегровані коефіцієнти φ_n і λ_v , які б дозволили уточнити математичну модель зміни продуктивності роботи Q_n теркового пристрою, повинні бути встановлені на основі проведення ґрунтовніших експериментальних досліджень продуктивності роботи $Q_{n,e}^{(i)}$ теркового пристрою у реальних виробничих умовах в складі зернозбирального комбайна або стаціонарного комплексу по обробітку насінневого вороху.

4.3. Порівняльний аналіз показників якості роботи базового та удосконаленого теркового пристрою

Порівняльні польові дослідження удосконаленого теркового пристрою проводили для підтвердження гіпотези доцільності витирання бобів вороху люцерни та сепарації отриманого в полі вороху на стаціонарі та з метою встановлення технологічної ефективності його роботи в цілому порівняно з показниками базової машини.

Порівняльні польові дослідження базового та удосконаленого молотильно-сепаруючого пристрою проводили в однакових умовах.

Конструктивну схему удосконаленого молотильно-сепаруючого пристрою та його загальний вигляд наведено, відповідно, на (рис. 3.5-3.7).

Визначали агротехнічні показники якості роботи в двох випадках – базового молотильно-сепаруючого пристрою і теркового пристрою на базі молотильно-сепаруючого пристрою. На основі порівняльної характеристики показників якості роботи удосконаленого і базового молотильно-сепаруючого пристрою визначали загальну технологічну ефективність теркового пристрою.

Модернізація конструктивної схеми молотильно-сепаруючого пристрою (рис. 3.5) полягала в інтеграції в базову конструкцію молотильно-сепаруючого пристрою удосконаленого теркового пристрою. Застосування теркового пристрою в схемі молотильно-сепаруючого пристрою дозволить розширити його технологічні можливості – підвищити ступінь витирання при задовільних

показниках пошкодження насіння та знизити витрати на обробку насіння бобових трав за рахунок виключення додаткових витрат праці. Така конструкція молотильно-сепаруючого пристрою дає змогу змінити протікання технологічного процесу обмолоту і сепарації матеріалу, а саме в робочому зазорі між биллом і рифленою поверхнею деки матеріал піддається інтенсивному обмолоту (витиранню) насіння із боба (оболонки), а на перфорованій поверхні деки матеріал доволочується, причому з конічної частини деки солом'яна частина обмолоченого матеріалу виводиться за межі молотарки, а зерно і мілкі солом'яні домішки просипається крізь перфоровану поверхню деки і поступає на циліндричне решето. На решеті ворох розділяється на дві фракції – обмолочене зерно та недомолочені боби. Обмолочене насіння просипається крізь отвори решета і збирається у вихідний канал, де на виході вихідного каналу насіння продувається повітряним потоком, при цьому із нього виділяються легкі солом'яні частинки. Друга фракція або недомолочені боби, після сходу з решета збираються в окремий канал і подаються на повторне обмолочування. Таким чином в одному пристрої об'єднуються технологічний процес обмолоту та сепарації насіння, що дозволяє інтенсифікувати цей процес і отримати на виході із молотильно-сепаруючого пристрою очищене від соломи і полови насіння.

На основі проведеного комплексу теоретичних та експериментальних досліджень вибрані раціональні конструктивно-кінематичні параметри теркового пристрою, які були застосовані при його виготовленні та компонуванні з молотильно-сепаруючим пристроєм: частота обертання рухомого диска – 800 об/хв; діаметр нерухомого та рухомого диска – 0,5 м; вертикальний зазор між внутрішніми робочими поверхнями дисків – 0,15 м.

Показники технічної характеристики конструктивно-кінематичних параметрів удосконаленого молотильно-сепаруючого пристрою відповідали показникам базової машини. Результати показників якості виконання технологічного процесу порівняльних польових досліджень наведено в (табл. 4.7).

Таблиця 4.7

Показники якості виконання технологічного процесу модернізованого та базового молотильно-сепаруючого пристрою

Найменування показників	Значення показників		
	Модернізований	Базовий	Агротехнічні вимоги
Недомолот насіння з вороху люцерни, %	1,5	2,1	не більше 2,0
Пошкодження насіння (дроблення), %	2,3	2,3	не більше 3,0
Домішок (полови) у вимолоченому насінні, %	3,4	4,2	не більше 5,0
Втрати насіння, %	0,8	0,9	не більше 2,0

Аналіз (табл. 4.7) показує, що недомолот насіння з вороху люцерни зменшується приблизно в 1,7 раз – від 2,1 % у базового молотильно-сепаруючого пристрою до 1,5 % в удосконаленого або модернізованого молотильно-сепаруючого пристрою за рахунок введення в базовий варіант теркового пристрою. Зменшення недомолоту насіння з вороху люцерни відбувається за рахунок додаткової інтенсифікації процесу витирання бобів білами нерухомого диска.

Також позитивні показники якості виконання технологічного процесу роботи удосконаленого молотильно-сепаруючого пристрою досягаються відносно забрудненості вимолоченого насіння – порівняно з базовим варіантом кількість домішок у вимолоченому насінні зменшується від 4,2 % у базового до 3,4 % у вдосконаленого молотильно-сепаруючого пристрою, тобто домішки, у вигляді полови, зменшуються приблизно в 1,3 рази, що досягається за рахунок більш повного витирання насіння з оболонки бобів та додаткової сепарації вороху насіння люцерни на робочих органах молотильно-сепаруючого пристрою.

Інші показники якості роботи молотильно-сепаруючого пристрою, пошкодження насінні та втрати насіння люцерни, приблизно однакові.

Із порівняльного аналізу показників якості виконання технологічного процесу (табл. 4.7) встановлено, що застосування розробленого теркового пристрою дозволяє

значно підвищити основні агротехнічні показники якості виконання технологічного процесу витирання насіння з вороху люцерни відносно показників базової машини, при цьому значення одержаних показників не виходять за межі, які встановлено агротехнічними вимогами

Висновки до четвертого розділу

1. Розроблено конструктивно-технологічну схему та виготовлено лабораторно-польову установку теркового пристрою та удосконаленого молотильно-сепаруючого пристрою.

2. Основний масив апроксимованих експериментальних значень маси витертого насіння $m_{iv}^{W_{iv}}$ та ступеня витирання насіння $P_{iv}^{W_{iv}}$ вороху люцерни для варіантів виготовлення нерухомого диска за вологості вороху люцерни $W_{2v} = 21\%$ знаходиться у межах: варіант 1 – $m_{1v}^{(21)} = 30\dots129$ г; $P_{1v}^{(21)} = 10\dots32\%$; варіант 2 – $m_{2v}^{(21)} = 40\dots142$ г; $P_{2v}^{(21)} = 10\dots34\%$; варіант 3 – $m_{3v}^{(21)} = 30\dots135$ г; $P_{3v}^{(21)} = 10\dots34\%$; варіант 4 – $m_{4v}^{(21)} = 45\dots135$ г; $P_{4v}^{(21)} = 15\dots34\%$.

3. Значний приріст (у середньому в 2,5...3 рази), як і маси витертого насіння $m_{iv}^{W_{iv}}$, так і ступеня витирання насіння $P_{iv}^{W_{iv}}$ вороху люцерни відбувається за значень частоти обертання n рухомого диска та кількості проходів k_n у межах зміни $480 \leq n \leq 800$ об/хв, $1 \leq k_n \leq 3$. Подальше збільшення частоти обертання n рухомого диска до межі 1080 об/хв та кількості проходів $k_n = 5$ призводить до несуттєвого збільшення (незначного зростання) кількісних показників $m_{iv}^{W_{iv}}$ і $P_{iv}^{W_{iv}}$ – відповідно, в середньому на 10...15 г і 2...4%.

4. Найбільші значення ступеня витирання насіння $p_{iv}^{(W_{iv})}$ за один робочий прохід одержано за вологості матеріалу наважки $W_{2v} = 21\%$ для всіх варіантів конструктивного виконання нерухомого диска теркового пристрою, при цьому максимальне значення ступеня витирання насіння $p_{iv.1max}^{(W_{iv})}$ відповідає варіанту 4, або $p_{4v.1max}^{(21)} = 81\%$.

5. Максимальні показники маси витертого насіння $m_{iv}^{W_{iv}} = 136$ г і ступеня витирання насіння $P_{iv}^{W_{iv}} = 34\%$ люцерни відносно маси завантажено вороху, одержано

за значення вологості $W_{2v} = 21$ % для варіантів 2 і 3 конструктивного виконання нерухомого диска за значень $n = 1080$ об/хв і $k_n = 5$.

6. Характер зміни продуктивності роботи $Q_{n.e}^{(i)}$ теркового пристрою суттєво залежить від частоти обертання n_n рухомого диска – за значень зміни n_n у діапазоні $480 \leq n_n \leq 780$ об/хв спостерігається значне зростання продуктивності роботи $Q_{n.e}^{(i)}$ теркового пристрою для всіх фіксованих значень вологості наважки вороху люцерни $W_{iv} = 18, 21, 24$ %: за секундної подачі матеріалу $q_n = 0,1$ кг/с у середньому на 55 %; за $q_n = 0,5$ кг/с у середньому на 90 %; за $q_n = 0,9$ кг/с у середньому на 60 %.

7. Домінуючим фактором, який вносить суттєві корективи у зміну продуктивності роботи $Q_{n.e}^{(i)}$ теркового пристрою є секундна подача матеріалу (наважки вороху) люцерни q_n , при цьому значне зростання продуктивності $Q_{n.e}^{(i)}$ спостерігається за значення $q_n \geq 0,5$ кг/с – продуктивність роботи $Q_{n.e}^{(i)}$ зростає в середньому на 0,4...0,5 кг/с для всіх фіксованих значень вологості наважки вороху люцерни $W_{iv} = 18, 21, 24$ %. Зміна вологості матеріалу (наважки вороху) люцерни в межах від 18 до 24 % також не має суттєвого впливу на зміну продуктивності роботи $Q_{n.e}^{(i)}$ теркового пристрою – збільшення вологості матеріалу призводить до зменшення продуктивності роботи $Q_{n.e}^{(i)}$ в середньому на 0,02...0,05 кг/с.

8. Порівняльний аналіз теоретичної залежності зміни продуктивності роботи Q_n теркового пристрою та експериментальної залежності $Q_{n.e}^{(i)}$ теркового пристрою показує, що розбіжність значень Q_n , отриманих теоретично та експериментально $Q_{n.e}^{(i)}$ знаходиться приблизно у межах від 8,0 до 25 %, а усереднене значення розбіжності становить близько 15 %.

9. Недомолот насіння з вороху люцерни зменшується приблизно в 1,7 раза – від 2,1 % у базового молотильно-сепаруючого пристрою до 1,5 % в удосконаленого, а забрудненість половою – приблизно в 1,3 раза порівняно з базовим варіантом – від 4,2 % у базового до 3,4 %.

