

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**МЕТЕЛЬСЬКИЙ МАКСИМ ІГОРОВИЧ**

УДК 633.1+633.85

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**Удосконалення технологічного процесу очищення зерна ячменю**

(тема роботи)

**208 «Агроінженерія»**

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр  
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на  
відповідне джерело \_\_\_\_\_

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Сукманюк Олена Миколаївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

к.і.н., доцент

(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2025

## АНОТАЦІЯ

Метельський М.І. Удосконалення технологічного процесу очищення зерна ячменю. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

У кваліфікаційній роботі детально представлено аналіз існуючих методів і технологій очищення зерна ячменю, зокрема розглянуто принципи та особливості трієрного очищення як одного з ключових етапів підготовки зернової маси. Особливу увагу приділено історичному розвитку та еволюції зерноочисної техніки, що дозволило простежити вдосконалення конструкцій, ефективності та автоматизації зерноочисних машин.

У роботі наведені й теоретичні дослідження процесу очищення зерна ячменю, визначено оптимальних технологічних параметрів та характеристики обладнання. Обґрунтовано режими роботи, що забезпечують найвищу продуктивність і якість очищення, включаючи швидкість обертання трієрних циліндрів, кут нахилу, розміри комірок та інші важливі технологічні показники.

Детально описано методику дослідження процесу вилучення домішок із зернової маси ячменю, яка включала підготовку зерноsumіші, проведення серії дослідів, фіксацію результатів та їх подальший аналіз. Наведено динаміку сепарації та показники якості виділення насіння вика та сорго з ячменю, що дало змогу оцінити ефективність трієрного очищення та визначити залежність результатів від режимів роботи обладнання. Отримані дані мають прикладне значення для удосконалення машин та технологічних процесів післязбиральної обробки зернових культур.

**Ключові слова:** ячмінь, технологічний процес, зерно, очищення, удосконалення.

## ABSTRACT

Metelskyi M.I. Improving the technological process of cleaning barley grain. Qualification for the advanced master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

The qualification work presents in detail an analysis of existing methods and technologies for cleaning barley grain, in particular, the principles and features of trier cleaning as one of the key stages of grain mass preparation are considered. Special attention is paid to the historical development and evolution of grain cleaning equipment, which made it possible to trace the improvement of designs, efficiency and automation of grain cleaning machines.

The work also presents theoretical studies of the barley grain cleaning process, determines the optimal technological parameters and characteristics of the equipment. Operating modes that ensure the highest productivity and quality of cleaning are substantiated, including the speed of rotation of trier cylinders, the angle of inclination, the size of the cells and other important technological indicators.

The methodology for studying the process of removing impurities from barley grain mass is described in detail, which included the preparation of the grain mixture, conducting a series of experiments, recording the results and their further analysis. The dynamics of separation and quality indicators of the separation of vetch and sorghum seeds from barley are presented, which made it possible to assess the efficiency of trier cleaning and determine the dependence of the results on the operating modes of the equipment. The obtained data have practical significance for improving machines and technological processes of post-harvest processing of grain crops.

Keywords: barley, technological process, grain, cleaning, improvement.

## ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СПОСОБІВ ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНА ЯЧМЕНЮ ТА ЕТАПИ РОЗВИТКУ ЗЕРНООЧИСНОЇ ТЕХНІКИ	7
1.1. Етапи та шляхи розвитку зерноочисної техніки	7
1.2.Способи очищення зерна ячменю	9
1.3.Аналіз досліджень процесів трієрного очищення зерна	14
1.4. Висновки по першому розділу	20
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНА ЯЧМЕНЮ	21
2.1. Аналіз технологічного процесу очищення зерна ячменю	21
2.2.Обґрунтування режимів роботи та параметрів обладнання для очищення зерна	24
2.3.Висновки по другому розділу	27
РОЗДІЛ 3. УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИДІЛЕННЯ ДОМІШОК ІЗ ЯЧМЕНЮ	28
3.1. Методика дослідження процесу виділення домішок із ячменю	28
3.2. Дослідження процесу виділення домішок з ячменю	30
3.2.1. Динаміка та якість виділення насіння вики із зерноsumіші	32
3.2.2. Динаміка та якість виділення насіння сорго із зерноsumіші	34
3.3.Висновки по третьому розділу	36
ВИСНОВКИ	37
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	38

## ВСТУП

Післязбиральне очищення зернових сумішей від різноманітних домішок – є одним із найважливіших етапів технологічного процесу виробництва зерна. Якість даного процесу визначається рівнем втрат зерна основної культури та ступенем його залишкової засміченості. Досягнення високої ефективності очищення, особливо в багатоканальних технологічних системах, потребує раціонального керування процесом — контролю режимів і параметрів роботи обладнання, а також змінних характеристик робочого середовища.

Державні стандарти висувають високі вимоги до якості зерна та насіння, зокрема щодо вмісту бур'янистих домішок. Якщо у зерновій суміші присутні важковіддільні домішки, такі як вівсюг, гречка в'юнкова чи подрібнені зернівки основної культури, досягти високих показників чистоти зерна та насіння без застосування трієрного очищення практично неможливо. Водночас у зерноочисних агрегатах типу ЗАВ, що використовуються на сільськогосподарських підприємствах, більшість трієрних блоків виведено з експлуатації через низку об'єктивних причин. Серед них – відсутність ефективних систем керування та розподілу масових потоків зерна в багатоканальних технологіях очищення; невідповідність роботи технологічних процесів трієрних циліндрах, які функціонують послідовно в одному блоці; а також відсутність чітких регламентів щодо продуктивності, технологічних налаштувань, режимів регулювання та швидкісної роботи циліндрів.

У літературних джерелах недостатньо необхідної інформації щодо досліджень закономірностей процесів трієрного очищення зерноsumішей від довгих та коротких домішок з урахуванням якості очищення у взаємозв'язку з настроювальними та режимними параметрами. Особливо мало даних щодо досліджень трієрного очищення ячменю, хоча рівень його виробництва становить істотну частку у структурі виробництва рослинництва. Необхідність поповнення бази знань про процеси трієрної очищення за рахунок досліджень динаміки виділення коротких домішок, подрібнених частинок зерна основної культури з ячменю за допомогою пористих поверхонь обумовлює актуальність дослідження.

**Основна мета** є підвищення ефективності очищення зерна ячменю від коротких домішок за рахунок застосування циліндричного трієра.

**Об'єкт досліджень** – процес поділу компонентів зерноsumішей за допомогою пористих поверхонь.

**Предмет досліджень** – закономірності зміни показників якості процесу очищення ячменю в залежності від режимів роботи та параметрів трієра.

**Методологія і методи дослідження.**

Теоретичні дослідження виконувались відповідно до відомих законів механіки насипних вантажів, теорії циліндричних трієрів, класичної механіки.

**Основні завдання дослідження:**

- виконати аналіз способів очищення зерна;
- виконати аналіз роздільності ячменю та коротких домішок за розмірними ознаками;
- вивчити фізико-механічні властивості компонентів досліджуваної зерноsumіші;
- обґрунтувати раціональні параметри та режими процесу трієрного очищення ячменю від коротких домішок.

**Публікації:**

Сукманюк О. М., Метельський М. І. Аналіз досліджень процесів трієрного очищення зерна. Біоенергетичні системи: *Біоенергетичні системи: матеріали ІХ міжн. наук.-практ. конф. 19-20 листопада 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 35-40.*

Метельський М. І. Етапи та шляхи розвитку зерноочисної техніки. *Наукові читання – 2025: збірник тез доповідей наук.-практ. конф. за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 23 квітня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. Том 2. 85 С. 67-70.*

Метельський М. І. Способи очищення зерна ячменю. *Студентські читання–2025: матеріали наук.-практ. конф. науково-педагогічних працівників та здобувачів вищої освіти факультету інженерії та енергетики. 30 жовтня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. Т2. 85 с. С. 51-54.*

**Обсяг та структура роботи.** Робота складається із вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Робота викладена на 39 сторінках машинописного тексту, містить 14 рисунків, списку використаних джерел з 21 найменування.

# РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СПОСОБІВ ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНА ЯЧМЕНЮ ТА ЕТАПИ РОЗВИТКУ ЗЕРНООЧИСНОЇ ТЕХНІКИ

## 1.1. Етапи та шляхи розвитку зерноочисної техніки

Історія сільськогосподарського машинобудування налічує понад 200 років. Сільськогосподарські машини розвивалися від простого інвентарю (такого, як дерев'яні віялки з ручним приводом) до складних агрегатів та комплексів, розробки яких знадобилося проведення серйозних наукових досліджень. Багато видатних вчених присвятили своє життя дослідженню питань удосконалення сільськогосподарських машин, що використовуються для обробки зерна. Призначення техніки для очищення зерна – сортування, калібрування та очищення від домішок. Сучасні агрегати здатні проводити всі операції з найменшими втратами та в результаті дозволяють отримувати правильно відібране зерно. Головне завдання процесу зерноочиснення – отримати зерно з високою цінністю та хорошими смаковими характеристиками.

Для підготовки представленої роботи було проаналізовано значну кількість літературних джерел, у тому числі періодичних видань з проблематики обробки зерна, виданої як сучасними авторами, так і основоположниками зазначеного наукового спрямування. При розкритті теми використано роботи як вітчизняних так і зарубіжних авторів. Значний внесок у розвиток сільськогосподарського машинобудування зробили українські вчені та конструктори.

«Наукові засади розробки сільськогосподарської техніки викладено В.П. Горячкіним (1868-1935) у його фундаментальній праці «Землеробська механіка», в якій їм були успішно застосовані механіко-математичні закони [1, 2, 5]. «У 1900 р. вийшли у світ наукові роботи В. П. Горячкіна – «Борони», «Віялки», «Сортувальники», «Зерносушарки», «Жниварні машини». У них розкриті закони механіки, на яких ґрунтується дія машин, і вперше робиться спроба теоретично вирішити, яким вимогам має відповідати пристрій землеробської машини. Дані праці Горячкіна В.П. ознаменували народження нової науки про сільськогосподарські машини» [1-3].

Розвиток зерноочисної техніки включає кілька основних етапів.

«Перший етап (1930-1950 р). Завдяки створенню в 1930 році НДІ механізації сільського господарства, що включав лабораторію механізації зерноочиснення, з даного періоду почалася еволюція сільськогосподарських машин від найпростіших віялок до складних пересувних зерноочисних агрегатів, які використовувалися у різних її модифікаціях до 60-х років» [4].

Другим етапом розвитку зерноочисних машин (1960-1990 рр.) став перехід до поточної технології очищення зерна. Саме в даний час було розроблено трієрні блоки продуктивністю 5-20 т/год.

«На даному етапі великий внесок у розвиток технологій очищення зерна зробили такі вчені, як: Кожухівський І.Є. – створив методи проектування та розрахунку основних робочих елементів трієрів; Матвеев А.С. – запропонував основні принципи поділу насіння у повітряному потоці; Єлізаров В.П. – оптимізував основні технологічні параметри зернообробних комплексів» [5].

Зусилля вчених у даному напрямку були направлені на пошук способів інтенсифікації трієрного очищення шляхом удосконалення конструкції пористих поверхонь трієрів. Огляд робіт показав, що підвищення продуктивності трієрів досягається в основному двома шляхами: перший – покращення конструкції осередків, які забезпечують збільшення коефіцієнта використання пористої поверхні та покращення технології поділу зерна у трієрі; другий - створення конструкції робочого органу, що забезпечує збільшення швидкості руху робочої поверхні та підвищення продуктивності трієра.

Третій етап (1990-2005 рр.) характеризується переходом від загальної технології до нового покоління зерноочисних машин. Розвиток економіки призвів до того, що різним за умовами виробництва та зберігання продукції, трудовим ресурсам, матеріальної забезпеченості суб'єктам господарювання знадобилися різні технології та технічні пристрої, що у свою чергу вимагало принципово нових технічних рішень.

«В даний період створено першу машину гравітаційного типу, СГЗ-25, продуктивністю 25 т/год, призначену для попереднього очищення насіння, а з 2000 року почався випускатися модернізованого гравітаційного очищувача ЗГ-25, а з 2003 р. - ЗГМ-20 з більш удосконаленою пневмосистемою, меншими габаритами та масою. З 2002 року розпочато виробництво пневмосортувальних машин (ПСМ), призначених для остаточного очищення насіння, а в 2004 році поставлено на виробництво принципово нову машину вторинного очищення насіння – СМВО-10, що поєднує в собі гравітаційну колонку та чотиріканальний пневмосепаратор» [5].

Метою адаптації вчені називають видалення інертних речовин, бур'янів та інших сільськогосподарських культур, а також покращення якості та зовнішнього вигляду. Контроль якості включає відбір проб, тестування насіння, що дозволяє забезпечити якість насіння протягом усієї виробничої програми і є ключем до отримання високоякісних та продуктивних культур.

«Сучасний етап (після 2005 р.) характеризується великою кількістю досліджень та різноманітністю літератури на тему розвитку та вдосконалення технологій обробки та очищення зерна, що збільшився інтересом до даного питання у всьому світі. Виробництво зерна є найважливішим напрямом агротехнічного сектору, оскільки здійсню постачання населення продовольством, і навіть розвиток кормових ресурсів кількох галузей агропромислового сектору» [5].

## **1.2. Способи очищення зерна ячменю**

«Насінневий матеріал ячменю в господарствах України має незадовільну якість, часто через високий вміст у ньому насіння інших культурних рослин (пшениця та овес). У деяких партіях насінневого матеріалу спостерігається перевищення вмісту насіння жита та вівсюга вище за норму. Відома технологія очищення насіння, яка включає обробку насіння на повітряно-решітних машинах та в трієрних циліндрах (комірчастих сепараторах), не дозволяє забезпечити отримання високоякісного насіння» [9].

Насіння вівса є найбільш важковідокремленою домішкою. При огляді насіння ячменю та вівса показало, що найбільш високоякісне очищення зерна від насіння вівса може бути проведене на основі сукупності розмірів, тобто за довжиною та товщиною.

«В даний час недостатньо наукових знань для визначення можливості ефективного очищення насіння від важковідокремленої домішки за сукупністю розмірів. Якість очищення насіння від зазначеної домішки за сукупністю розмірів може бути визначено шляхом спільного розгляду та аналізу мінливості товщини та довжини компонентів зерна» [9].

«Для проведення посівних робіт у ґрунтово-кліматичних умовах України велику роль відіграє якість насінневого матеріалу. Від цього безпосередньо залежить майбутній розвиток рослин і в результаті врожайність зернових культур» [9]. Тому виникла потреба в удосконаленні технологічного процесу, що дозволить очистити насіння від важковідокремлених домішок.

Після збирання врожаю зерновий ворох представляє собою складну багатокомпонентну суміш, що містить насіння основної культури, насіння сторонніх культурних і бур'янистих рослин, а також органічні та мінеральні домішки. До складу насіння основної культури входять як повноцінні, так і пошкоджені, щуплі, порожні або такі, що залишилися в плівках зерна. Неповноцінне насіння основної культури та насіння інших культур належать

до зернових домішок. До бур'янових домішок відносять грудочки ґрунту, камінці, частинки руди чи шлаку, уламки стебел і листя, насіння дикорослих (сміттєвих) рослин, а також шкідливі домішки.

«Домішки, особливо органічного походження, створюють сприятливі умови для розвитку шкідливих мікроорганізмів, що може спричинити передчасне псування зерна під час зберігання. Тому свіжозібраний зерновий ворох необхідно одразу піддавати післязбиральному очищенню, а при підвищеній вологості – необхідно просушити. Вміст бур'янових, зернових та важковідокремлюваних домішок впливає на якість кінцевої продукції, що, у свою чергу, визначає її ринкову вартість: клас – для продовольчого зерна та категорію якості – для насіннєвого матеріалу, мають відповідати вимогам державних стандартів» [5, 6].

Процес відокремлення домішок із зернового вороху ґрунтується на відмінностях у фізико-механічних властивостях домішок і зернівок ячменю. Даний принцип лежить в основі роботи зерноочисних машин, які здійснюють розподіл компонентів за різницею їхніх аеродинамічних характеристик, розмірів, форми, поверхневих властивостей, щільності та електричних параметрів.

Відділення домішок за допомогою повітряного потоку можливе у разі різниці аеродинамічних властивостей частинок основної культури та легких домішок, що характеризуються швидкістю витання, при якій частка знаходиться в зваженому стані всередині висхідного повітряного потоку. «Принцип роботи зерноочисних машин, що розділяють компоненти зерноsumіші за аеродинамічними властивостями заснований на приміщенні зерноsumіші у вертикальний, похилий або горизонтальний повітряний потік і збір фракцій зернового матеріалу різних місцях залежно від своїх властивостей. Даний принцип використовується при очищенні зерна в повітряній частині всіх повітряно-решітних машин, у пневмосепараторах типу БПС продуктивністю від 1,5 до 10 т/год, САД-10, САД-30 та ін.» [7, 8].

«На основі різниці у розмірах поперечного перерізу зерен домішок відокремлюють з допомогою сита, рис. 1.1.» [7].

Для розподілу зернівок ячменю за товщиною застосовуються решета, що мають продовгуваті отвори, а для розподілу компонентів по ширині частинок (більший поперечний розмір) використовуються решета з круглими отворами.

У повітряно-решітних зерноочисних машинах поєднані способи відділення домішок за різницею аеродинамічних властивостей та поперечних розмірів частинок зерноsumішей, вони складають основу практично всіх зерноочисних технологій. За відсутності в зерновому воросі домішок, які

важко відділити, дані машини забезпечують очищення зерна до необхідного ступеня, що висуваються до продовольчого зерна. У складі зерноочисних агрегатів, що найбільш застосовується отримали повітряно-решітні машини ОВС-5, ОВС-25С, ОВС-25СЕ, ЗВС-20А та ін.

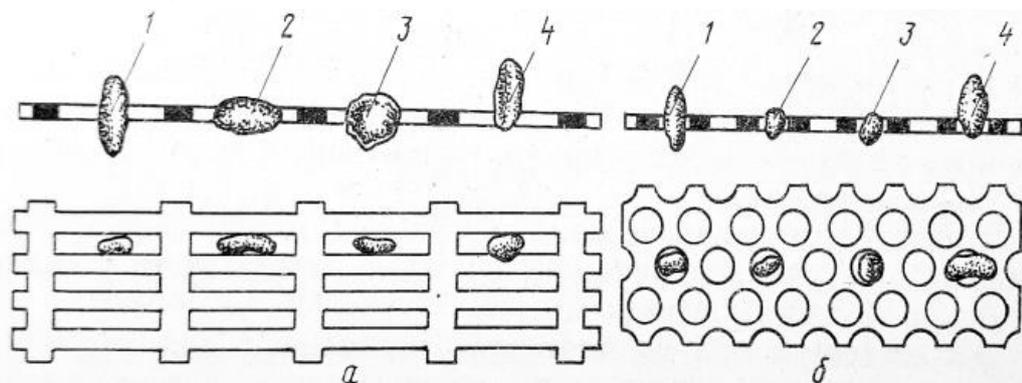


Рисунок 1.1. Розподіл насіння на решетах: а – решета з продовгуватими отворами, б – решета з круглими отворами; 1, 2, 3 – насіння, що проходить крізь отвори решета; 4 – насіння, яке не проходить крізь отвори решета

«Розділити по довжині насіння можливо у дискових чи циліндричних трієрах. Циліндричний трієр – це сталевий циліндр, що обертається 1 (рис. 1.2) з осередками на внутрішній поверхні і жолобом 2, встановленим всередині циліндра по всій його довжині. У жолобі обертається шнек 3. Зерновий ворох подають на внутрішню поверхню циліндра. Частинки починають ковзати поверхнею циліндра та взаємодіють з осередками. Дрібне і коротке насіння повністю потрапляє в отвори, довге – частково. При повороті циліндра на невеликий кут (менше  $90^\circ$ ) в отвори випадають довгі зерна, а при подальшому повороті циліндра – короткі зерна, які падають у жолоб 2» [5].

«Принцип розподілу зерен по довжині полягає в тому, що довгі зерна при повороті циліндра випадають в отвори раніше, ніж короткі.

Для одночасного виділення із зернового вороху довгих і коротких домішок застосовують два циліндри. Трієр для виділення коротких домішок оснащений дрібними осередками називається – куколевідбірник (рис. 1.2 а), для виділення довгих домішок – овсюговідбірник (рис. 1.2 б)» [5,8]

«При обертанні циліндра (рис. 1.2 а) дрібні домішки піднімаються вище за край нерухомого жолоба 2 і випадають з отворів в жолоб 3. Насіння основної культури переміщається по дну циліндра до виходу. Овсюжний циліндр (рис. 1.2 б) закидає насіння основної культури у жолоб, а довгі домішки сходять дном циліндра. Щоб відрегулювати повноту виділення домішок, що повертають жолоб, встановлюючи його верхню кромку вище або нижче» [5].

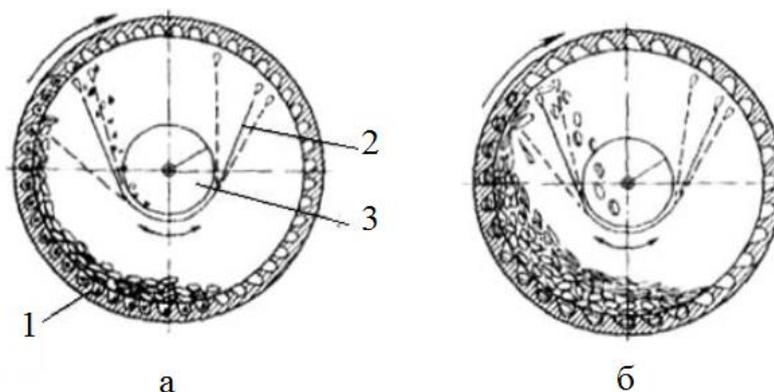


Рисунок. 1.2. Схема технологічного процесу циліндричного трієра: а, б – виділення відповідно коротких та довгих домішок; 1 – циліндр із отворами; 2 – жолоб; 3 – шнек

«Частота обертання трієрного циліндра має бути такою, щоб усі зерна випадали з осередків. Якщо частота обертання циліндра вища за критичну, то відцентрова сила утримає частину насіння в отворах і точність поділу зерна на фракції знизиться. Зазвичай частота обертання трієрного циліндра знаходиться в межах  $35...50 \text{ хв}^{-1}$ » [5].

Трієрні циліндри встановлюють у складних зерноочисних машинах, на агрегатах та комплексах для післязбиральної обробки зерна.

«Промисловість випускає трієрні циліндри з отворами діаметром 6,3; 8,5 та 11,2 мм для сортування зернових культур та діаметром 1,8; 2,8 та 3,5 мм для виділення дрібного насіння» [5, 8].

Українськими виробниками зерноочисного обладнання випускаються трієра ТЦО-700, ТЦК-700, ТРБ-800, ULTRA-N та ін.

«Найбільш відомі закордонні виробники трієрів та трієрних блоків: німецька фірма «PETKUS», австрійська Cimbria і турецька AKY Technology, випускають широкі типорозмірні ряди трієрів». [8]

«Поділ насіння за щільністю. Насіння різних культурних рослин і бур'янів має неоднакову щільність. Використовуючи дану ознаку, можна розділяти насіння у рідких сепараторах або на пневматичних сортувальних столах (рис. 1.3), що забезпечує виділення із зернового вороху найбільш життєздатного насіння (сортування за щільністю) або очищення зерна від важковіддільних домішок (наприклад, дикої редьки, гречки та ін.)» [5].

«У рідинних сепараторах використовують рідини заданої щільності, у якій важке насіння опускається, а легке – піднімається» [5, 8].