5. АНАЛІЗ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ТЕРКОВОГО ПРИСТРОЮ

5.1. Розробка методики інженерного розрахунку раціональних параметрів теркового пристрою

Для збирання насіння бобових трав в основному використовують зернозбиральні комбайни. Оскільки спеціальних машин для збирання насіння багаторічних бобових трав немає, то всі відомі технології базуються на використанні зернозбиральних комбайнів. Як об'єкт обробки, насінники трав мають ряд специфічних особливостей, які відмінні від зернових культур в будові рослин, суцвіття і насіння, що обумовлює значні відмінності фізико-механічних і технологічних властивостей матеріалу, що обробляється.

Значні відмінності фізико-механічних властивостей біологічної маси насінників трав від зернових культур ускладнює процес збирання насіння і особливо операції витирання і сепарації насіння молотаркою комбайна.

Для збирання насіння трав зернозбиральними комбайнами використовують спеціальні пристрої, або адаптери, які більш придатні для обробки таких матеріалів, як ворох насінників трав. Це дозволяє скоротити втрати, але все ж таки втрати насіння залишаються значними і складають до 20...30 %.

Проблемним питанням в роботі молотильних апаратів зернозбиральних комбайнів залишається процес витирання насіння із бобів, відсоток витертого насіння після проходження його через молотильний апарат складає лише 45...55 %. Тому для витирання решти насіння із бобів, фракція не витертого насіння подається в автономні теркові пристрої, ефективність роботи яких занадто низька. За один прохід матеріалу через терковий пристрій витирається лише 10...15 % насіння. Багаторазова подача одного і того ж матеріалу в терковий пристрій на повторне витирання насіння із бобів призводить до рециркуляції матеріалу в молотарці комбайна, або перевантаження робочих органів молотарки та відповідного збільшення втрат насіння за молотаркою.

Значні втрати насіння під час збирання насінників трав є підставою для пошуку та розробки нових технологічних і технічних рішень процесів обмолоту, витирання та сепарації насіння в полі і на стаціонарі.

Нами на рівні винаходу запропоновано удосконалену конструкцію молотильно-сепаруючого пристрою, конструктивну схему якого наведено на (рис. 3.5).

Конструктивну схему варіанту виконання рухомого диска теркового пристрою наведено на (рис. 3.6), а загальний вигляд – на (рис. 3.4а).

Конструктивну схему варіанту виконання нерухомого диска теркового пристрою наведено на (рис. 3.7).

Суть процесу очищення насіння з витиранням фракції, яка містить невитерті боби, і рециркуляції цієї частини вороху полягає в наступному. Вихідний матеріал поступає в приймальну камеру молотильно-сепарувального пристрою через пристрій вводу, який забезпечує відносно стабільну і рівномірну подачу матеріалу. Молотильно-сепаруючий пристрій розділяє матеріал на фракції, одна з яких містить невитерті боби (рециркулююча фракція).

В протіканні неперервного процесу частина вперше рециркулюючого матеріалу надходить на рециркуляцію другий раз, а частина від цієї частини в третє, і так далі. Потік матеріалу, направлений в терковий пристрій після обробки вихідного матеріалу, називається первинним, а на рециркуляцію після обробки первинного потоку, називається вторинним. Невитерті боби у вихідному матеріалі направляються на рециркуляцію в терковий пристрій. Рециркуляційна частина направляється на повторне очищення з деяким запізненням, необхідним для обробки в терковому пристрої і переміщенням в приймальну камеру.

В перший проміжок часу, тобто від початку обробки вихідного матеріалу в молотильно-сепаруючому пристрої до моменту подачі перетертого вороху в приймальну камеру цієї машини, на рециркуляцію направляється доля від вихідного матеріалу (первинний потік рециркулюючого матеріалу), рівна:

$$K_1 = \lambda, \% \quad (5.1)$$

В другому проміжку часу в молотильно-сепаруючий пристрій подається

первинний потік разом з вихідним матеріалом, який продовжується до подачі в машину вторинного потоку рециркулюючого матеріалу.

Первинний потік рециркулюючого матеріалу піддається обробці в терковому пристрої, ступінь витирання якого складає P , %. В результаті первинний потік додає до вихідного матеріалу $\left(\frac{100-P}{100}\right)$ % не витертих зерен. Від вихідного матеріалу, який очищується разом з первинним потоком, на рециркуляцію направляється частка λ .

Тоді частка вихідного матеріалу, яка подається в терковий пристрій на протязі другого проміжку часу, складається з двох частин:

$$K_2 = \lambda + \frac{\lambda(100-P)}{100}, \% \quad (5.2)$$

Для третього проміжку часу, який починається з моменту подачі в молотильно-сепаруючий пристрій вторинного потоку рециркулюючого матеріалу, процес аналогічний.

Визначимо частку вихідного матеріалу який направляється на рециркуляцію в третьому проміжку часу. Разом з вторинним потоком на обробку безперервно поступає первинний потік, який складає долю λ від вихідного матеріалу. Тоді, в терковий пристрій подається частка вихідного матеріалу, яка дорівнює:

$$K_3 = \lambda + \lambda \cdot \left(\frac{100-P}{100}\right) + \lambda \cdot \left(\frac{100-P}{100}\right)^2, \% \quad (5.3)$$

В результаті, в рециркулюючому матеріалі відбувається нагромадження не витертих насінин. В першому проміжку часу нагромадження складе $\alpha_1 = 0$, в другому $\alpha_2 = \frac{\lambda(100-P)}{100}$, %, в третьому - $\alpha_3 = \lambda \cdot \left(\frac{100-P}{100}\right) + \lambda \cdot \left(\frac{100-P}{100}\right)^2$, %, і т. д. З кожним наступним проміжком часу (циклом) величина приросту не витертих насінин знижується. В установленому процесі при кількості проміжків часу, рівному n , нагромадження складе

$$\alpha_n = \lambda \cdot \left(\frac{100 - \lambda}{100}\right) + \lambda \cdot \left(\frac{100 - \lambda}{100}\right)^2 + \lambda \cdot \left(\frac{100 - \lambda}{100}\right)^3 + \dots + \lambda \cdot \left(\frac{100 - \lambda}{100}\right)^{n-1}, \% \quad (5.4)$$

Отриманий вираз є сумою нескінченно спадаючою в геометричній прогресії $\lambda \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{100 - P}{100}\right)^n$, яка при умові $0 < P < 100$ $n = \infty$ рівна

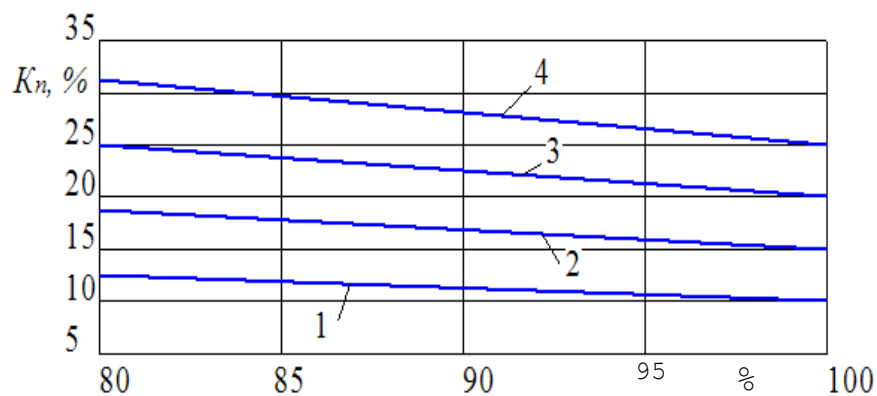
$$\alpha_n = \lambda \cdot \frac{100 - P}{P}, \% \quad (5.5)$$

Виходячи з цього, при установленому режимі роботи машини частка від вихідного матеріалу, направлено на рециркуляцію через терковий пристрій, складе

$$K_n = \lambda + \alpha_n = \frac{\lambda}{P} \cdot 100, \% \quad (5.6)$$

Як бачимо з даного виразу, в установленому процесі при безкінечно великій кількості процесів n , ре циркулююча частина матеріалу досягає деякої межі і є функцією прямо пропорційною складу не витертих бобів в вихідному матеріалі λ і обернено пропорційно ступеню витирання P теркового пристрою. Графічно даний вираз представлено на (рис. 5.1) [17].

Аналіз залежностей, які наведено на (рис. 5.1) показує, що зниження ступеня витирання P теркового пристрою і збільшення вмісту не витертих бобів λ в вихідному матеріалі приводить до підвищення частки вихідного матеріалу, направлено на рециркуляцію. Наприклад, при ступені витирання $P = 95\%$ і збільшенні λ на 15% (з 10 до 25%) ре циркулююча частка K_n зростає з 11 до 26% (на 15%). В той час, зниження ступеню витирання на 10% (з 95 до 85%) при вмісті не витертих бобів $\lambda = 15\%$ призведе до підвищення рециркулюючої долі K_n тільки на 3% (з 16 до 19%). Таким чином, на величину рециркулюючої частки в більшій мірі виявляє вплив вмісту не витертих бобів у вихідному матеріалі.



2 – $\lambda = 15\%$; 3 – $\lambda = 20\%$; 4 – $\lambda = 25\%$

Рис. 5.1. Вплив ступеню витирання P теркового пристрою на величину рециркулюючої долі K_n в установленому режимі роботи: 1' – $\lambda = 10\%$;

В процесі роботи рівномірність і стабільність подачі вихідного матеріалу в молотильно-сепаруючий пристрій забезпечує вікно вводу, розташоване в приймальній камері. Тим не менше, під час роботи відбуваються коливання подачі вихідного матеріалу, які залежать від типу живильного пристрою і фізико-механічних властивостей оброблюваного вороху. При рециркуляції фракції, яка містить не витерті боби, відбувається збільшення подачі вихідного матеріалу в пристрій за рахунок рециркулюючого матеріалу.

Як згадувалось раніше, дане збільшення має межу згідно з (5.6), яка досягається при нескінченно великій кількості циклів рециркуляції, при чому з кожним наступним циклом величина збільшення невитертих бобів в рециркулюючій частині матеріалу знижується.

Для забезпечення стабільної роботи молотильно-сепаруючого пристрою в режимі рециркуляції необхідна постійна номінальна подача вихідного матеріалу. Можна вважати, що такий момент настає на протязі n_c проміжків часу після початку роботи, коли коливання подачі вихідного матеріалу в машину будуть вищі або рівні величині приросту не витертих насінин в n -т проміжку часу (за $n \neq 1$)

$$c \geq \lambda \cdot \left(\frac{100 - P}{100} \right)^{n-1}, \quad \%, \quad (5.7)$$

де c - середнє значення частини коливань від номінальної подачі вихідного

матеріалу в пристрій.