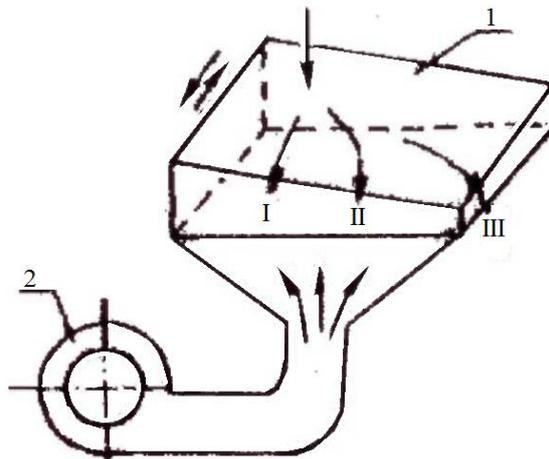


Рисунок. 1.3. Схема поділу насіння за щільністю на пневматичному сортувальному столі: 1 – поверхня сітчаста; 2 – вентилятор; I – частинки легкі; II – частинки середньої густини; III – зерна великої щільності

Прикладами серійних пневмосортувальних столів є: А1-БЗК-9, СП-200, СП-120 та ін.

Одним із перспективних напрямків розвитку зерноочисної техніки є поділ зернової суміші по електропровідності, діелектричній проникності та іншим електричним властивостям (рис. 1.4) насіння поділяють на електричному полі.

При даному поділі можуть бути використані електростатичний, коронний та діелектричний методи поділу.

«Електростатичний метод поділу полягає в наступному: матеріал з бункера 1 (рис. 1.4, а) надходить на барабан, що обертається 2 з позитивним зарядом. Стикаючись з поверхнею барабана, частка 18 заряджається; заряд залежить від її електропровідності. Далі на потік матеріалу впливає електростатичне поле, утворене барабаном і негативно зарядженим електродом 7. Неоднаково заряджені частинки по-різному поведуться в електростатичному полі: частинки з більшою електропровідністю надходять у приймальний лоток 6, а з меншою – в лоток 5, прийнятих частинок барабан очищається щіткою 3 вони потрапляють в лоток 4» [9].

«Поділ у полі коронного розряду (рис. 1.4 б) протікає в наступній послідовності. Між коронуючим 8 і перфорованим 9 електродами при високій напрузі виникає електричний розряд, що іонізує повітря. Частинки, що надходять в іонізоване середовище, отримують різний заряд і завдяки цьому відхиляються на різний кут: частинки з меншою електропровідністю надходять у лоток 6, з більшою в лоток 5, з ще більшою в лоток 4» [9].

«Діелектричний метод поділу (рис. 1.4 в) застосовують для зернових сумішей. Обертається барабан, який являє собою ізолятор 11, на який намотані в один шар перпендикулярно його осі обертання два ізольованих провідника 10 з полярністю, що чергується (біполярна обмотка). Між цими

провідниками утворюється електричне поле, що поляризує розташовані між ними частинки» [9].

«Поляризовані частинки, взаємодіючи із зовнішнім полем, притягуються до барабана. Сила взаємодії залежить від діелектричної проникності частинок. При меншій проникності частка раніше відривається від поверхні барабана, а за більшої – пізніше. Перші надходять у лоток 6, а другі – у лотки 4 та 5. Електричними методами можна очистити зерновий матеріал від домішок, пророслого та дефектного насіння, виділити з насіння кукуль, вівсюга та інші бур'яни» [9].

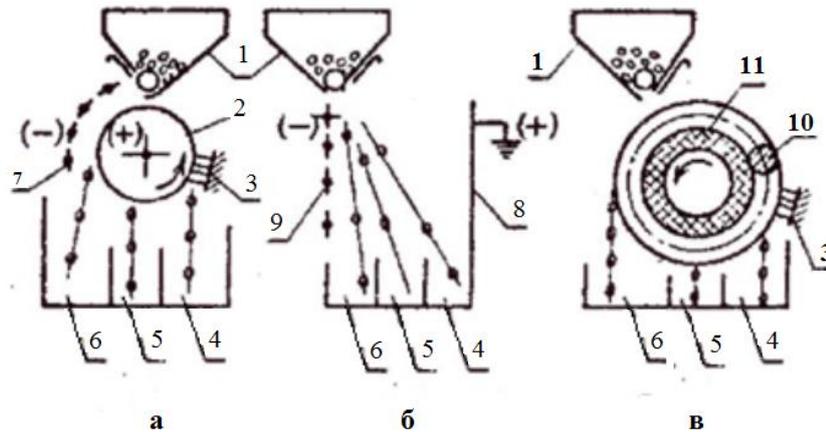


Рисунок 1.4. Схеми пристроїв для поділу матеріалу за електричними властивостями: а – в електростатичному полі; б – у полі коронного розряду; в – у діелектричній проникності; 1 – бункер; 2 – барабан; 3 – шітка; 4, 5 та 6 – лотки; 7 – електрод, негативно заряджений; 8 – електрод коронуєчий; 9 – перфорований електрод; 10 – обмотка біфілярна; 11 – ізолятор

### 1.3. Аналіз досліджень процесів трієрного очищення зерна

«Для видалення домішок, що відрізняються від зерен основної культури за довжиною, на елеваторах і зернопереробних підприємствах використовують спеціальні машини – трієри. Вони бувають двох типів: циліндричні та дискові.

Їх класифікацію подано на рисунку 1.5.

«Циліндричний трієр (рис. 1.6) складається зі циліндра, виготовленого із сталі, на внутрішній поверхні якого розташовані штамповані комірочки та шнека, що знаходиться у жолобі. Під час обертання циліндра короткі зерна потрапляють у комірочки й розміщуються в них глибше, ніж довгі. У процесі подальшого обертання дані зерна випадають із комірок пізніше, потрапляють у жолоб і видаляються з машини за допомогою шнека». [16]

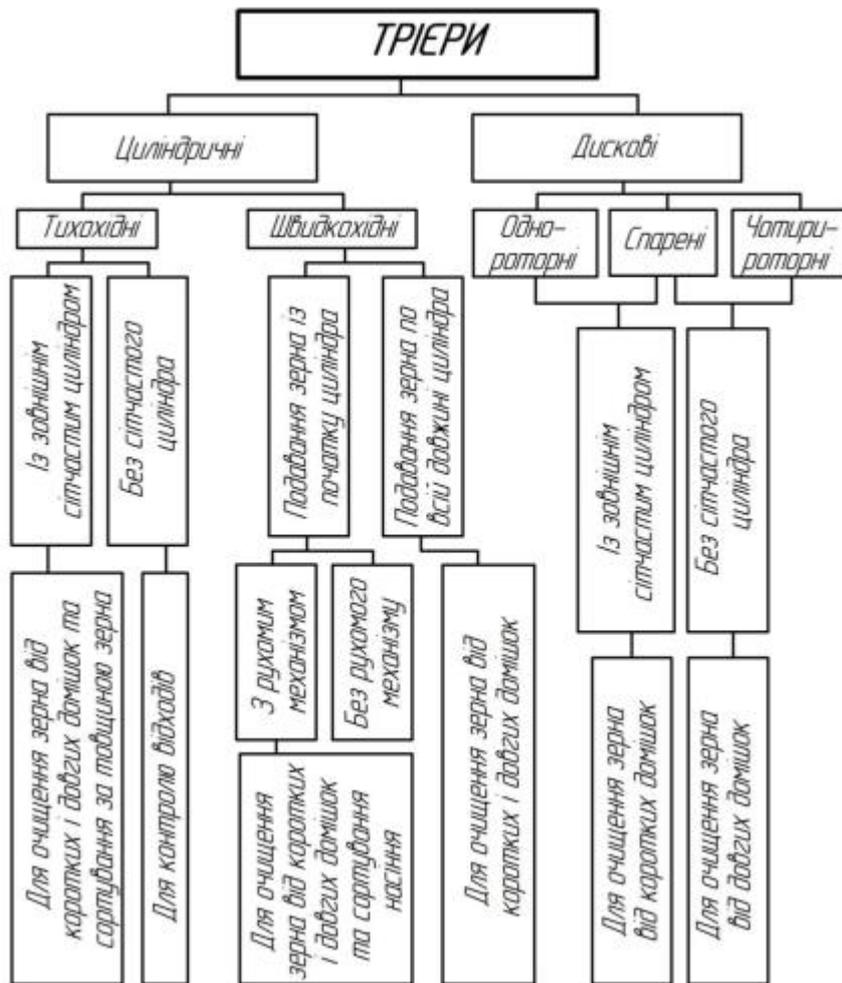


Рисунок 1.5. Класифікація трієрів

«У дисковому трієрі комірки розміщені на поверхні чавунних дисків. Під час їх обертання короткі зерна потрапляють у дані комірки, а потім випадають у жолобки, звідки видаляються з машини.

До дискових трієрів належать машини марок А9-УТК та А9-УТО.» [16]

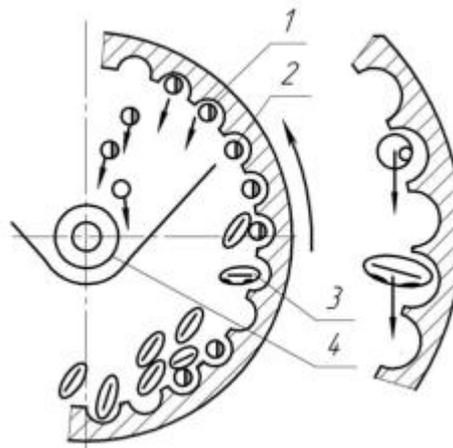


Рисунок 1.6. Принцип роботи циліндричного трієра: 1 – комірчаста поверхня трієра; 2 – коротка домішка; 3 – зерно основної культури; 4 – жолоб для домішок.

Конструкція циліндричного трієра, що обертається, з комірками на внутрішній поверхні була розроблена ще в середині 19 століття. Однак перші трієри були тихохідними, громіздкими, мали низьку продуктивність та застосовувалися вони дуже рідко [8]. Поряд із низькою продуктивністю циліндричних трієрів суттєвою проблемою було складність технології виготовлення комірчастих циліндрів. При їх згортанні змінювалась форма та розміри отворів.

Звична конструкція циліндричного трієра, що включає горизонтальний комірчастий циліндр, співвісно розташований похідний жолоб з шнеком та електропривод, що забезпечує кінематичний режим роботи трієра в діапазоні  $k = 0,51 - 0,73$ , була розроблена в 20-х роках минулого століття і не зазнала серйозних змін.

Увага вчених була спрямована на вдосконалення елементів конструкції трієра, його режимів роботи та підвищення продуктивності.

Багато вчених присвятили свою роботу з вивчення руху зерна по внутрішній поверхні циліндра, розглядаючи зернівку, як матеріальну точку та приймаючи у своїх працях ряд припущень [9-11]. Дані дослідження мають теоретичний інтерес, який вносить значний вклад у теорію циліндричного трієра, проте далекі від реального процесу, коли частинки зернового матеріалу мають складну форму і рухаються в циркулюючому потоці.

Винахідники здійснили багато спроб інтенсифікувати роботу циліндричного трієра за рахунок вдосконалення форми комірок. Авторами встановлено умови захоплення частинок осередками трієрного циліндра з врахуванням співвідношення розмірів частинки кулястої форми та глибини осередку. [11-12]

При дослідженнях процесу переміщення авторами розглянуто випадки, коли при повороті циліндра на певний кут частка випадає з комірки шляхом ковзання, перекидання через її задню стінку або змішаного вигляду. Запропоновано ряд рівнянь, що описують дані процеси, проте їх практичне застосування обмежене через неоднорідність фізико-механічних властивостей зернівок.

«Були зроблені спроби розробки та досліджень конструкцій з кінематичним режимом  $k > 1$ . Їхня роботоздатність досягалася за рахунок примусового видалення захоплених частинок із осередків. У трієрі, розробленому Сидоровим І.А. короткі частинки видаляються у верхній частині циліндра повітряним потоком, що проходить крізь отвори в комірках, рис. 1.7.» [13].