В цьому випадку величина приросту невитертих насінин в рециркулюючій частині матеріалу не буде давати відчутного впливу на вихідні технологічні параметри молотильно-сепаруючого пристрою.

Для першого проміжку часу $n = 1$, вираз (5.7) не дійсний, тому що величина приросту не витертих насінин в рециркулюючій частині матеріалу рівна 0. В випадку коли вміст не витертих насінин не перевищує або рівний величині коливань подачі вихідного матеріалу ($\lambda \leq c$), тоді процес рециркуляції не впливає на роботу молотильно-сепаруючого пристрою.

Прийmemo, що величина коливань подачі вихідного матеріалу досягає $\pm 5\%$ від номінальної ($c = 5\%$). Графічна залежність, отримана на основі формули (5.7) при $c = 5\%$, дає наглядне представлення про вплив ступеня витирання P теркового пристрою на кількість циклів n_c виходу пристрою на стабільний режим роботи (рис. 5.2).

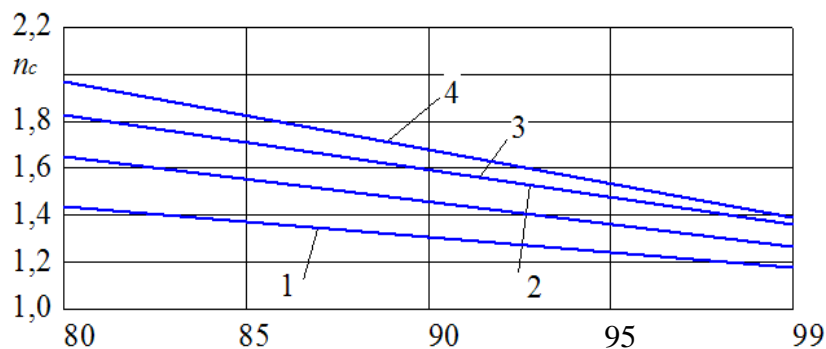


Рис. 5.2. Вплив ступеню витирання P теркового пристрою на кількість циклів n_c виходу пристрою на стабільний режим роботи $c = 5\%$:

$$1 - \lambda = 10\%; 2 - \lambda = 15\%; 3 - \lambda = 20\%; 4 - \lambda = 25\%$$

Як видно із графіка, збільшення ступеня витирання P приводить до зниження кількості циклів n_c рециркуляції. Так, молотильно-сепаруючий пристрій разом з терковим пристроєм при виході на стабільний режим роботи потрібно не менше $1/9$ циклу при ступені витирання $P = 80\%$ і не менше $1/3$ циклу при $P = 99\%$ ($\lambda = 20\%$). Різноманітний склад вихідного матеріалу, а саме, вмісту в ньому не витертих бобів, також впливає на процес рециркуляції. Наприклад, при ступені витирання теркового пристрою $P = 90\%$ зміна складу λ

не витертих насінин в вихідному матеріалі від 10 до 25% призводить до збільшення кількості циклів n_c виходу машини на стабільний режим роботи.

У випадку якщо ступінь витирання теркового пристрою складає 100%, накопичення невитертих насінин в рециркулюючому матеріалі не відбувається ($a_n = 0$), а величина рециркулюючої частини K_n постійно рівна λ .

Серед теркових пристроїв особливе місце займають пристрої з бильними робочими органами, які за способом взаємодії на оброблюваний матеріал відносяться до дискового (з аксіальною і тангенціальною подачею) або аксіально-роторного типу. Завдяки простоті конструкції і доволі високій продуктивності і якості роботи вони отримали найбільше розповсюдження. Але, як правило, забезпечення високого ступеню витирання супроводжується підвищеним дробленням насінин. Так терковий пристрій аксіально-роторного типу, забезпечує ступінь витирання до 99,8% при дробленні зерен до 1,47%. Клеверотерка-сепаратор КС-1,0 барабанного типу з тангенціальною подачею має ступінь витирання 94,2...97,9% при дробленні зерен 2,3...2,5%, а пристрій конструкції Анеляка М.М. забезпечує ступінь витирання 96...98% при дробленні зерен 1,5%.

Широке розповсюдження одержала клеверотерка К-310 роторно-конічного типу, яка є складовою комплексу для післязбиральної обробки насіння трав КОС-0,5 підприємством Forshchritt (Німеччина). Ступінь витирання складає 98,9...99,7% при дробленні насіння не більше 2%.

З аналізу (рис. 5.1 і рис. 5.2) випливає, що ступінь витирання при зміні в проміжку 80...100% дає незначний вплив на величину рециркуляції K_n матеріалу і кількість циклів n_c виходу машини на стабільний режим роботи. Тому при роботі доцільне пристосування теркового пристрою з ступенем витирання 90...95% і низьким показником дроблення насіння не більше 1,0 %.

Аналіз технологічного процесу витирання насіння з вороху люцерни, який проведений на основі одержаних результатів лабораторних і польових досліджень теркового пристрою вказують на те, що показники якості витирання (ступінь витирання насіння люцерни з бобів, втрати та пошкодження насіння, його

засміченість тощо) залежать від багатьох об'єктивних і суб'єктивних факторів: вологості вороху, режимів роботи пристрою, а також від його конструктивних особливостей.

Основними напрямками вдосконалення теркового пристрою, які призведуть до підвищення показників якості роботи дослідного робочого органу, можна віднести:

1. Зменшення пошкодження насіння люцерни робочими поверхнями теркового пристрою можна досягнути шляхом заміни матеріалів рухомого та нерухомого дисків, які забезпечують допустимі напруження стиску насіння та горизонтальну силу його контакту з білами за збереження допустимих показників втрат і домішок у воросі.

2. Підвищення продуктивності удосконаленого теркового пристрою може досягатися за рахунок зміни його конструктивно-кінематичних параметрів, насамперед кутової швидкості обертання та діаметра рухомого диска за умови використання нових матеріалів, які забезпечують зменшення сили контакту біла з бобом.

3. Більш детальне вивчення та аналіз впливу конструктивних і кінематичних параметрів теркового пристрою на технологічний процес дозволить більш ефективно інтенсифікувати процес витирання насіння бобових трав, що дозволить покращити загальні показники роботи молотильно-сепаруючих пристроїв загалом.

4. Вдосконалення технологічного процесу витирання насіння люцерни є головною основою для подальшого формування та розробки нових способів збирання бобових трав і удосконалення конструктивно-технологічних ознак теркових пристроїв.

5.2. Економічна ефективність застосування удосконаленого теркового пристрою

Розрахунок економічної ефективності модернізованого молотильно-сепаруючого пристрою проводимо у порівнянні з базовим – клеверотеркою Петкус К-310.

Клеверотерка вороху Петкус К-310 має бункер з подавальним пристроєм, решето з розташованим всередині його ротором. Подавальний пристрій виконано у вигляді пари вальців, які мають рифлену поверхню. Ворох подається в бункер, де вальці за допомогою рифів виконують попереднє витирання насіння. Потім ворох подається на решето, де відбувається остаточне розділення насіння від домішок.

Наявність ротора та ребристої теркової поверхні модернізованого молотильно-сепаруючого пристрою дозволяє здійснювати багаторазову дію з активною взаємодією між компонентами вороху та перетираючими поверхнями.

Таким чином збільшується експозиція обробітку матеріалу в робочому зазорі бич-дека та інтенсивність дії робочих органів на матеріал.

На основі експлуатаційних показників роботи нової і базової машини, нормативно-довідкових матеріалів, реальних цін на трактори і сільськогосподарську техніку, паливно-мастильні матеріали та інше заповнюється таблиця вихідних даних для визначення економічної ефективності спеціалізованої техніки.

Вихідні дані (станом на 01.01.2017 року) для розрахунку економічної ефективності використання модернізованого молотильно-сепаруючого пристрою наведено в (табл. 5.1).

У (табл. 5.1) враховані тільки показники, що відносяться до технологічного процесу витирання насіння люцерни та впливають на економічний ефект.

Таблиця 5.1

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності застосування модернізованого молотильно-сепаруючого пристрою

Показники	Позначення	Терковий пристрій	
		Базовий	Модернізований
1	2	3	4
Продуктивність пристрою за годину змінного часу, т/год	$W_{зм}$	0,3	0,34
Оптова вартість пристрою, грн.	B_m	65000	45000
Річне завантаження пристрою, год	T_m	100	100
Чисельність виробничого персоналу: - основного, чол.	$P_{осн}$	1	1
Коефіцієнт доплат: - основного персоналу	$K_{осн}$	1,1	1,1
Годинні тарифні ставки, грн/люд.год - основного, чол.	$T_{осн}$	5,4	5,4
Коефіцієнт відрахувань на реновацію	a_n	0,15	0,15
Коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування	$\gamma_{т.м.}$	0,05	0,05
Коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт	$\gamma_{к.м.}$	0,013	0,013
Витрата електроенергії на 1 год роботи, кВт	q	7,5	6,5
Ціна 1 кВт електроенергії, грн.	ρ	4,32	4,32
Витрати на зберігання, що припадають на 1 год експлуатаційного часу, грн/год	$З_{зб.т.}$	0,5	0,5
Нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень	E	0,15	
Коефіцієнт переведення оптової ціни в балансову	ρ	1,1	

Враховуючи інтенсивність і періодичність змін балансових цін на сільськогосподарську техніку, паливо-мастильні матеріали, сільськогосподарську продукцію, а також зміну нормативів на заробітну плату, дані показники вважаються реальними для умов експлуатації нової машини. Розрахунок здійснюємо в наступній послідовності згідно з [14].

Зведені витрати на одиницю напрацювання Π (грн/т) визначаються

$$\Pi = I + KE, \quad (5.1)$$

де I – прямі експлуатаційні витрати на одиницю напрацювання, грн/т;

K – коефіцієнт доплат;

E – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

Прямі експлуатаційні витрати I розраховуються

$$I = Z + \Gamma + P + A + Z_3, \quad (5.2)$$

де Z – витрати на оплату праці обслуговуючого персоналу, грн/т;

Γ – витрати на енергію для виконання процесу, грн/т;

P – витрати на технічне обслуговування, потоковий і капітальний ремонт, грн/т;

A – витрати на реновацію, грн./т;

Z_3 – витрати на зберігання, грн/т.

Витрати на оплату праці обслуговуючого персоналу становлять

$$Z = (1/W_{зм}) \sum_i L_i \tau_i K_{j\Delta}, \quad (5.3)$$

де $W_{зм}$ – продуктивність машини за одну годину змінного часу, т/год;

L_i – чисельність виробничого персоналу, чол.;

τ_i – годинна тарифна ставка оплати праці обслуговуючого персоналу, грн/год;

$K_{j\Delta}$ – коефіцієнт доплат.

$$Z_{\delta} = (1/0,3)(1 \times 5,4 \times 1,1) = 19,8 \text{ грн/т};$$

$$Z_n = (1/0,34)(1 \times 5,4 \times 1,1) = 17,47 \text{ грн/т}.$$

Витрати енергії на виконання процесу

$$\Gamma = \partial \Pi, \quad (5.4)$$

де ∂ – витрата енергоносіїв на одиницю напрацювання;

Π – ціна 1 кВт електроенергії, грн.

$$\Gamma_{\delta} = 7,5 \times 4,32 = 32,4 \text{ грн/т};$$

$$\Gamma_n = 6,5 \times 4,32 = 28,08 \text{ грн/т}.$$

Витрати на технічне обслуговування, потоковий і капітальний ремонт за нормативами відрахувань від балансової ціни машини

$$P = \rho B_m (\gamma_k + \gamma_m) / (W_{зм} T_p), \quad (5.5)$$

де B_m – оптова вартість машини, грн;

$\gamma_m = 0,05$ – коефіцієнт відрахувань на потоковий ремонт і технічне обслуговування [14];

$\gamma_k = 0,013$ – коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт [14];

$T_p = 100$ год – річне завантаження машини [15].

$$P_{\sigma} = 1,1 \times 65000(0,013 + 0,05) / (0,3 \times 100) = 150,15 \text{ грн/т};$$

$$P_n = 1,1 \times 45000(0,013 + 0,05) / (0,34 \times 100) = 91,72 \text{ грн/т}.$$

Витрати на реновацію машини

$$A = \rho B_m \times a / (W_{zm} T_p), \quad (5.6)$$

де a – коефіцієнт відрахувань на реновацію машини.

$$A_{\sigma} = 1,1 \times 65000 \times 0,15 / (0,3 \times 100) = 357,5 \text{ грн/т};$$

$$A_n = 1,1 \times 45000 \times 0,15 / (0,34 \times 100) = 218,38 \text{ грн/т}.$$

Витрати на зберігання машини

$$Z_z = Z_{z\sigma} / W_{zm}, \quad (5.7)$$

де $Z_{z\sigma}$ – витрати на зберігання машини, що припадають на 1 год експлуатаційного часу, грн/год.

$$Z_{z\sigma} = 0,5 / 0,3 = 1,67 \text{ грн/т};$$

$$Z_{zn} = 0,5 / 0,34 = 1,47 \text{ грн/т}.$$

Тоді згідно з (5.2) прямі експлуатаційні витрати дорівнюють:

$$I_{\sigma} = 19,8 + 3,38 + 150,15 + 357,5 + 1,67 = 532,5 \text{ грн/т};$$

$$I_n = 17,47 + 2,93 + 91,72 + 218,38 + 1,47 = 331,97 \text{ грн/т}.$$

Таким чином, зведені витрати на одиницю напрацювання Π згідно з (5.1) становлять

$$\Pi_{\sigma} = 532,5 + 1,1 \times 0,15 = 532,67 \text{ грн/т};$$

$$\Pi_n = 331,97 + 1,1 \times 0,15 = 332,14 \text{ грн/т}.$$

Капітальні вкладення (K) на одиницю напрацювання становлять

$$K = \rho B_m / (W_{zm} T_p). \quad (5.8)$$

$$K_{\sigma} = 1,1 \times 65000 / (0,3 \times 100) = 2383,33 \text{ грн/т};$$

$$K_n = 1,1 \times 45000 / (0,34 \times 100) = 1455,88 \text{ грн/т.}$$

Витрати праці Z_n (люд. год) на одиницю напрацювання під час виконання машиною або працівником робочого процесу визначаються за формулою

$$Z_n = L / W_{zm}, \quad (5.9)$$

де L – чисельність виробничого персоналу, чол.

$$Z_{nb} = 1 / 0,3 = 3,33 \text{ люд.год/т;}$$

$$Z_{nn} = 1 / 0,34 = 2,94 \text{ люд.год/т.}$$

Річний економічний ефект від експлуатації нової машини E_p (грн) визначимо за формулою

$$E_p = (\Pi_{\bar{o}} - \Pi_n) T_m, \quad (5.10)$$

$$E_p = (532,67 - 332,14) \times 100 = 20053 \text{ грн.}$$

Економічний ефект від виробництва і використання за строк експлуатації нової машини E_{ec} (грн) визначається за формулою

$$E_{ec} = E_p (a_n + E), \quad (5.11)$$

де a_n – коефіцієнт відрахувань на реновацію нової машини;

E – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

$$E_{ec} = 20053 \times (0,15 + 0,15) = 6015,9 \text{ грн.}$$

Лімітна ціна нової машини C_n (грн) буде визначатися

$$C_n = C_{\bar{v}m} \sigma, \quad (5.12)$$

де $C_{\bar{v}m}$ – верхня межа нової машини (C_n) у гривнях;

σ – коефіцієнт гарантії споживачу економічного ефекту використання нової машини, $\sigma = 0,8$ [14].

Верхня ціна нової машини

$$C_{\bar{v}m} = [E_p / (a_n + E) + B_m] \times (1 / \rho), \quad (5.13)$$

де ρ – коефіцієнт переведення оптової ціни в балансову, ($\rho = 1,1 \dots 1,2$);

B_m – балансова ціна нової машини, грн.

$$C_{\bar{v}m} = [20053 / (0,15 + 0,15) + 45000] \times (1 / 1,1) = 55515,9 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.2

Показники розрахунку економічної ефективності використання молотильно-сепаруючого пристрою

Показник	Значення показника		Ступінь показника, ± %
	Базова	Модерн.	
Продуктивність за 1 год. змінного часу, т/год.	0,3	0,34	11,3
Витрати на оплату праці обслуговуючого персоналу, грн/т	19,8	17,47	11,3
Витрати енергії на виконання процесу, грн/т	3,38	2,93	11,5
Відрахування на капітальний ремонт і технічне обслуговування, грн/т	150,15	91,72	16,4
Витрати на реновацію машини, грн/т	357,5	218,38	16,4
Витрати на зберігання машини, грн/т	1,67	1,47	11,3
Прямі експлуатаційні видатки, грн/т	532,5	331,97	16,0
Зведені витрати на одиницю напрацювання, грн/т	532,67	332,14	16,0
Капітальні вкладення, грн/т	2383,33	1455,88	16,4
Економічний ефект від виробництва та експлуатації нової машини, грн	-	6015,9	-
Загальний економічний ефект за 1 рік експлуатації модернізованої машини, грн.	-	20053,0	-

Тоді лімітна ціна нової машини C_n згідно з (5.12) буде

$$C_n = 55515,9 \times 0,8 = 44412,7 \text{ грн.}$$

Річна економія праці під час експлуатації нової машини в люд. год визначають за формулою

$$Z_p = (Z_{nb} - Z_{nn}) \times T_m, \quad (5.14)$$

де Z_{nb} , Z_{nn} – витрати праці на одиницю напрацювання базової і нової машини, люд год/га.

$$Z_p = (3,33 - 2,94) \times 100 = 39,0 \text{ люд. год/т.}$$

Результати розрахунку економічних показників зведені у (табл. 5.2).

Таким чином, застосування машини, яку обладнано удосконаленою конструкцією теркового пристрою, є економічно ефективним і доцільним.

Висновки до п'ятого розділу

1. Розроблено та запропоновано основні шляхи подальшого удосконалення молотильно-сепаруючого пристрою.

2. Встановлено, що економічний ефект за один рік експлуатації удосконаленого молотильно-сепаруючого пристрою за рахунок використання в ньому теркового пристрою та підвищення його функціональних показників, становить 20053,0 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

1. У магістерській роботі вперше вирішено наукове завдання підвищення показників якості збирання насіння бобових трав шляхом розроблення та обґрунтування параметрів теркового пристрою. Підвищення показників якості досягнуто за рахунок інтенсифікації процесу витирання насіння робочими органами теркового пристрою із його обґрунтованими раціональними параметрами.

2. Продуктивність теркового пристрою Q_n знаходиться в межах $0,2 \dots 1,3$ кг/с, при цьому її зростання на $0,2 \dots 0,25$ кг/с спостерігається за значення діаметра рухомого диска $D \geq 0,5$ м та коефіцієнта заповнення внутрішнього простору робочого русла $\varphi'_n \geq 0,5$. У діапазоні зміни частоти обертання диска $400 \leq n_n \leq 1000$ об/хв Q_n збільшується на $0,65 \dots 0,7$ кг/с, а умова роботи теркового пристрою без «звантаження» матеріалу забезпечується за значення діаметра рухомого диска в межах $D = 0,6 \dots 0,7$ м, частоти обертання рухомого диска у межах $n_n = 300 \dots 900$ об/хв, середніх значень $\varphi'_n = 0,5$ і діаметра завантажувального отвору d_b та діаметра кільцевої щілини d_k вихідного каналу бункера $d_b = d_k = 0,15$ м.

3. Площа поперечного перерізу S_k завантажувального отвору бункера повинна бути від $0,04$ до $1,4$ см² за зміни діаметра рухомого диска в межах $D = 0,6 \dots 0,7$ м і діаметра d_b завантажувального отвору бункера $d_b = 0,09 \dots 0,15$ м. Встановлено, що для оптимальної обробки сипкого матеріалу відповідної кількості, яка завантажена через завантажувальний отвір бункера теркового пристрою діаметром $d_b = 0,09 \dots 0,15$ м частота обертання рухомого диска знаходиться в межах $n_n = 60 \dots 950$ об/хв. За зміни коефіцієнта заповнення φ'_n внутрішнього простору робочого русла теркового пристрою у діапазоні $\varphi'_n = 0,4 \dots 0,7$.

4. Домінуючим фактором, який суттєво впливає на зростання складових кінетичної енергії K_v , K_x та K_{II} є u – доударна швидкість контакту боба у

межах зміни u від 5,0 до 15,0 м/с приріст складових кінетичної енергії частинки становить, відповідно, 0,8...0,85 Дж, 0,035...0,04 Дж, 0,03...0,35 Дж, а сумарна кінетична енергія $\sum K_m$ взаємних переміщень частинок вороху люцерни у внутрішньому об'ємному просторі робочого русла теркового пристрою знаходиться в межах 0,06...1,3 Дж.