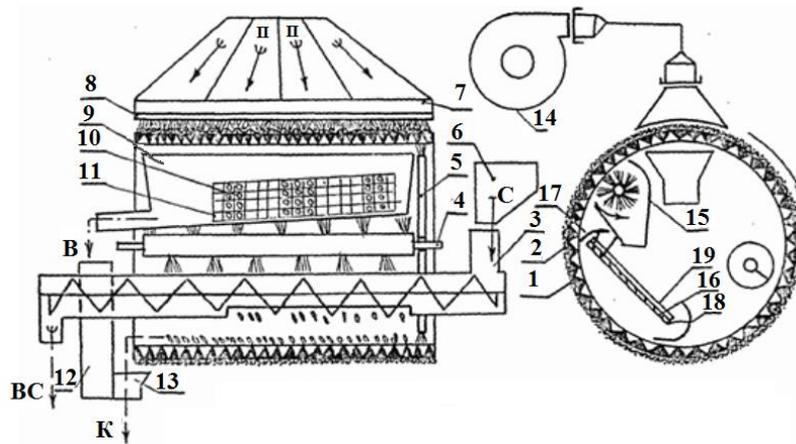


Рисунок 1.7. Лабораторний трієр із примусовим видаленням коротких домішок: П – повітря; В – відходи; С – суміш; К – основна культура; ВС – надлишки вихідної суміші; 1 – циліндр; 2, 11 – решітка; 3 – шнек; 4 – відбивач; 5 – діафрагма; 6 – бункер; 7 – повітряпровід; 8 – сітка; 9 – жолоб; 10 – отвори; 12, 13 – вихід фракції; 14 – вентилятор; 15 – кожух; 16 – похила дошка; 17 – знімач верхнього шару суміші; 18 – напрямляч; 19 – планка.

Шмигель В.В. та ін. запропонували трієр, що включає замкнуту робочу поверхню, виконану у вигляді вертикально встановленої нескінченної стрічки з поперечними ребрами-поличками.

Трієр (рис. 1.8) складається з завантажувального бункера 1 з вузьким соплом 2 для подачі насіння на поличку 3, закріплену на нескінченній стрічці 4, натягнуту на заземлені барабани 5. Полички на нескінченній стрічці заземлені через барабани металевим тросом. Ширину поличок можна порівняти з шириною насіння. Однорідне електростатичне поле утворюється між закритим діелектричним прошарком 6 плоским електродом 7 до якого підведена напруга від високовольтного випрямляча. До сопла 2 бункера 1 закріплена вертикальна пластина 8 з ізоляційного матеріалу. Під поличкою 3 по всій ширині встановлений вигнутий екстрактор 9 з ізоляційного матеріалу. Довге насіння потрапляє в бункер 10, а коротке – в бункер 11.

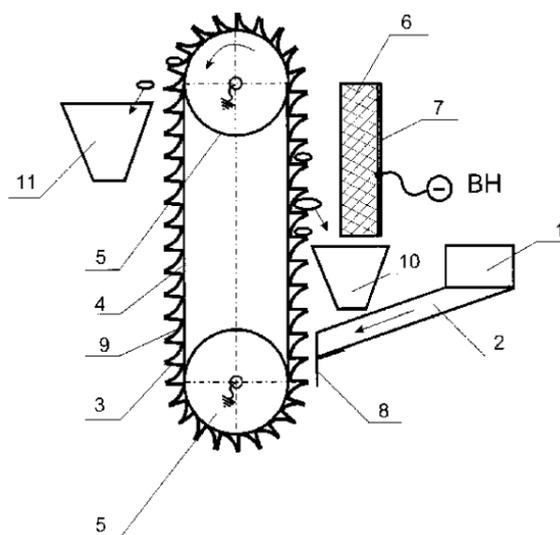


Рисунок 1.8. Трієр конструкції Шмигалья В.В.: 1 – завантажувальний бункер; 2 – сопло; 3 – полички; 4 – стрічка; 5 – заземлені барабани; 6 – діелектричний прошарок; 7 – електрод; 8 – вертикальна пластина; 9 – вигнутий екстрактор; 10, 11 - бункера.

Запропонований Кузнецовим В.В. циліндричний трієр (рис. 1.9) включає комірчастий циліндр, опорні ролики, приводні подаючі ролики і вивідний шнек, поворотний лоток, живильний лоток, вивідний кінець якого виконаний по дузі кола, концентричної поверхні пористого диска, робоча поверхня живильного лотка розділена ребордами на поздовжні канали з можливістю регулювання відстані між ребордами гвинтовими механізмами.

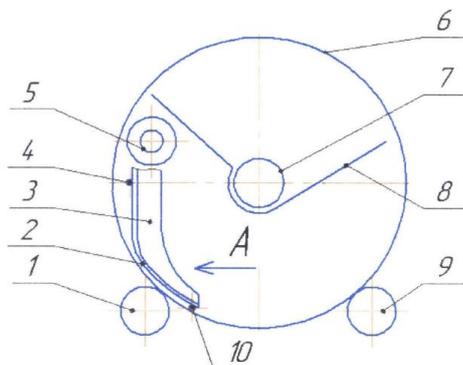


Рисунок 1.9. Циліндричний трієр за конструкцією Кузнецова В.В.; 1 – опорні ролики; 2 – живильний лоток; 3 – реборда; 4, 10 – гвинтові механізми; 5 – подаючий шнек; 6 – циліндр; 7 – вивідний шнек; 8 – поворотний лоток; 9 – приводні ролики.

Робота циліндричного трієра здійснюється таким способом. З зовнішнього живильного бункера, зерновий ворох надходить у подаючий шнек 5, звідки, через щілину в кожусі, потрапляє в живильний лоток 2, заповнюючи канали між ребордами 3. Рухаючись каналами лотка 2 з регульованою для кожної культури шириною, компоненти вороху змінюють

своєю поздовжню віссю перпендикулярно поздовжньої осі циліндра 6, що підвищує ймовірність заповнення кожного осередку і таким чином збільшується продуктивність процесу очищення.

Запропонований М.В. Туаєвим та Є.Л. Сосновським осередок трієра (рис. 1.9) незначно відрізняється від осередків класичного циліндричного трієра, але її змінена форма забезпечує повне западання в комірці коротких частинок суміші та виключає вплив щіток відбивача на частинки при будь-якому їх розташуванні, завдяки чому зростає продуктивність трієра (рис. 1.10), виключаються втрати зерна у відходи та заклинювання довгих частинок у комірках, що підвищує якість поділу суміші на фракції [14].

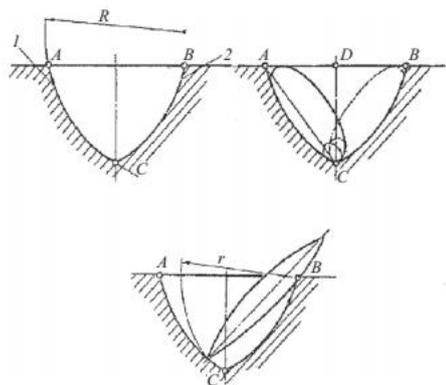


Рисунок 1.9. Осередок трієра та розташування в ній коротких та довгих частинок: 1 – передня стінка комірки; 2 – задня стінка осередка; С – точка максимальної глибини; А і В – точки кромки осередку.

При високій швидкості обертання трієрного циліндра (рис. 1.9) випадання захоплених частинок відбувається примусово за рахунок впливу на них пристосування для очищення пористої поверхні у вигляді стрижневих штовхачів, розміщених в отворах осередків і з механізмом повернення.

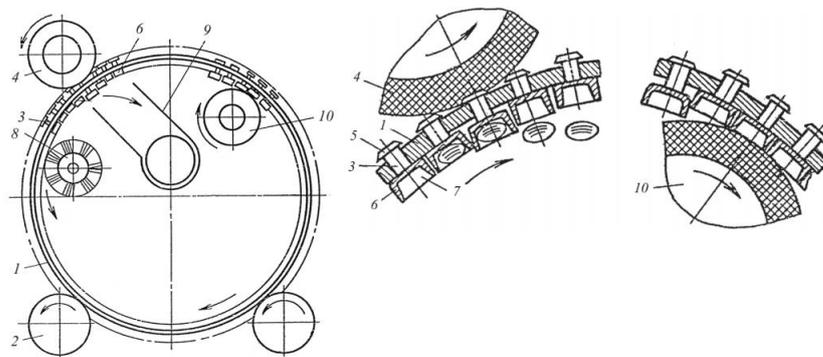


Рисунок 1.10. Циліндричний трієр Є.Л. Сосновського: 1 – перфорований циліндр; 2 – опорні ролики; 3 – штовхач; 4, 10 – натискні валки; 5 – зовнішній обмежувач; 6 – внутрішній обмежувач; 7 – осередки; 8 – щітки; 9 – приймальник коротких домішок.

Усі спроби створення високошвидкісних трієрів з метою збільшення продуктивності призводять до значного ускладнення та подорожчання конструкції, зниження технологічної надійності роботи трієра. У зв'язку з вищевикладеним основний резерв підвищення ефективності трієрного

очищення зерна ми бачимо у встановленні раціональних параметрів та режимів трієра класичної конструкції.

#### **1.4. Висновки по першому розділу**

Існуючі технологічні комплекси, що традиційно застосовуються на сільськогосподарських підприємствах, не забезпечують високих вимог щодо вмісту домішок, що пред'являються до продовольчого зерна та особливо до посівного матеріалу через низький технічний рівень зерноочисної техніки, високу засміченість полів, недостатній рівень працівників.

За наявності у свіжоприбраному зерновому воросі важковіддільних домішок, відрізняються від зернівок основної культури довжиною, отримати якісний посівний матеріал можливо лише із застосуванням трієрного очищення.

Сучасні виробники сільськогосподарської техніки пропонують широкий вибір зерноочисних машин різних типів, у тому числі трієрних блоків. Однак у технічній документації немає регламентів їх налаштування та регулювання з урахуванням якості процесу очищення.

Для забезпечення ефективної експлуатації трієрних блоків недостатньо знань про процеси поділу компонентів зерносумішей пористими поверхнями, а також відсутні дослідження з динаміки виділення короткого насіння бур'янів і колотих частинок основної культури циліндричним трієром з ячменю.



Характеристики нормальних розподілів товщини та довжини компонентів зерна наведені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Характеристики розмірів компонентів зерна

Насіння	Товщина, мм		Довжина, мм	
	b	x	l	y
Ячмінь	2,74	2,49-2,88	8,36	7,75-8,42
Сорго	2,28	2,24-2,51	10,34	9,61-11,27
Вика	2,02	1,76-2,26	10,65	9,42-11,86

Математичну модель, що описує технологічний процес очищення насіння ячменю від домішки за сукупністю розмірів – товщині  $b$  і довжині  $l$  можна подати в вигляді наступного виразу:

$$T = \left(\frac{b-b_c}{x_c}\right) + \left[1 - \left(\frac{b-b_c}{x_c}\right)\right] \times \left[1 - \left(\frac{l-l_c}{y_c}\right)\right], \quad (2.1)$$

де  $b_c$ ,  $x_c$  – середнє значення і середнє квадратичне відхилення товщини домішок;

$l_c$ ,  $y_c$  – середнє значення і середнє квадратичне відхилення довжини зернівок сорго;

$b$ ,  $l$  – параметри розподілу зерна по товщині і довжині.

Частку очищеного насіння після такої обробки зернового матеріалу можна визначити за виразом (2.2):

$$B = 1 - \left(\frac{b-b_{cp}}{x_{cp}}\right), \quad (2.2)$$

де  $b_{cp}$ ,  $x_{cp}$  – характеристики товщини насіння ячменю.

Вміст домішки в очищеному матеріалі можна визначити за формулою (2.3):

$$D = \frac{D_0(1-T)}{B}, \quad (2.3)$$

де  $D_0$  – засміченість вихідного зерна насінням сорго, шт/кг.

При розгляді зерноsumіші із представлених компонентів основною культурою є ячмінь, а домішками – сорго та вика. Для встановлення можливості поділу компонентів зерноsumіші та оцінки ймовірної якості

процесу очищення необхідно побудувати спільно варіаційні криві однойменних розмірних ознак для трьох компонентів зерноsumіші.

Для цієї мети використовуємо теоретичні криві нормального розподілу, які найбільш точно відбивають властивості відповідних об'єктів, що розглядаються.

Зміна товщини та довжини насіння ячменю та домішок (сорго та вики) наведені на рис. 2.2 та 2.3.

Дрібне насіння сорго можна також виділити з основного матеріалу за поперечним розміром як дрібні домішки, а великі зернівки сорго, що залишилися – як довгі домішки в пористому сепараторі з отворами 11,2 мм.