5. Значний приріст (у середньому в 2,5...3 рази), як і маси витертого насіння $m_{iv}^{W_{iv}}$, так і ступеня витирання насіння $P_{iv}^{W_{iv}}$ вороху люцерни відбувається за значень частоти обертання рухомого диска $480 \leq n \leq 800$ об/хв та кількості проходів $1 \leq k_n \leq 3$. Подальше збільшення n до межі 1080 об/хв та кількості проходів $k_n = 5$ призводить до незначного зростання кількісних показників $m_{iv}^{W_{iv}}$ і $P_{iv}^{W_{iv}}$ – відповідно, в середньому на 10...15 г і 2...4 %.

6. Найбільші значення ступеня витирання насіння $p_{iv}^{(W_{iv})}$ за один робочий прохід одержано за вологості матеріалу наважки $W_{2v} = 21$ % для всіх варіантів конструктивного виконання нерухомого диска теркового пристрою, при цьому максимальне значення ступеня витирання насіння становить $p_{4v.1max}^{(21)} = 81$ %, а максимальні показники маси витертого насіння $m_{iv}^{W_{iv}} = 136$ г і ступеня витирання насіння $P_{iv}^{W_{iv}} = 34$ % люцерни відносно маси завантажено вороху, одержано за значення вологості $W_{2v} = 21$ %, $n = 1080$ об/хв і $k_n = 5$.

7. Встановлено, що за зміни частоти обертання диска у діапазоні $480 \leq n_n \leq 780$ об/хв спостерігається зростання продуктивності роботи теркового пристрою на 60...90 % залежно від секундної подачі матеріалу q_n від для всіх фіксованих значень вологості наважки вороху люцерни $W_{iv} = 18, 21, 24$ %, при цьому значне зростання продуктивності $Q_{n.e}^{(i)}$ на 0,4...0,5 кг/с спостерігається за значення $q_n \geq 0,5$ кг/с, а за зміни вологості в межах від 18 до 24 % продуктивність роботи $Q_{n.e}^{(i)}$ зменшується в середньому на 0,02...0,05 кг/с.

8. Порівняльний аналіз теоретичної залежності зміни продуктивності роботи Q_n теркового пристрою та експериментальної залежності $Q_{n.e}^{(i)}$ теркового

пристрою показує, що розбіжність значень Q_n , отриманих теоретично та експериментально $Q_{n.e}^{(i)}$ знаходиться приблизно у межах від 8,0 до 25 %, а усереднене значення розбіжності становить близько 15 %.

9. Раціональні конструктивно-кінематичні параметри робочих органів теркового пристрою, за яких забезпечується задовільне протікання процесу обробки вороху люцерни у межах зміни продуктивності теркового пристрою $Q_n = 0,8 \dots 6,6$ кг/с будуть становити: діаметр нерухомого та рухомого диска $D = 0,5 \dots 0,6$ м; частота обертання рухомого диска $n_n = 300 \dots 900$ об/хв; діаметр отвору завантажувального каналу бункера $d_b = 0,1 \dots 0,15$ м; діаметр щілини отвору вивантажувального каналу $d_k = 0,1 \dots 0,16$ м; коефіцієнта заповнення внутрішнього простору робочого русла $\varphi'_n = 0,5 \dots 0,7$.

10. На основі порівняльного аналізу встановлено, що недомолот насіння з вороху люцерни зменшується приблизно в 1,7 раз – від 2,1 % у базового молотильно-сепаруючого пристрої до 1,5 % в удосконаленого, а забрудненість половиною – приблизно в 1,3 рази порівняно з базовим варіантом – від 4,2 % у базового до 3,4 %. Застосування теркового пристрою є раціональним в умовах надмірної вологості вороху, в яких показники якості роботи серійних машин незадовільні. Загальний економічний ефект за один рік експлуатації теркового пристрою становить 20053,0 грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адамчук В. В., Булгаков В. М., Іванишин В. В. Про розробку і створення в Україні сільськогосподарських машин сучасного рівня : зб. наук. праць Вінницького націон. аграрн. ун-ту. Серія: Технічні науки. Вінниця : ВНАУ, 2012. Вип. 11. Т. 2 (66). С. 8-14.
2. Анеляк М. М., Богуславський В. П., Кузьмич А. Я. Шляхи зменшення втрат насіння конюшини при збиранні : механізація та електрифікація сільського господарства. Міжвідомчий тематичний науковий збірник. Глеваха, 2003. Вип. 87. С. 120-125.
3. Анеляк М. М. Дослідження процесу витирання і сепарації насіння люцерни комбайном «ДОН-1500», обладнаного пристроєм для збирання насінників трав : загальнодерж. міжвідом. наук.-техн. зб. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Кіровоград : КНТУ, 2005. Вип. 35. С. 236–239.
4. Спирін А. В., Твердохліб І. В. Перспективна технологія збирання насінників трав // Техніка, енергетика, транспорт АПК. Вінниця : ВНАУ, 2017. № 1 (93). С. 25–27.
5. Твердохліб І. В. Спирін А. В. Технології збирання насінників трав // Корми і кормовий білок : XIII міжн.-наук. конф., 15 грудня 2015 р. : тези доп. Вінниця : Інститут кормів та с.г. Поділля НААН України, 2015. С. 51-52.
6. Твердохліб І. В., Кузьмич А. Я., Анеляк М. М. Зменшення втрат насіння багаторічних бобових трав при його збиранні // Сучасні проблеми землеробської механіки : мат. XIII міжн.-наук. конф., 17-19 жовтня 2012 р. : тези доп. Вінниця, ВНАУ. С. 46–47.
7. Твердохліб І. В., Кузьмич А. Я., Анеляк М. М. Обґрунтування режимів роботи молотарки зернозбирального комбайна на насіння багаторічних трав // Зб. наук. праць Вінницького націон. аграрн. ун-ту. Серія: Технічні науки. Вінниця : ВНАУ, 2012. № 10. Т. 2 (59). С. 40-43.
8. Дослідження процесу витирання насіння багаторічних бобових трав дисковим терковим пристроєм / І. В. Твердохліб, М. М. Анеляк, А. Я. Кузьмич, С. О. Кустов // Міжвід. тематичний наук. зб. «Механізація та

- електрифікація сільського господарства». Глеваха, 2013. Вип. 97. Т. 1. С. 468–476.
9. Твердохліб І. В., Кормановський С.І., Спірін А.В. Використання ознак зв'язності для задач розпізнання складових насінневого вороху багаторічних трав // Економічна кібернетика – інженерія економіки : одинадцята всеукраїнська наук. конф., 30-31 березня 2012 р. : тези доп. Тернопіль, ТНЕУ, 2012. С. 43–45.
 10. Пат. № 105114 Україна. МПК А01F 11/04. Терковий пристрій / Анеляк М.М, Кузьмич А.Я., Кустов С.О. Твердохліб І.В.; заявник і власник ННЦ «Інститут механізації і електрифікації сільського господарства». № а 201302341 ; заявл. 25.02.2013 ; опубл. 25.12.2013. Бюл. № 7.
 11. Tverdokhlib I. V., Spirin A. V. Theoretical studies on the working capacity of disk devices for grinding agricultural crop seeds // Inmaten. Agricultural Engineering. – Bucharest : National Institute of research-development for machines and installations designed to Agriculture and food industry, 2017. Vol. 48. No. 1 / 2017. Pag. 43–52.
 12. Твердохліб І.В. Теоретичні дослідження завантажувального каналу дисково-теркового пристрою // Актуальні задачі сучасних технологій : міжн. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, 25-26 листопада 2015 р.: тези доп. Тернопіль: ТНТУ, 2015. С. 237–238.
 13. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку : підручник / Д. Г. Войтюк та ін. Київ : Вища освіта, 2005. 446 с.
 14. Твердохліб І. В., Спірін А. В. Аналіз досліджень процесу витирання вороху люцерни // Сучасні агротехнології: тенденції та інновації : всеукраїнська наук.-практ. конф. 17-18 листопада 2015 р. : тези доп. Вінниця: ВНАУ, 2015. С. 91–94
 15. Твердохліб І., Спірін А. Результати експериментальних досліджень ступення витирання насіння дисково-терковим пристроєм // Техніка, енергетика, транспорт АПК. Вінниця : ВНАУ, 2015. № 3 (92). С. 28–36.
 16. Пат № 101449 Україна. МПК А01F 11/00, А01F 7/00. Молотильно-сепаруючий пристрій /Анеляк М.М, Кузьмич А.Я., Кустов С.О., Сидорчук О.В., Твердохліб І.В.; заявник і власник ННЦ «Інститут механізації і

- електрифікації сільського господарства». № а 201200853 ; заявл. 27.01.2012 ; опубл. 25.03.2013. Бюл. № 6.
17. Техніко-економічне обґрунтування застосування машин, обладнання і технологій / Гевко Р. Б., Гладич Б. Б., Павх І. І., Кириленко Т. П. Тернопіль, 2003. С. 138–144.
 18. Експертно-аналітична оцінка технологічних і економічних показників сільськогосподарської техніки : навч.-метод. посібник для студентів економічних спеціальностей / М. Г. Данильченко, Б. Б. Гладич, Р. Б. Гевко, І. Г. Ткаченко. Тернопіль : Економічна думка, 2001. 267 с.
 19. Іванишин В. В., Рудь А. В., Грушецький С. М. Технічне обслуговування машин і обладнання : підручник. Кам'янець-Подільський : ЗВО «ПДУ» : ТОВ «Друкарня «Рута», 2023. 360 с.
 20. Експлуатація машин і обладнання : навч. посіб. / І. М. Бендера та ін. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин Я.І., 2013. 576 с.
 21. Експлуатація машин і обладнання : навч. посіб. / М. А. Ружицький, В.І. Рябець, В. М. Кіяшко та ін. Київ : Аграрна освіта, 2010. 617 с.
 22. Лудченко О. А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів : технологія : підручник. Київ : Вища школа, 2007. 527 с.
 23. Мельника І. І. Практикум із машиновикористання в рослинництві : навч. посіб. Київ : Кондор, 2004. 284 с.
 24. Лімонт А. С. та ін. Практикум з машиновикористання в рослинництві. Київ : Кондор, 2009. 280 с.
 25. Павліський В. М., Нагірний Ю. П., Мельник І. І. Проектування технологічних систем рослинництва : навч. посіб. Тернопіль : Збруч, 2003. 264 с.
 26. Проектування механізованих технологічних процесів у рослинництві : навч. посіб. / І. М. Бендера та ін. Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О.В., 2011. 556с.
 27. Основи механізації сільськогосподарського вирощування : навч. посіб. / І. І. Ріпка та ін. Львів : ЛНАУ, 2013. 224 с.
 28. Головчук А. Ф., Лімонт А. С., Бондаренко М. Г. Машиновикористання та екологія довкілля. Київ : Грамота, 2007. 360 с.
 29. Квашук О. В. Сучасні інтенсивні технології вирощування сільськогосподарських культур. Кам'янець-Подільський : Абетка, 2008. 482 с.