Варіаційні криві насіння ячменю та домішок по довжині не перекриваються (рис. 2.3), і виходячи з цього, дана домішка може бути видалена з насінневого матеріалу як коротка домішка в сепараторі. Максимальна довжина насіння пшениці сягає 7,2-7,6 мм. Поділ насіння за вказаною довжиною може бути здійснено в сепараторі з отворами 8,0-8,5 мм.

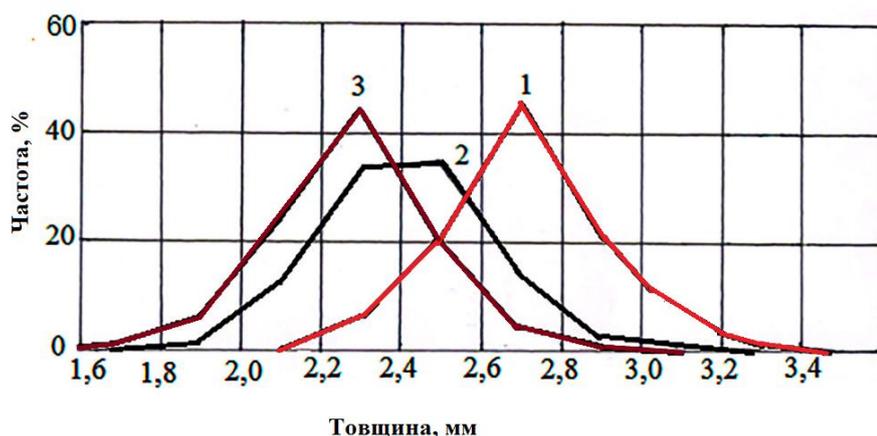


Рисунок 2.2. Варіаційні криві насіння ячменю та домішок за товщиною: 1 – ячмінь; 2 – вика; 3 – сорго.

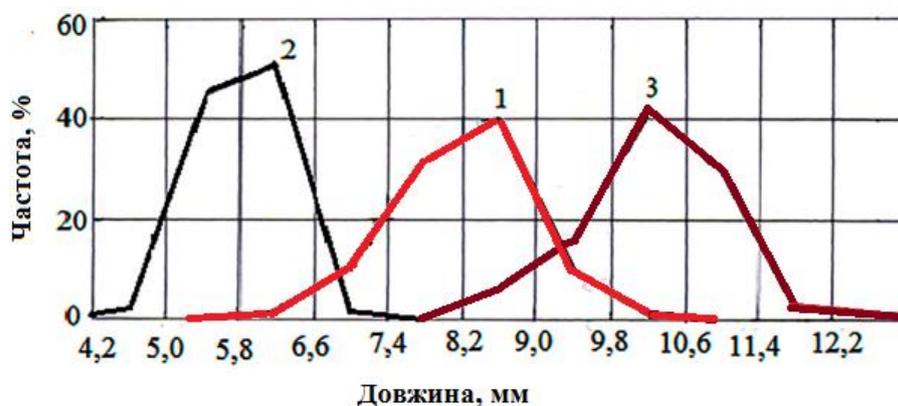


Рисунок 2.3 Варіаційні криві насіння ячменю та його домішок за довжиною: 1 – ячмінь; 2 – вика; 3 – сорго

У типових зерноочисних агрегатах найбільш поширені куколевідбірні трієрні циліндри з діаметром осередків, рівним 4,5 мм та 5,0 мм. З рис. 2.4

видно, що трієром з отворами  $d_{\text{я}} = 5,0$  мм можна повністю очистити ячмінь від сорго, але не можна відокремити вику. Трієр з  $d_{\text{я}} = 4,5$  мм можна відокремити 85,3% частинок вівса від ячменю.

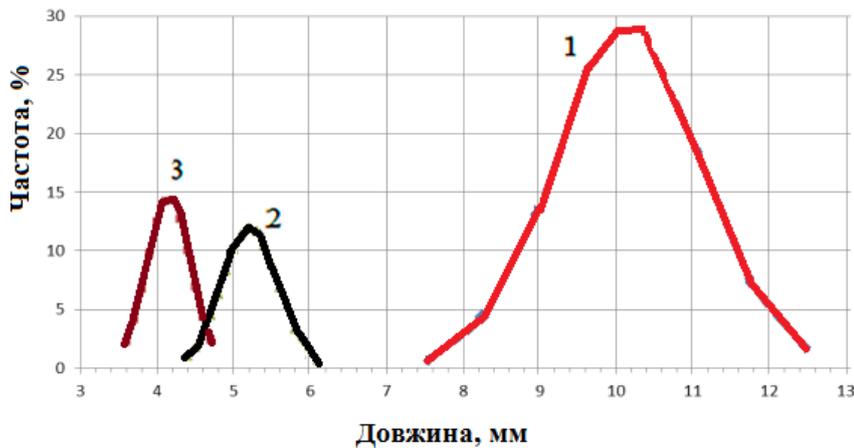


Рисунок 2.4. Співвідношення довжини частинок ячменю, вівса та вики.

З рис. 2.4 видно, що відокремити ячмінь повністю від сорго та вики можливо за ознакою довжини частинок за допомогою трієра. При цьому в діапазоні довжини від 6,2 до 7,5 мм поділ можливий без втрат основної культури та з повним виділенням домішок. Даному діапазону відповідають трієри з типовими діаметрами отворів, рівними 6,3 мм та 7,1 мм [16]. За їх використання можна досягти найкращих результатів з очищення ячменю від сорго та вики.

## 2.2. Обґрунтування режимів роботи та параметрів обладнання для очищення зерна

Існуючі стенди [17] для досліджень процесів трієрного поділу зерноsumішей, представляють собою складне обладнання, робочий процес яких трудомісткий та потребує використання значних мас зерноsumішей.

З метою спрощення конструкції та скорочення трудомісткості розроблено компактне обладнання для поділу проб зерноsumішей та досліджень трієрних процесів.

До основних параметрів обладнання вибрано величину діаметра циліндра  $D = 0,3$  м і довжини циліндра  $L = 0,3$  м, при яких забезпечується величина кута нахилу  $\beta = 30^\circ$ , що цілком достатньо для безперервного виведення потоку домішок, що надходять у лоток з деякою початковою кінетичною енергією.

Схема даного обладнання наведена на рис. 2.5.

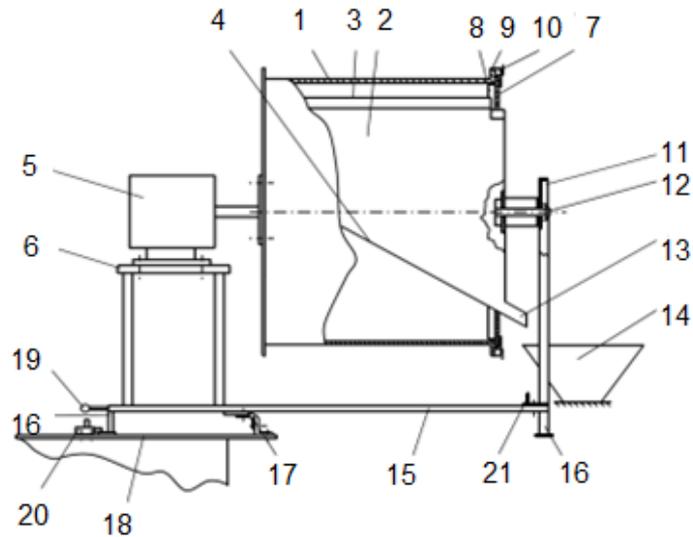


Рисунок 2.5. Конструктивно-технологічна схема обладнання на дослідження процесів трієрного очищення ячменю: 1 –комірчастий циліндр, 2 – лоток, 3 – робоча поверхня лотка, 4 – днище лотка, 5 – електропривод, 6 – опорний майданчик, 7 – блокуюче кільце, 8 – циліндрична оболонка, 9 – фланець; 10 – фіксатор; 11 – стійка; 12 – гвинт; 13 – вивантажувальна горловина; 14 – приймальна ємність; 15 – рама; 16 – опора; 17 – шарнір; 18 –платформа; 19 – рукоятка; 20 – шпінгалет; 21 – штифт

Прилад працює наступним чином: у комірчастий циліндр 1 завантажують зерноsumіш масою  $m_n$ . Домішки захоплюються осередками і подаються в лоток 2, приєднаний торцевою стінкою до кронштейна рами 15, і скочуються по похилому днищу 3 лотка 2 в ємність 14. Через рівні інтервали часу, контрольовані за допомогою секундоміра, змінюються ємності 14.

Для забезпечення порівнянних умов захоплення та викиду домішок у лоток 2 при зміні розмірів комірчастого циліндра 1 необхідно виконати умову кінематичної подібності процесу [16]:

$$K = \frac{\omega^2 r}{g} = const, \quad (2.4)$$

$K$  – коефіцієнт кінематичного режиму;

$\omega$  – кутова швидкість комірчастого циліндра;

$r$  – радіус циліндра;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $m/c^2$ .

Комірчастий циліндр з  $r = 0,3$  м забезпечує ефективне виділення домішок при кутовій швидкості  $\omega = 4,2$   $c^{-1}$ , коли  $K=0,74$ . Аналогічні прискорення протікання процесу, коли  $r = 0,15$  м, відповідно рівняння (2.4), забезпечується при  $\omega = 5,75$   $c^{-1}$ .

Висота сегменту може бути визначена з рівняння:

$$h = \frac{m}{a \times r \times l \times \rho \times K_p}, \quad (2.5)$$

де  $\rho$  – насипна щільність земноsumіші, кг/м<sup>3</sup>;

$K_p$  – коефіцієнт розуцільнення;

Для оцінки динаміки процесу необхідно визначити число циркулюючих шарів у сегменті, а також кількість частинок основної культури та домішки в шарі, що контактує, при різних значеннях  $m$ ,  $h$ , і  $D_3$ . Діапазон вихідної засміченості прийнятий  $D_3 = 1; 2$  і  $3\%$ , оскільки відповідно [12] існуючі трієрні блоки не забезпечують очищення основної культури до залишкової засміченості  $Z_3 = 0,5\%$  при вихідній засміченості  $D_3 > 3\%$ .

Тоді число шарів в сегментах буде:

$$n_{шс} = \frac{h}{b}, \quad (2.6)$$

де  $b$  – середній поперечний розмір зернівок основної культури –  $2,7$ мм).

Число зернівок основної культури в контактуючих шарах буде розраховуватись за наступною формулою:

$$n_{шс} = \frac{S_{ш}}{n_{зок}}, \quad (2.7)$$

де  $S_{ш}$  – площа контактуючого шару, м<sup>2</sup>;

$n_{зок}$  – число зернівок основної культури, що приходить на 1 м<sup>2</sup>.

Тоді маса  $m$  і число домішок  $n_d$  в контактуючих шарах при різних значеннях  $D_3$  будуть складати:

$$\begin{cases} D_{31} = 1\%; m_1 = 1,26 \text{ г}; n_{d1} = 179 \text{ шт}; \\ D_{32} = 2\%; m_2 = 2,52 \text{ г}; n_{d2} = 358 \text{ шт}; \\ D_{33} = 3\%; m_3 = 3,78 \text{ г}; n_{d3} = 537 \text{ шт}. \end{cases} \quad (2.8)$$

Для оцінки динаміки виділення домішок необхідно спів ставити величину  $n_{d1} = 537$  шт з числом осередків, що взаємодіють з контактуючим шаром у першому циклі виділення ( $n_o$ ). Якщо  $n_o < n_{d\max}$ , тоді крива інтенсивності виділення домішок буде містити горизонтальну ділянку протягом декількох циклів – до вирівнювання  $n_{di}$  до  $n_o$ . Якщо  $n_o > n_{d\max}$ , тоді крива інтенсивності виділення домішок частинок буде безперервно зменшуватись.

Число  $n_o$  визначаємо за формулою:

$$n_o = S_c \times n_{oc}, \text{ шт.} \quad (2.9)$$

де  $n_{oc}$  – густина розміщення осередків на циліндрі, шт./м<sup>2</sup>.