30. Технічний сервіс в АПК : навч. посіб. / С. М. Грушецький та ін. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин Я. І., 2014. 680 с.
31. Технологія технічного обслуговування машин : навч. посіб. / Бендера І. М., Грушецький С. М., Роздорожнюк П. І., Михайлович Я. М. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О. В., 2010. 320 с.
32. Заянчуковський С. М., Грушецький С. М. Класифікація і аналіз конструкцій теркових пристроїв. *Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь* : матеріали ІХ Міжнар. наук.-прак. конф., м. Житомир, 5 квіт. 2023 р. Житомир : АТК, 2023. С. 153-154.
33. Заянчуковський Г. В. Схема до розрахунку простору робочого русла теркового пристрою. *Перші наукові кроки – 2023* : збірник наукових праць Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих науковців (14 квітня 2023 р., м. Кам'янець-Подільський). Кам'янець-Подільський, 2023. С. 28.
34. Грушецький С. М., Корчак М. М., Заянчуковський Г. В. Конструктивні схеми пристроїв для витирання насінників трав // *Тенденції та виклики сучасної аграрної науки: теорія і практика. Присвячена 125-річчю кафедри рослинництва НУБІП України матеріали V міжнародної науково-практичної онлайн конференції (м. Київ, 25-27 жовтня 2023 р.)* / НУБІП України, 2023. С. 248-250.
35. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського вирощування : підручник. В 2 т. Т. 1 / А. В. Рудь та ін. Київ : Агроосвіта, 2012. 584 с.
36. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського вирощування : підручник. В 2 т. Т. 2 / А. В. Рудь та ін. Київ : Агроосвіта, 2012. 432 с.
37. Левицька Ю. О. та ін. Основи агрономії. Київ : Аграрна освіта, 2008. 382 с.
38. Кравченко М. С. Томашевський З. М. Практикум із землеробства. Київ : Мета, 2003.
39. Мельник А. В. Агробіологічні особливості вирощування соняшнику та ріпаку ярового в умовах Північно-Східного Лісостепу України. Аналітичний огляд та результати дослідження : монографія. Суми : Унів. кн., 2007. 228 с.

40. Типові норми продуктивності і витрати палива на передпосівному обробітку. Київ : НДІ Укראгропромпродуктивність, 2005. 672 с.
41. Типові норми продуктивності і витрати палива на сівбі, садінні і догляді за посівами. Київ : НДІ Укראгропромпродуктивність, 2005. 424 с.
42. Пастухов В. І Довідник з машиновикористання в землеробстві : навч. посіб. Харків : Веста, 2001. 344 с.
43. Саблук П. Т. Технологічні карти та витрати на вирощування сільськогосподарських культур. ННЦ Інститут аграрної економіки, 2005. 292 с.
44. Іванишин В. В., Рудь А. В., Грушецький С. М. Машини та обладнання в тваринництві : підручник. Кам'янець-Подільський : ЗВО «ПДУ» : ТОВ «Друкарня «Рута»., 2022. 468 с.
45. Машини і обладнання для тваринництва. / І. І.Ревенко, та ін. Ніжин : видавець ПП Лисенко М. М., 2016. 584 с.
46. Машини та обладнання для тваринництва : посібник-практикум / І. І. Ревенко та ін. Київ : Кондор, 2011. 396 с.
47. Проектування сільськогосподарських машин : навч. посіб. для виконання курсових проектів з розробки сільськогосподарської техніки при підготовці фахівців напряму 6.100202 «Процеси, машини та обладнання агропромислового вирощування». 2-ге видання доп. і перероб. І. М. Бендера, та ін. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О. В., 2011. 640 с.
48. Експлуатація машин і обладнання : підручник / Іванишин В. В., Лабазюк П. П., Рудь А. В., Грушецький С. М. Заклад вищої освіти «Подільський державний університет». Кам'янець-Подільський : ТОВ «Друкарня «Рута», 2024. 571 с.
49. Методичні рекомендації до виконання та оформлення дипломної роботи для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія» / Ю. І. Панцир, А. В. Рудь, В. І. Дуганець, В. І. Дуганець, С. П. Комарніцький. За ред. В.І. Дуганця. Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2025. 55 с.

ДОДАТОК А



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
 ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
 КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ І СИСТЕМОТЕХНІКИ
 ІМЕНІ МИХАЙЛА САМОКИША

**Кваліфікаційна робота**

на тему:

«ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕРКОВО-СЕПАРУЮЧОГО БЛОКУ ДЛЯ ОБРОБКИ ВОРОХУ ТРАВ»

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

Науковий керівник:
 доктор технічних наук, професор
КОТОВ Борис Іванович

м. Кам'янець-Подільський, 2025 р.

2

МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є підвищення показників якості збирання насіння бобових трав шляхом удосконалення конструкції та вибору раціональних параметрів дисково-теркових пристроїв.

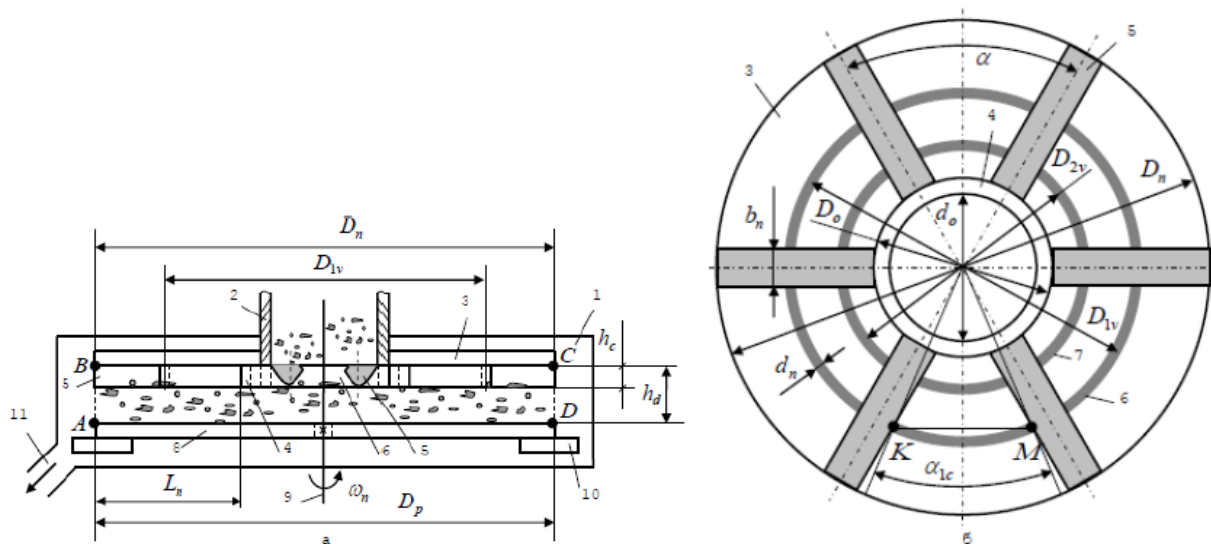
Об'єкт дослідження: технологічний процес і робочі органи вдосконаленого дисково-теркового пристрою.

Предмет дослідження: конструктивно-кінематичні параметри та показники якості роботи дисково-теркового пристрою.

Основні завдання досліджень:

1. Розробка конструктивно-технологічної схеми теркового пристрою на основі вдосконалення робочих органів дискового типу;
2. Встановлення функціональних зв'язків продуктивності роботи теркового пристрою залежно від його основних конструктивно-кінематичних параметрів і умов роботи;
3. Розробка математичних моделей процесу переміщення вороху люцерни в просторі робочого русла теркового пристрою за умови контактної взаємодії насіння;
4. Експериментальне встановлення відповідності та адекватності числової реалізації розроблених математичних моделей;
5. Проведення порівняльних досліджень показників якості роботи вдосконаленого та базового молотильно-сепаруючого пристрою і визначення економічної ефективності його застосування.

РОЗРОБЛЕНА КОНСТРУКТИВНА СХЕМА ТЕРТКОВОГО ПРИСТРОЮ



Внутрішній об'ємний простір робочого русла терткового пристрою утворений суміжно вертикальним розташуванням нерухомого 3 і рухомого 8 дисків, які розташовані в корпусі 1 терткового пристрою із зазором, висота якого становить h_d , при цьому зовнішній діаметр нерухомого диска дорівнює D_n , а рухомого – D_p , який встановлено на валу 9, що обертається з кутовою швидкістю ω_n . На робочій поверхні нерухомого диска перпендикулярно та концентрично їй, закріплено обойму 4, виконану в вигляді втулки, зовнішній діаметр якої становить D_o , а внутрішній – d_o та радіально встановлено біла 5 кількістю k_n , які виконано у вигляді променів (рифів) шириною b_n , довжиною L_n та висотою h_c , які закріплено до втулки.

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕРТКОВОГО ПРИСТРОЮ

ПРОДУКТИВНІСТЬ ТЕРТКОВОГО ПРИСТРОЮ

Умова функціонування

терткового пристрою:
$$dQ_n / dt \geq dW_b / dt, \text{ або } Q_n \geq W_b, \quad (1)$$

Продуктивність терткового пристрою розраховано за загальною формулою, яка визначає продуктивність машин неперервної дії:

$$Q_n = F_p \rho_v \varphi_n V_c \quad (2)$$

де F_p – робоча площа опорного (рухомого) диска, м^2 ;

ρ_v – насипна об'ємна маса вороху люцерни, $\text{кг}/\text{м}^3$;

φ_n – коефіцієнт заповнення внутрішнього робочого простору, утвореного фігурою $ABCD$;

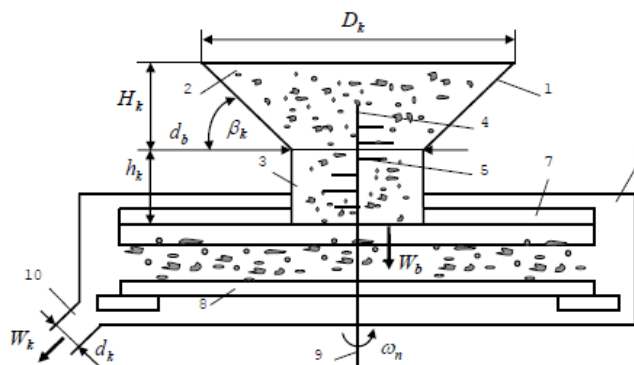
V_c – середня швидкість руху обробленого вороху в напрямку периферії дисків, $\text{м}/\text{с}$.