Порівняння  $n_o$  і  $n_{d\max}$  дозволять стверджувати, що крива інтенсивності домішок буде безперервно зменшуватись.

Розрахунки взаємозв'язків поточної залишкової засміченості з числом циклів виділення  $N_{\text{цв}}$  і терміном використання обладнання ( $t$ ) проводили за рівнянням:

$$D_{i+1} = D_i(1 - \sum_1^{i+1} n_{\text{ді}} / \text{Ч}), \quad (2.10)$$

де  $D_{i+1}$  – засміченість зерноsumіші після  $(i+1)$ -го циклу, %;

$n_{\text{ді}}$  – число домішок, виділених в  $i$ -му циклі, шт.;

$\text{Ч}$  – вихідне число частинок в сегменті, шт.

Графічно теоретична динаміка виділення коротких домішок наведена на рис. 2.6.

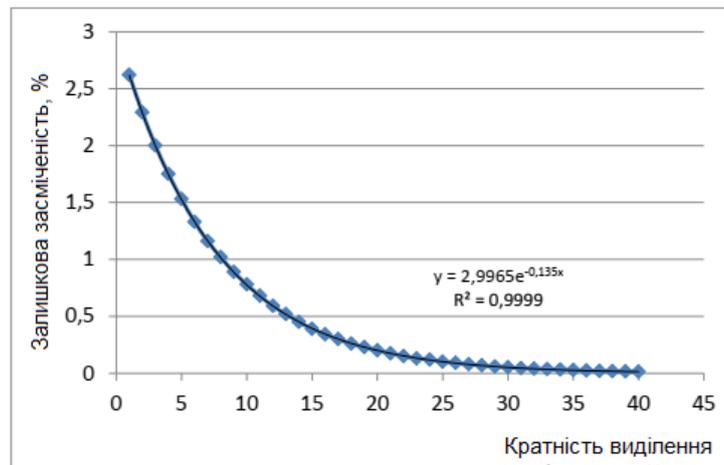


Рисунок 2.6. Теоретична динаміка виділення коротких домішок

### 2.3. Висновки по другому розділу

Обґрунтовані габарити комірчастого циліндра ( $D = 0,3$  м,  $L = 0,3$  м) та кута нахилу лотка  $\beta = 30^\circ$  забезпечують роботу обладнання з пробами масою 1 - 2 кг. Висота сегмента становить 0,024 - 0,048 м. Внутрішній діаметр блокуючого кільця, рівний 0,18 м запобігає випаданню зерноsumіші з пористого. Встановлена теоретична динаміка виділення короткої домішки є безупинно спадаючою.

## РОЗДІЛ 3. РОЗДІЛ 3. УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИДІЛЕННЯ ДОМІШОК ІЗ ЯЧМЕНЮ

### 3.1. Методика дослідження процесу виділення домішок із ячменю

Дослідження виділення коротких домішок з ячменю виконано відповідно до загальновідомих методик [17].

Дослідження процесу трієрного очищення за допомогою стану циклічної дії з розміщенням циліндра на опорних роликах, виявили суттєві обмеження його застосування, пов'язані з недостатньою стабільністю роботи стану та биття циліндра через особливості його конструкції. У зв'язку з цим основна частина досліджень закономірностей процесу трієрного очищення ячменю від коротких домішок виконано за допомогою обладнання для досліджень процесів трієрного очищення.

Схема даного обладнання наведена на рис. 3.1.

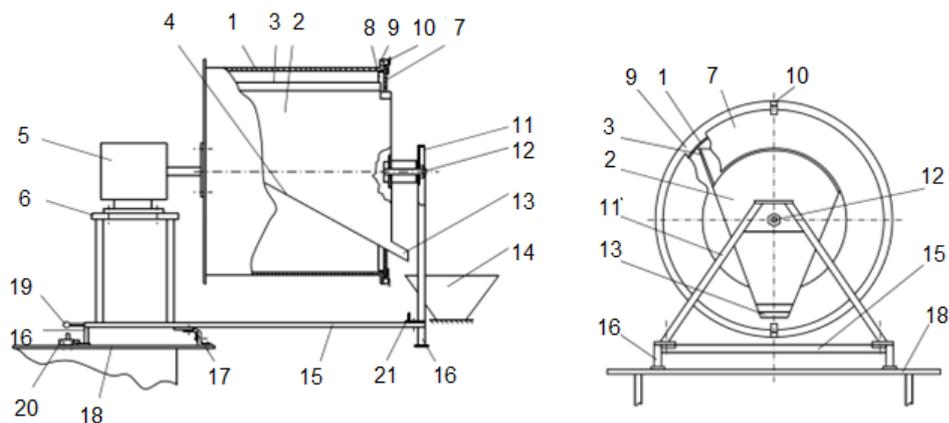


Рисунок 3.1. Конструктивно-технологічна схема обладнання на дослідження процесів трієрного очищення ячменю: 1 –комірчастий циліндр, 2 – лоток, 3 – робоча поверхня лотка, 4 – днище лотка, 5 – електропривод, 6 – опорний майданчик, 7 – блокуюче кільце, 8 – циліндрична оболонка, 9 – фланець; 10 – фіксатор; 11 – стійка; 12 – гвинт; 13 – вивантажувальна горловина; 14 – приймальна ємність; 15 – рама; 16 – опора; 17 – шарнір; 18 –платформа; 19 – рукоятка; 20 – шпінгалет; 21 – штифт

Обладнання для процесу трієрного очищення ячменю працює наступним чином: у комірчастий циліндр 1 завантажують зерноsumіш масою  $m$ . Домішки захоплюються осередками і подаються в лоток 2, приєднаний торцевою стінкою до кронштейна рами 15, і скочуються по похилому днищу 3 лотка 2 в ємність 14. Через рівні інтервали часу, контрольовані за допомогою секундоміра, змінюються ємності 14.

Як дослідження факторів, що впливають на якісні показники процесу, були прийняті маса ( $m$ ), частота обертання ( $n$ ) комірчастого циліндра, кутове положення ( $\gamma$ ) верхньої кромки передньої стінки вивідного лотка, вихідний вміст домішки в зерноsumіші перед початком досліду. Діапазони та рівні варіювання досліджуваних факторів наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Досліджувані фактори, діапазони та інтервали їх варіювання

Найменування факторів	Умовне позначення	Діапазон варіювання	Інтервал варіювання
Частота обертання циліндра, хв. <sup>-1</sup>	$n$	40-55	5
Кутове положення лотка, гр.	$y$	35-65	10
Засміченість зерноsumіші, %	$D_i$	1-3	1
Маса, кг	$m$	0,75-1,30	0,25

Перед початком досліду встановлювалися задані настроювальні та режимні параметри роботи. Після цього в пористий циліндр завантажуються окремо компоненти зерноsumіші: основна культура (ячмінь) та один із домішкових компонентів. Для ефективного перемішування зерноsumіші всередині циліндра короткочасно включається електропривод на низьких значеннях швидкості обертання для запобігання можливості випадання частинок у приймальний лоток. Дослід проводився через 10 секунд, що визначає тривалість відповідних інтервалів часу вимірювання.

Після закінчення досліду із проб виділялися частки основної культури та домішки, компоненти зважувалися на електронних вагах ВК-600 з точністю до 0,01 г. При малій кількості частинок їхня маса визначалася за допомогою показника маси 1000 насінин відповідної культури.

При обробці отриманих даних визначалися залишкова засміченість ( $D_0$ ) зерноsumіші всередині комірчастого циліндра та ступінь виділення ( $C$ ) домішки після кожного інтервалу часу вимірів та по закінченню всього часу досліду:

$$D_0 = \frac{D_B \times \frac{m_3}{100} - \sum_{i=1}^n m_d}{m_3} \times 100\% \quad (3.1)$$

де  $D_B$  – вихідний вміст домішки в зерновій суміші, задане умовами досліду, %;

$m_3$  – маса навіски в циліндрі до початку досліду;

$m_d$  – маса домішки, виділена в  $i$ -й інтервал тривалості вимірювання.

Ступінь виділення домішки у відсотках визначали за такою формулою:

$$C_{вд} = \frac{\sum_{i=1}^n m_d \cdot 10^4}{D_0 \times m_3} \quad (3.2)$$

За розрахованими значеннями ступеня виділення домішок та залишкової засміченості зерноsumіші встановлюються закономірності якісних показників

трієрного очищення ячменю від коротких домішок залежно від впливу досліджуваних факторів.

### 3.2. Дослідження процесу виділення домішок з ячменю

Властивості колотих зернівок збігаються з властивостями частинок основної культури за винятком їхньої довжини ( $l = 4,8$  мм). Динаміка інтенсивності виділення колотих зернівок ячменю, представлена на рис.3.2. Домішки в циркулюючих шарах рівномірно розподіляються; вміст домішок у циркулюючому сегменті зменшується; переміщені частинки, що знаходяться в контактуючому шарі, виділяються за 1 цикл.

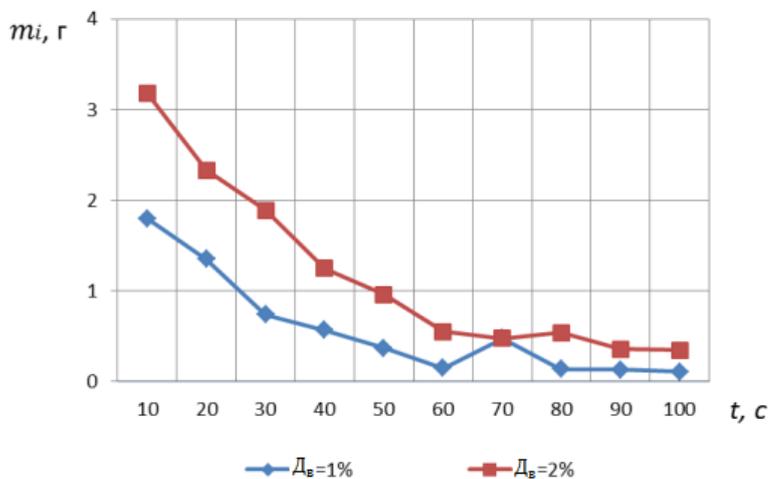


Рисунок 3.2. Динаміка інтенсивності виділення колотих зернівок ячменю при  $n=40$  об/хв і  $\gamma=35^\circ$ .

$$D_i = D_v \left(1 - \sum_{1=1}^k n_d / D\right) \quad (3.4)$$

де  $D_i$  – засміченість сегмента після  $i$ -го виділення домішки, %;

$D_v$  – вихідна засміченість зерноsumіші, %;

$k$  – число циклів, шт;

$n_d$  – число домішок, виділених в  $i$ -му циклі, шт.;

$D$  – вихідне число домішок в сегменті, шт.

Аналіз динаміки виділення колотих зернівок ячменю дозволив встановити, що залишкова забруднення зерноsumіші навіть після закінчення часу в 100 с, яке в 1,8 рази перевищує тривалість процесу за стандартному куколевідбірному циліндрі становить 0,42%. Це вище допустимих значень навіть за  $D_i=1\%$ . На стандартній довжині комірчастого циліндра залишкова засміченість ще вище ( $D_v=0,503\%$ ) за ступенем виділення  $S_v=49,5\%$ .

Очищення зерноsumіші з колотими зернівками ячменю із  $D_i=2\%$  забезпечує порівняльні значення ступеня виділення домішки за часом процесу у стандартному куколевідбірному циліндрі –  $S_v=48\%$ , наприкінці

періоду  $t=100$  с, ступінь виділення  $S_v \approx 58\%$  в обох варіантах вихідної засміченості – у першому  $S_v=58,3\%$ , а у другому  $S_v = 57,8\%$ . Однак залишкова засміченість зерноsumіші при  $D_i=2\%$  становить  $1,03\%$ , що приблизно в 2 рази вище, ніж у першому випадку – при  $D_i = 1\%$ .

У цьому полягає принципова відмінність зерноsumішей з колотими частинками основної культури від зерноsumішей з домішками, що легко виділяються (насіння гірчиці, проса, сорго, вики).

Однак з рис. 3.2 можна помітити, що на початкових інтервалах часу вимірювання співвідношення абсолютних значень виділених домішок  $< 2$ . Це пояснюється переважанням ефекту «видалення» домішок із комірок на зазначених проміжках часу протікання процесу  $D_i=2\%$  у порівнянні з умовами, коли  $D_i=1\%$ .

Взаємозв'язок динаміки виділення колотих зерновок ячменю з основної культури зі швидкісним режимом роботи представлено рис. 3.3, з якого видно, що приріст маси виділеного домішкового компонента із зерноsumіші за перший інтервал часу  $t = 10$  с зі збільшенням від 40 до 50 об/хв  $n$  склав  $240\%$ . У наступних інтервалах часу протікання процесу співвідношення виділяємої маси.

Значна різниця  $m_i$  у першому інтервалі при максимальному збільшенні швидкісного режиму роботи пояснюється зростанням повноти охоплення більшої частини викиду домішок крайом вивідного лотка. Однак, навіть при  $n=55$  об/хв і  $\gamma=35^\circ$  за  $t=100$  с домішок виділяються із зерноsumіші лише на  $89\%$ , це пояснюється тим, що середня довжина домішок частинок ( $l=5,1$  мм) перевищує розмір осередків. При цьому збільшується ймовірність раннього випадання частинок осередків та розширення кута охоплення факела їх викиду. Ефект інерційного утримання часток зі зростанням  $n$  не дозволяє компенсувати розширення факела викиду через їх лінійні розміри.

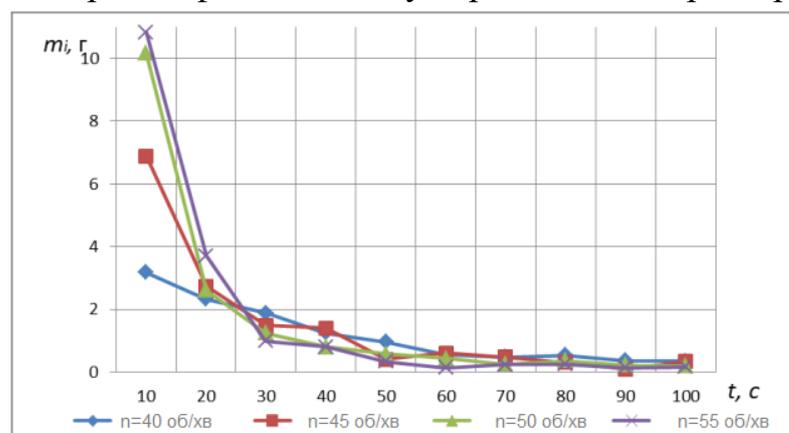


Рисунок 3.3. Взаємозв'язок динаміки виділення колотих зернівок ячменю з основної культури зі швидкістю ( $n$ ) обертання барабана при  $\gamma=35^\circ$ ;  $m=1000$  г;  $D_i=2\%$ .

Ще більша динаміка виділення колотих зернівок ячменю з зерноsumіші отримано при збільшенні  $n$  до  $55^\circ$ , рис. 3.4.

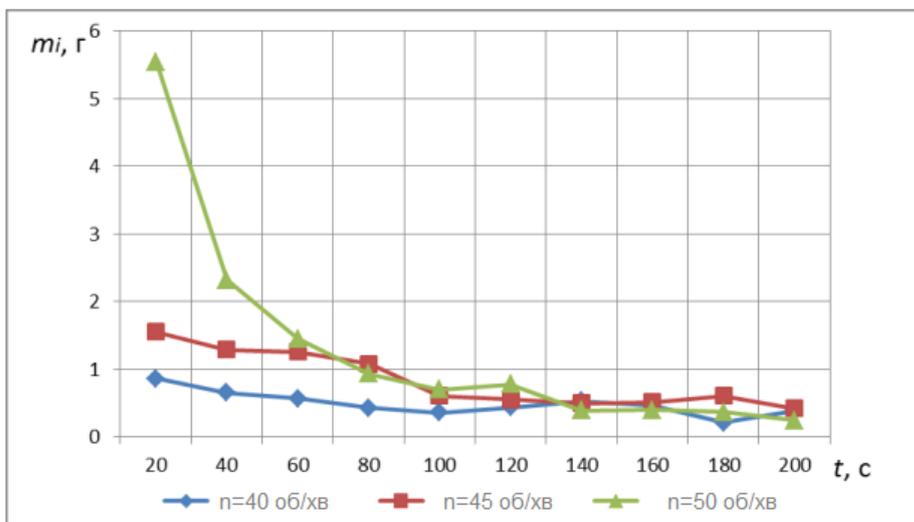


Рисунок 3.4. Динаміка виділення колотих зернівок ячменю з основної культури зі швидкістю ( $n$ ) обертання барабана при  $\gamma=55^\circ$ ;  $m = 1000$  г;  $D_i = 2\%$ .

Збільшення швидкісного режиму до 50 об/хв призводить до зростання маси виділених домішок у першому інтервалі часу  $t=30$  с у 6,44 рази (від 0,87 до 5,53 г).

Очевидно, що швидкісний режим роботи  $n=40$  об/хв при  $n=55^\circ$  недостатній. Тому на стандартній довжині циліндра виділяється тільки 7,1% маси домішки. За період часу  $t=180$  с, що еквівалентно перебігу процесу в циліндрі довжиною 7,2 м, виділяється 24,6% домішок. Зі зростанням  $n$  до 50 об/хв ступінь виділення домішок підвищується незначною мірою, на стандартній довжині ( $l=2,2$  м) циліндра вона склала 20,4% при  $C_{вд}=1,56\%$ , що задовольняє вимогам до якості процесу.

Слід відзначити, що при швидкісному режиму роботи  $n=40$  об/хв відповідає режим роботи циліндричного трієра  $n=28,4$  об/хв і коефіцієнт кінематичного режиму  $k_1=0,27$ . Це нижня межа швидкісного режиму роботи циліндричного трієра. Однак і при  $n=50$  об/хв ( $n=35,3$  об/хв;  $k_3=0,42$ ) необхідний ступінь виділення колотих зернівок ячменю не досягається. Подальше збільшення частоти обертання призводить до зростання технологічних втрат.

### 3.2.1. Динаміка та якість виділення насіння вики із зерноsumіші

У попередньому підрозділі наведено результати фізико-механічних та гранулометричних властивостей насіння вики: маса 1000 зернівок  $m_{1000} = 58$  г, кут нахилу  $\alpha = 30^\circ$ , діапазон довжин зернівок  $l = 4,3...5,8$  мм; діапазон

ширини зернівок = 4,5 - 5,6 мм; діапазон товщини зернівок  $h = 3,7-4,8$  мм. Середньозважені значення  $l = 5,2$  мм;  $v = 5,2$  мм;  $h = 4,2$  мм.

Були виділені зернівки вики з лінійними розмірами  $< 4,5$  мм за допомогою стандартного класифікатора. При цьому зберігалися умови для оцінки процесу трієрного виділення із зерноsumіші домішки зі специфічними властивостями: еліпсоїдна форма; гладка поверхня; лінійні розміри, які можна порівняти з розмірами осередків трієрного циліндра.

Динаміка виділення насіння вики з ячменю на мінімальному  $\gamma = 35^\circ$  та різних швидкісних режимах роботи показана на рис. 3.5.

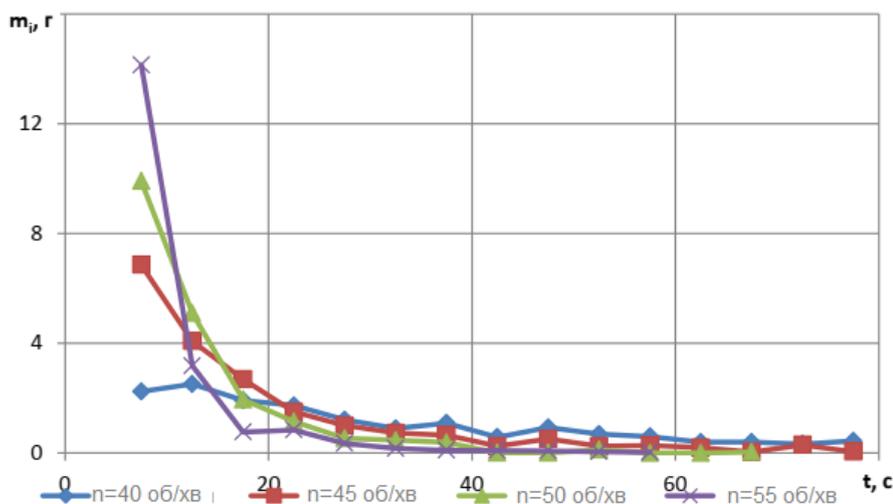


Рисунок 3.5. Виділення насіння вики при  $\gamma = 35^\circ$ ;  $m = 1000$  г;  $D_i = 2\%$ ;  $t = 5$  с.

З рис. 3.5 видно, що характер перебігу процесу з даними домішками у зазначеному вище факторному просторі є ідентичним іншими домішками.

При мінімальній частоті обертання ( $n = 40$  об/хв) навіть за  $\gamma = 35^\circ$  стандартна довжина комірчастої поверхні ( $l = 2,2$  м) не забезпечує достатньої степені виділення домішки –  $C_{вд} = 71\%$ . За такої інтенсивності процесу та вихідної засміченості зерноsumіші  $D_i = 2\%$  залишкова засміченість складає  $Z_3 = 0,56\%$  - неприйнятно високий рівень.

Швидкісний режим  $n=40$  об/хв при  $\gamma=35^\circ$  забезпечує високий рівень якості процесу. Однак із збільшенням  $\gamma$  ці показники різко падають. Результати досліджень процесу виділення зернівок вики із зерноsumіші залежно від  $n$  та  $\gamma$  представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. Взаємозв'язок показників якості процесу виділення зернівок вики і ячменю з режимними і настроєними параметрами ( $n$  і  $\gamma$ ) при  $m = 1000$  г і  $D_i = 2\%$

Швидкісний режим роботи $n$ , об/хв	Показники якості процесу, %	Величина кута, $\gamma$		
		35	45	55
40	$C_{вд}$	71	8,2	1,05
	$D_i$	0,55	1,82	1,78
45	$C_{вд}$	93,4	46,5	8,2
	$D_i$	0,113	1,07	1,82
50	$C_{вд}$	97,4	91,2	18,9
	$D_i$	0,004	0,16	1,62
55	$C_{вд}$	98,9	99,3	76
	$D_i$	0,02	0,013	0,49

З табл. 3.2 видно, що з  $\gamma = 35^\circ$  на трьох швидкісних режимах забезпечується необхідний рівень якості процесу ( $n = 45, 50$  і  $55$  об/хв). У другому варіанті (при  $\gamma = 45^\circ$ ) - тільки на двох швидкісних режимах роботи (при  $n = 50$  і  $55$  об/хв), а третьому варіанті (при  $\gamma = 55^\circ$ ) жоден швидкісний режим робіт не забезпечує необхідний рівень якості процесу.

Це пояснюється тим, що розмірні характеристики насіння вики виключають їхнє стійке розміщення в осередках циліндра, достатнє для збільшення кута викиду.

### 3.2.2. Динаміка та якість виділення насіння сорго із зерноsumіші

Сорго має найбільшу насипну густину ( $\rho = 816$  кг/м<sup>3</sup>) серед досліджуваних компонентів зерноsumішей. Сорго має овальну форму та компактні габарити –  $4,2 \times 3,3 \times 2,3$  м. Ці властивості насіння сорго у поєднанні з високою насипною щільністю зумовлюють їх легковиділеність із зерноsumішей та схильність до динамічного відокремлення в циркулюючих шарах сегмента.

При дослідженні процесів виділення насіння сорго з ячменю передбачалося – виявити вплив на динаміку та якість процесів чотирьох основних факторів; табл. 3.3.