$$F_p = 0,25\pi(D^2 - d_v^2) \quad (3)$$

Максимальна продуктивність терткового пристрою:

$$Q_{n,max} = \frac{\pi^2 n_n D (D^2 - d_v^2) \rho_v \varphi'_{n,max} \varphi_e \lambda_v}{120} \quad (4)$$

СХЕМА ДО РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ТЕРКОВОГО ПРИСТРОЮ



1 – бункер; 2 – завантажувальна горловина; 3 – завантажувальний отвір; 4 – активатор; 5 – планка; 6 – корпус; 7, 8 – нерухомий і рухомий диск; 9 – приводний вал; 10 – вихідний канал

У межах зміни розрахункової продуктивності теркового пристрою $Q_n = 0,8 \dots 6,6$ кг/с будуть становити: діаметр нерухомого та рухомого диска $D = 0,5 \dots 0,6$ м; частота обертання рухомого диска $n_n = 300 \dots 900$ об/хв; діаметр отвору завантажувального каналу бункера $d_b = 0,1 \dots 0,15$ м; діаметр щілини отвору вивантажувального каналу $d_k = 0,1 \dots 0,16$ м; коефіцієнта заповнення внутрішнього простору робочого руслу $\varphi'_n = 0,5 \dots 0,7$.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

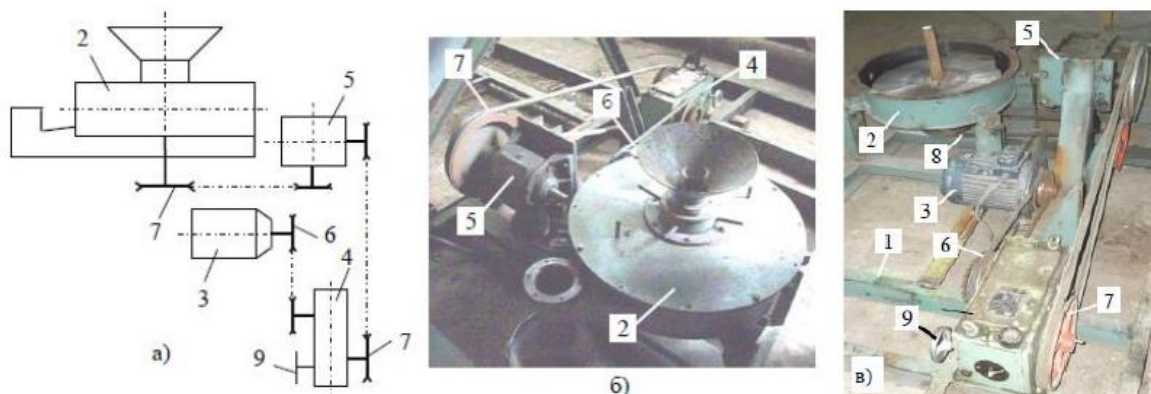


Структурна модель проведення досліджень теркового пристрою

Програма експериментальних досліджень

- провести лабораторні експериментальні дослідження з метою одержання емпіричних регресійних залежностей, які характеризують:
- зміну кількості витертого насіння та ступеня витирання насіння з вороху люцерни залежно від основних технологічних параметрів процесу завантаження і конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів та конструктивного виконання нерухомого диска теркового пристрою;
- зміну продуктивності роботи теркового пристрою залежно від його основних технологічних параметрів процесу завантаження та конструктивно-кінематичних параметрів його робочих органів;
- визначити показники технологічної ефективності використання удосконаленого молотильно-сепаруючого пристрою, який обладнано теркового пристрою і базового молотильно-сепаруючого пристрою (базової машини) на основі проведення порівняльних польових досліджень в умовах виробництва.

ЛАБОРАТОРНА УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ



Конструктивна схема (а) та загальний вигляд (б, в) лабораторної установки: 1 – рама; 2 – терковий пристрій; 3 – електродвигун; 4 – варіатор обертів; 5 – конічний редуктор; 6, 7, 8 – клинопасова передача. Дослідження провели для трьох встановлених фіксованих значень абсолютної вологості вороху люцерни 18, 21, 24%. Маса матеріалу для всіх експериментів становила 4005 г, а вміст насіння у воросі 33...34%

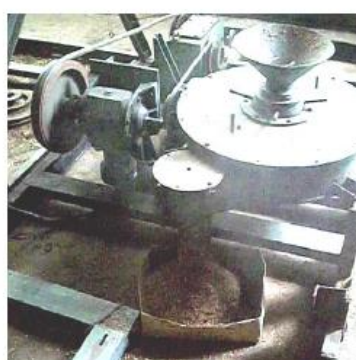
Результати кодування факторів та рівні їх варіювання

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натуральні/кодовані		
	Натур.	Код.				
Частота обертання диска, n , об/хв	X_1	x_1	300	480/-1	780/0	1080/+1
Кількість проходів технологічної маси, k_n , шт.	X_2	x_2	1	2/-1	3/0	4/+1

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ



Терковий пристрій у роботі

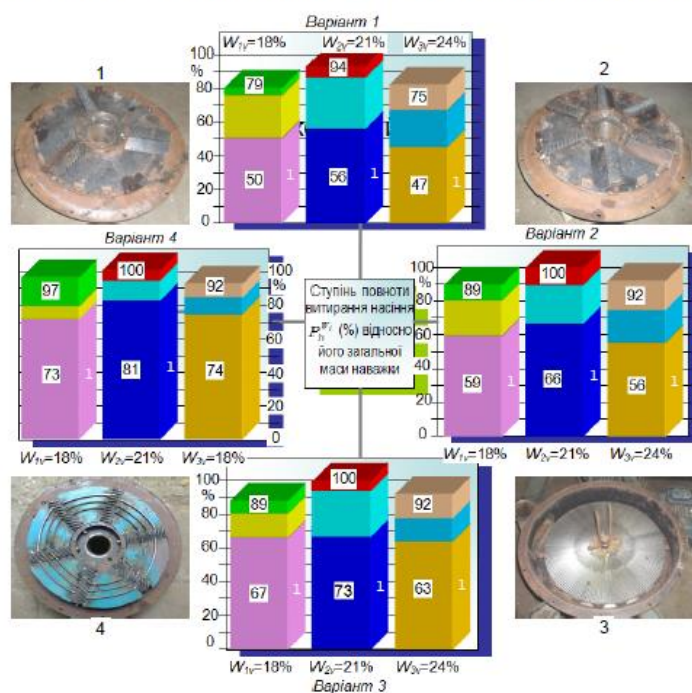


Загальний вигляд виконання нерухомого диска: а, б, в, г – відповідно, варіант 1, 2, 3, 4

За значення вологості наважки вороху люцерни $w_{2v} = 21\%$:

- для варіанту 1: $m_{1v}^{(21)} = -29,88 + 0,08n + 17,53k_n + 0,01nk_n - 3,7 \cdot 10^{-6}n^2 - 2,46k_n^2$
- для варіанту 2: $m_{2v}^{(21)} = -8,24 + 0,08n + 3,39k_n - 0,01nk_n + 1,9 \cdot 10^{-5}n^2 + 2,42k_n^2$
- для варіанту 3: $m_{3v}^{(21)} = -103,07 + 0,28n + 22,79k_n - 0,002nk_n - 0,0001n^2 - 1,71k_n^2$
- для варіанту 4: $m_{4v}^{(21)} = 3,25 + 0,03n - 19,38k_n - 0,006nk_n + 5,7 \cdot 10^{-5}n^2 - 1,08k_n^2$

ДІАГРАМА СТУПЕНЯ ВИТИРАННЯ НАСІННЯ



$P_{iv}^{n\%}$ (%) відносно загальної маси завантаженого насіння.

1, 2, 3, 4 – варіанти конструктивного виконання теркового пристрою

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

Показник	Значення показника		Ступінь показника, ± %
	Базова	Модерн.	
Продуктивність за 1 год. змінного часу, т/год.	0,3	0,34	11,3
Затрати на оплату праці обслуговуючого персоналу, грн./т	19,8	17,47	11,3
Затрати енергії на виконання процесу, грн./т	3,38	2,93	11,5
Відрахування на капітальний ремонт і технічне обслуговування, грн./т	150,15	91,72	16,4
Витрати на реновацію машини, грн./т	357,5	218,38	16,4
Затрати на зберігання машини, грн./т	1,67	1,47	11,3
Прямі експлуатаційні видатки, грн./т	532,5	331,97	16,0
Зведені затрати на одиницю напрацювання, грн./т	532,67	332,14	16,0
Капітальні вкладення, грн./т	2383,33	1455,88	16,4
Економічний ефект від виробництва та експлуатації нової машини, грн.	-	6015,9	-
Загальний економічний ефект за 1 рік експлуатації модернізованої машини, грн.	-	20053,0	-

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У магістерській роботі вперше вирішено наукове завдання підвищення показників якості збирання насіння бобових трав шляхом розроблення та обґрунтування параметрів теркового пристрою. Підвищення показників якості досягнуто за рахунок інтенсифікації процесу витирання насіння робочими органами теркового пристрою із його обґрунтованими раціональними параметрами.

2. Продуктивність теркового пристрою Q_n знаходиться в межах 0,2...1,3 кг/с, при цьому її зростання на 0,2...0,25 кг/с спостерігається за значення діаметра рухомого диска $D \geq 0,5$ м та коефіцієнта заповнення внутрішнього простору робочого русла $\varphi'_n \geq 0,5$. У діапазоні зміни частоти обертання диска $400 \leq n_n \leq 1000$ об/хв. Q_n збільшується на 0,65...0,7 кг/с, а умова роботи теркового пристрою без «завантаження» матеріалу забезпечується за значення діаметра рухомого диска в межах $D = 0,6...0,7$ м, частоти обертання рухомого диска у межах $n_n = 300...900$ об/хв., середніх значень $\varphi'_n = 0,5$ і діаметра завантажувального отвору d_b та діаметра кільцевої щілини d_k вихідного каналу бункера $d_b = d_k = 0,15$ м.

3. Площа поперечного перерізу S_k завантажувального отвору бункера повинна бути від 0,04 до 1,4 см² за зміни діаметра рухомого диска в межах $D = 0,6...0,7$ м і діаметра d_b завантажувального отвору бункера $d_b = 0,09...0,15$ м. Встановлено, що для оптимальної обробки сипкого матеріалу відповідної кількості, яка завантажена через завантажувальний отвір бункера теркового пристрою діаметром $d_b = 0,09...0,15$ м частота обертання рухомого диска знаходиться в межах $n_n = 60...950$ об/хв. За зміни коефіцієнта заповнення φ'_n внутрішнього простору робочого русла теркового пристрою у діапазоні $\varphi'_n = 0,4...0,7$

4. Домінуючим фактором, який суттєво впливає на зростання складових кінетичної енергії K_v , K_x та K_{Γ} є u – доударна швидкість контакту боба у межах зміни u від 5,0 до 15,0 м/с приріст складових кінетичної енергії частинки становить, відповідно, 0,8...0,85 Дж, 0,035...0,04 Дж, 0,03...0,35 Дж, а сумарна кінетична енергія $\sum K_n$ взаємних переміщень частинок вороху люцерни у внутрішньому об'ємному просторі робочого русла теркового пристрою знаходиться в межах 0,06...1,3 Дж.