Таблиця 3.3. Діапазони та інтервали варіювання факторів

Найменування факторів	Умовне позначення	Діапазон варіювання	Інтервал варіювання
Частота обертання циліндра, хв. <sup>-1</sup>	n	40-55	5
Кутове положення лотка, гр.	у	35-65	10
Вихідна засміченість, %	Д <sub>i</sub>	1-3	1
Маса, кг	m	0,75-1,30	0,25

Як критерії оцінки динаміки та якості виділення сорго з ячменю використовувалися: маси (m) виділеної домішки за інтервалами часу вимірів (t<sub>i</sub>); тривалість виділення домішки (t<sub>д</sub>); еквівалентна довжина (l<sub>е</sub>) пористої поверхні для виділення домішки до заданого рівня; ступінь виділення домішки на стандартній довжині пористої поверхні (l<sub>ст</sub>=2,2 м); залишкова засміченість при проході зерноsumіші через стандартну довжину поверхні.

Дослідження виконували з використанням приладу для досліджень трієрних процесів, що дозволяє реалізувати тимчасову модель трієрної технології та отримати об'єктивні закономірності протікання процесів поділу зерноsumішей.

На рис. 3.6 показано динаміку виділення насіння сорго з ячменю при оптимальних режимах роботи (n = 55 об/хв, γ = 45°) залежно від величини вихідної засміченості зерноsumіші (Д<sub>i</sub>) через інтервал часу t = 10 с.

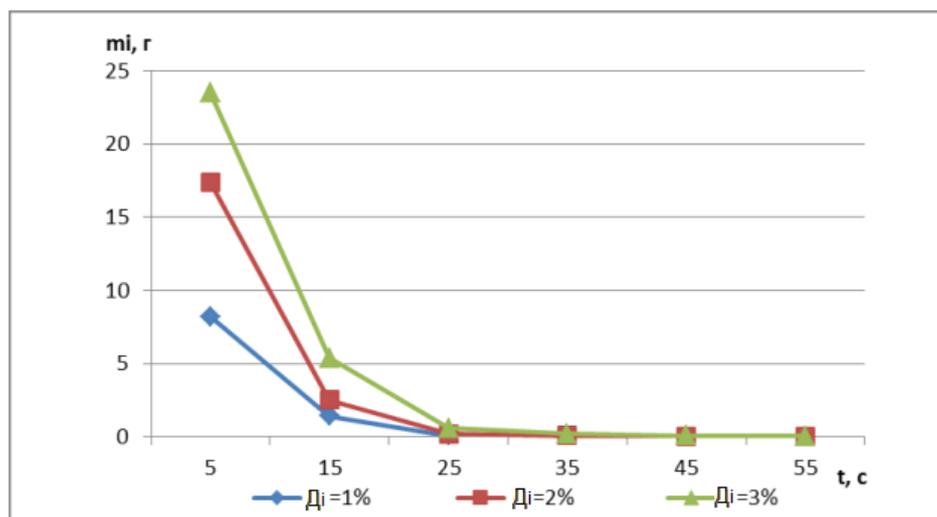


Рисунок 3.6. Динаміка виділення сорго із ячменя при n = 55 об/мин, m = 1000 г і γ = 45° в залежності від t.

З рис. 3.6 видно, що інтенсивність виділення домішок пропорційна величині вихідної засміченості (Д<sub>i</sub>). У першому інтервалі числовому ряду вихідних концентрацій домішки (1 – 2 – 3) відповідає числовий ряд співвідношень виділених мас домішки (1 – 2,2 – 2,8). У другому інтервалі

часу вимірів ( $t = 10$  с) відповідний числовий ряд співвідношень виділених мас домішки виглядає так: 1 – 1,56 – 3,7. Також було встановлено значний вплив на показники основних факторів – частоти обертання комірчастого циліндра ( $n$ ) та кутового положення вивідного лотка ( $\gamma$ ) щодо горизонтальної площині. Тому на основі дослідів уточнювалися інтервали часу вимірювань ( $t_i$ ) для суттєвих змін поєднань  $n$  і  $\gamma$  з метою забезпечення максимальної повноти виділення домішки ( $m_i$ ) з навішування, що полегшує аналіз та зіставлення результатів досліджень. Хоча різноманітність  $t_i$  ускладнює розрахунок оціночних показників процесу.

Необхідність такого підходу підтверджується широким діапазоном тривалості виділення домішки ( $t$ ) із зерноsumіші при різних режимах та параметрах. Наприклад, при  $n = 50 - 55$  об/хв і  $\gamma = 35 - 45^\circ$  тривалість процесу становить 30 - 55 с залежно від  $m_n$  і  $D_i$ , а при  $n = 40$  об/хв і  $\gamma = 65^\circ$  процес виділення продовжується 400 с.

### 3.3. Висновки по третьому розділу

Інтенсивність виділення домішки залежить від її вихідної концентрації в зерноsumіші, і даний ефект зберігається на всій довжині робочої поверхні. Різниця в інтенсивності виділення домішки залежить від швидкісного режиму роботи та проявляється лише на початкових інтервалах часу, а потім вирівнюється. Ступінь виділення домішки не перевищує 50% на стандартній довжині осередкової поверхні ( $l = 2,2$  м). При  $l = 4$  м та швидкісному режимі роботи  $n = 55$  об/хв  $C_{вд} = 89 \dots 90\%$ .

Технологічні втрати зростають зі збільшенням швидкісного режиму роботи ( $n$ ) і знижуються зі збільшенням кута підйому кромки вивідного лотка: зі збільшенням  $n$  від 40 до 55 об/хв при  $\gamma_n = 35^\circ$  втрати збільшуються в 5 разів; зі збільшенням  $\gamma$  до  $55^\circ$  при  $n = 55$  об/хв технологічні втрати знижуються в 7 раз.

Динаміка виділення насіння вики із ячменю має ідентичний характер з іншими домішками в початковий період протікання процесу, зі збільшенням  $n$  від 40 до 55 об/хв вага виділених частинок в 1-му інтервалі часу замірів зростає в 6 разів. В наступних інтервалах інтенсивність виділення вирівнюється. При цьому  $C_{вд}$  збільшується з 71 до 99,3%.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі розглянуто способи очищення зерна ячменю, а також проведений аналіз досліджень процесів трієрного очищення зерна.

Наявні технологічні комплекси, які традиційно використовуються в сільськогосподарських підприємствах, не здатні забезпечити високі вимоги щодо чистоти зерна, необхідні для продовольчих та особливо посівних потреб. Це зумовлено низьким технічним рівнем зерноочисного обладнання, значною засміченістю полів і недостатньою кваліфікацією працівників.

Автором роботи обґрунтовано режими роботи та параметри обладнання для очищення зерна. Габарити комірчастого циліндра ( $D = 0,3$  м,  $L = 0,3$  м) та кута нахилу лотка  $\beta = 30^\circ$  забезпечують роботу обладнання з пробами масою 1 - 2 кг. Висота сегмента становить 0,024 - 0,048 м. Внутрішній діаметр блокуючого кільця, рівний 0,18 м запобігає випаданню зерноsumіші з пористого. Встановлена теоретична динаміка виділення короткої домішки є безупинно спадаючою.

В роботі представлено дослідження процесу виділення домішок з ячменю, наведена динаміка та якість виділення насіння домішки із зерноsumіші. Інтенсивність виділення домішки залежить від її вихідної концентрації в зерноsumіші, і даний ефект зберігається на всій довжині робочої поверхні. Різниця в інтенсивності виділення домішки залежить від швидкісного режиму роботи та проявляється лише на початкових інтервалах часу, а потім вирівнюється. Ступінь виділення домішки не перевищує 50% на стандартній довжині осередкової поверхні ( $l = 2,2$  м). При  $l = 4$  м та швидкісному режимі роботи  $n = 55$  об/хв  $C_{\text{вд}} = 89 \dots 90\%$ .

Технологічні втрати зростають зі збільшенням швидкісного режиму роботи ( $n$ ) і знижуються зі збільшенням кута підйому кромки вивідного лотка: зі збільшенням  $n$  від 40 до 55 об/хв при  $\gamma_n = 35^\circ$  втрати збільшуються в 5 разів; зі збільшенням  $\gamma$  до  $55^\circ$  при  $n = 55$  об/хв технологічні втрати знижуються в 7 раз.

Динаміка виділення насіння вики із ячменю має ідентичний характер з іншими домішками в початковий період протікання процесу, зі збільшенням  $n$  від 40 до 55 об/хв вага виділених частинок в 1-му інтервалі часу замірів зросла в 6 разів. В наступних інтервалах інтенсивність виділення вирівнюються. При цьому  $C_{\text{вд}}$  збільшується з 71 до 99,3%.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абделієв Д. Д. Науково-практичні основи створення машин для очищення та знепилення зерна при його прийманні та транспортуванні на підприємствах хлібопродуктів [Текст]:. – М., 1994. – 356 с.
2. Авдєєв Н.С. Основи теорії гравітаційних трієрів [Текст] / Н. С. Авдєєв, А. В. Некрасов, Ю. В. Чернухін // Зберігання та переробка сільгоспсировини. – 2003. – № 8. – С. 58 – 61.
3. Алієв Е.Б., Лупко К. О. (2023). Методика симуляції процесу сепарації насінневого матеріалу дрібнонасінневих культур на циліндричному чарунковому трієрі. Вібрації в техніці та технологіях. 1 (108): 36–44.
4. Алієв Е. Б., Лупко К. О. (2020). Застосування трієрних сепараторів для очищення насіння дрібнонасінневих культур. Матеріали XXI Міжнародної наукової конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (17–18 жовтня 2020 р.). Харків: ХНТУСГ. 116.
5. Дацишин О. В. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв / За редакцією О. В. Дацишина. Навчальний посібник. / О. В. Дацишин, А. І. Ткачук, О. В. Гвоздєв та ін. – Вінниця: Нова Книга, 2008. – 488с.
6. Derevjnko, D., Sukmaniuk, E. & Derevjnko, O. (2017). Grain crops injuries and drying modes while seeds preparation. INMATEH – Agricultural Engineering, 53 (3), 89–94.
7. Галкін В. Д. Лінія для очищення малих партій насіння [Текст] / В. Д. Галкін, А. А. Хавиєв, В. П. Соловйов // Землеробство. – 2003. – № 3. – С. 39.
8. Заїка П. М. Сепарація насіння по комплексу фізико-механічних властивостей [Текст]/ П. М. Заїка, Г. Є. Мазньов. – М.: Колос, 1998. – 287 с.
9. Закалов О.В./ Закалов О.В. Обладнання переробних та харчових підприємств. Тернопіль, 2001. 262 с.
10. Зюлін А. Н. Дослідження подільності зернових сумішей за комплексом властивостей [Текст] / А. Н. Зюлін // Зб. наук. тр. ВІМ. – М., 1997. – Т. 112.– С. 59 – 79.

11. Машини та обладнання переробних виробництв: навч. посіб. / за ред. О. В. Дацишина. К.: Вища освіта, 2005. 159с.
12. Машини і обладнання для зберігання та комплексної обробки зерна / А.С.Кобець, Ю.О.Чурсінов, С.А.Черних, М.П. Сабадаш, Н.В.Грекова, В.П. Канунніков – Дніпропетровськ: ДДАУ, 2013.- 766 с.
13. Мерко І. Т., Моргун В. О. Наукові основи і технологія переробки зерна. Одеса : Друк, 2001. 348 с.
- 14.Олексієнко В.О. та ін. Аналіз методів і засобів очищення та сепарації зерна. Праці ТДАТУ. Вип. 17. Т1. С. 132- 139.
- 15.Сало В.М. Технічне забезпечення підготовки зерна до зберігання: [Монографія] / В.М. Сало, П.Г. Лузан, Д.В. Богатирьов.- Кіровоград: СПД ФО Лисенко В.Ф., 2013.- 148 с.
- 16.Сенчук М.М. Насіннеочисні машини: навчально-методичний посібник для самостійної роботи та лабораторно-практичних занять за кредитно-модульною системою навчання студентів агробіотехнологічного факультету / Сенчук М. М., Демещук В. А. – Біла Церква, 2015. – 195 с.
17. Сукманюк О. М., Медведський О. В. Технологічне обладнання післязбиральної обробки зернової маси : практичний посібник. Житомир : Поліський національний університет, 2023. 123 с.
18. Равдін А. Нове в сепарації зерна та зернопродуктів [Текст] / А. Равдін, А. Дормідонтов, С. Мухо, С. Сергєєв // Хлібопродукти. – 2001. – №5. – С. 18 – 20