5. Значний приріст (у середньому в 2,5...3 рази), як і маси витертого насіння $m_{iv}^{P_n}$, так і ступеня витирання насіння $P_{iv}^{P_n}$ вороху люцерни відбувається за значень частоти обертання рухомого диска $480 \leq n \leq 800$ об/хв. та кількості проходів $1 \leq k_n \leq 3$. Подальше збільшення n до межі 1080 об/хв. та кількості проходів $k_n = 5$ призводить до незначного зростання кількісних показників $m_{iv}^{P_n}$ і $P_{iv}^{P_n}$ – відповідно, в середньому на 10...15 г і 2...4 %.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

6. Найбільші значення ступеня витирання насіння $p_{iv}^{(P_n)}$ за один робочий прохід одержано за вологості матеріалу наважки $W_{2v} = 21\%$ для всіх варіантів конструктивного виконання нерухомого диска теркового пристрою, при цьому максимальне значення ступеня витирання насіння становить $p_{3v.1max}^{(21)} = 81\%$, а максимальні показники маси витертого насіння $m_{iv}^{P_n} = 136$ г і ступеня витирання насіння $P_n^{P_n} = 34\%$ люцерни відносно маси завантажено вороху, одержано за значення вологості $W_{2v} = 21\%$, $n = 1080$ об/хв. і $k_n = 5$.

7. Встановлено, що за зміни частоти обертання диска у діапазоні $480 \leq n_n \leq 780$ об/хв. спостерігається зростання продуктивності роботи теркового пристрою на $60 \dots 90\%$ залежно від секундної подачі матеріалу q_n від для всіх фіксованих значень вологості наважки вороху люцерни $W_{iv} = 18, 21, 24\%$, при цьому значне зростання продуктивності $Q_{n,e}^{(i)}$ на $0,4 \dots 0,5$ кг/с спостерігається за значення $q_n \geq 0,5$ кг/с, а за зміни вологості в межах від 18 до 24% продуктивність роботи $Q_{n,e}^{(i)}$ зменшується в середньому на $0,02 \dots 0,05$ кг/с.

8. Порівняльний аналіз теоретичної залежності зміни продуктивності роботи Q_n теркового пристрою та експериментальної залежності $Q_{n,e}^{(i)}$ теркового пристрою показує, що розбіжність значень Q_n , отриманих теоретично та експериментально $Q_{n,e}^{(i)}$ знаходиться приблизно у межах від $8,0$ до 25% , а усереднене значення розбіжності становить близько 15% .

9. Рациональні конструктивно-кінематичні параметри робочих органів теркового пристрою, за яких забезпечується задовільне протікання процесу обробки вороху люцерни у межах зміни продуктивності теркового пристрою $Q_n = 0,8 \dots 6,6$ кг/с будуть становити: діаметр нерухомого та рухомого диска $D = 0,5 \dots 0,6$ м; частота обертання рухомого диска $n_n = 300 \dots 900$ об/хв.; діаметр отвору завантажувального каналу бункера $d_b = 0,1 \dots 0,15$ м; діаметр щілини отвору вивантажувального каналу $d_k = 0,1 \dots 0,16$ м; коефіцієнта заповнення внутрішнього простору робочого русла $\varphi'_n = 0,5 \dots 0,7$.

10. На основі порівняльного аналізу встановлено, що недомолот насіння з вороху люцерни зменшується приблизно в $1,7$ раз – від $2,1\%$ у базового молотильно-сепаруючого пристрою до $1,5\%$ в удосконаленого, а забрудненість половиною – приблизно в $1,3$ рази порівняно з базовим варіантом – від $4,2\%$ у базового до $3,4\%$. Застосування теркового пристрою є раціональним в умовах надмірної вологості вороху, в яких показники якості роботи серійних машин незадовільні. Загальний економічний ефект за один рік експлуатації теркового пристрою становить $20053,0$ грн.

ДОДАТОК Б

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ ЗВО «ПДУ»
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ
ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «КОМПАНІЯ ЛАН»
ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «БОСАЛ УКРАЇНА»

**ХІХ ВСЕУКРАЇНСЬКА
НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
СТУДЕНТІВ ТА
МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ**

«Перші наукові кроки – 2025»

17 квітня 2025 р.



*Кам'янець-Подільський
2025*



Міністерство освіти і науки України
Ministry of Education and Science of Ukraine
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Higher Educational Institution «Podillia State University»



Інженерно-технічний факультет
Faculty of Engineering and Technology
Кафедра технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін
Department of Technical Service and General Technical Subjects

Варшавський університет природничих наук
Warsaw University of Life Sciences

Університет прикладних наук у Тарнові
University of Applied Sciences in Tarnow

Краківський сільськогосподарський університет імені Гуго Коллонтая
University of Agriculture in Krakow

Державна академія прикладних наук у Хелмі
State Academy of Applied Sciences in Chelm

Міжнародна академія прикладних наук в Ломжі
International Academy of Applied Sciences in Lomza

Інститут механіки та автоматизації агропромислового виробництва
Національної академії аграрних наук України
Institute of Mechanics and Automation of Agro-Industrial Production of the
National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

Вінницький національний аграрний університет
Vinnitsia National Agrarian University

**«Сучасні технології та технічний сервіс:
ВИКЛИКИ І МОЖЛИВОСТІ»**

**«Modern Technologies and Technical Service:
Challenges and Opportunities»**

ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ CONFERENCE PROCEEDINGS

**I Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції
1st International Scientific and Practical Internet Conference**



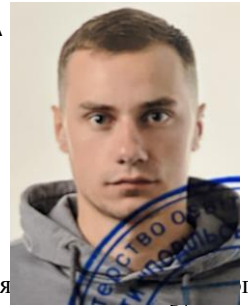
16 жовтня 2025 року
October 16, 2025

м. Кам'янець-Подільський
Kamianets-Podilskyi

СХЕМА ДО РОЗРАХУНКУ ПРОСТОРУ РОБОЧОГО РУСЛА ТЕРКОВОГО ПРИСТРОЮ

Козак О.М. – здобувач вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія»
Керівник – канд. техн. наук, доцент Грушецький С.М.

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»



З метою формалізації процесу обробки вороху люцерни об'єктом дослідження є розроблення технологічного процесу роботи теркового пристрою. Метою дослідження є обґрунтування параметрів теркового пристрою розглянемо складену розрахункову схему внутрішнього об'ємного простору робочого русла, яку наведено на (рис. 1) та технологічний процес роботи теркового пристрою [1].

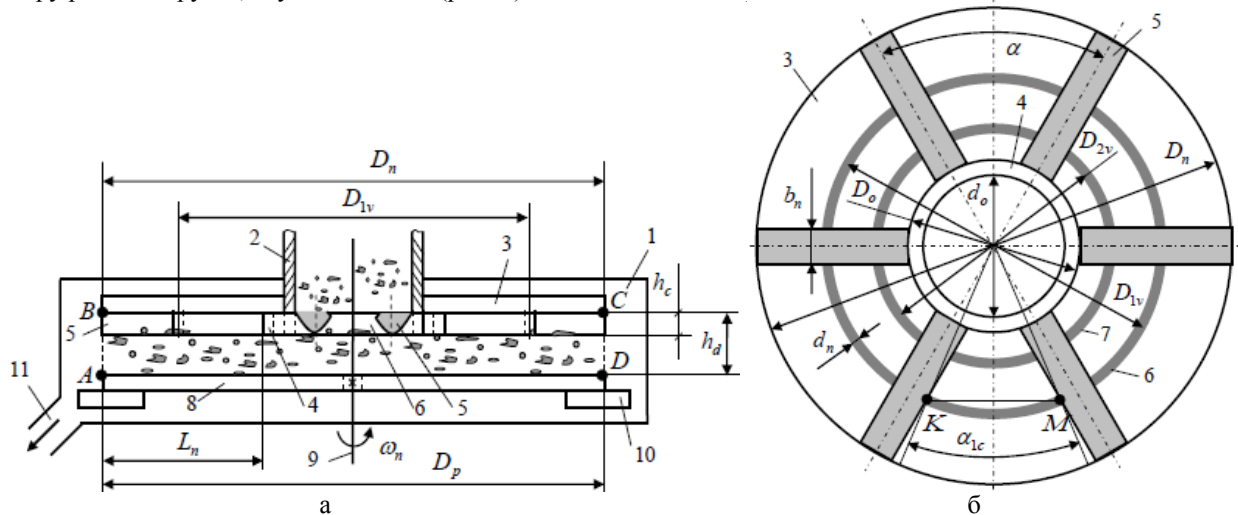


Рис. 1. Схема до розрахунку простору робочого русла теркового пристрою

Внутрішній об'ємний простір робочого русла теркового пристрою утворений суміжно вертикальним розташуванням нерухомого 3 (рис. 1) і рухомого 8 дисків, які розташовані в корпусі 1 теркового пристрою із зазором, висота якого становить h_d , при цьому зовнішній діаметр нерухомого диска дорівнює D_n , а рухомого – D_p , який встановлено на валу 9, що обертається з кутовою швидкістю ω_n . На робочій поверхні нерухомого диска перпендикулярно та концентрично їй, закріплено обійму 4, виконану в вигляді втулки, зовнішній діаметр якої становить D_o , а внутрішній – d_o та радіально встановлено біла 5 кількістю k_n , які виконано у вигляді променів (рифів) шириною b_n , довжиною L_n та висотою h_c , які закріплено до втулки. Також на робочій поверхні нерухомого диска в проміжках між білами концентрично до осі диска розміщено кільцеві виступи 6, 7 загальною кількістю k_v , виконаних у вигляді круглого прутка, усереднений діаметр яких розташований, відповідно, від центра диска на відстані $0,5 D_{1v}$ і $0,5 D_{2v}$.

Висновки. Проведений аналіз конструкцій терткових пристроїв підтвердив необхідність проведення досліджень щодо їх вдосконалення. Розроблено розрахункову схему внутрішнього об'ємного простору робочого русла та технологічний процес роботи теркового пристрою.

Список використаних джерел

1. Грушецький С.М., Завадський Д.Д. Аналіз конструкцій терткових пристроїв. *Матеріали XI Всеукр. наук.-прак. конф. студ. та молодих науковців, «Перші наукові кроки – 2017»*. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О.В., 2017. С. 76.