

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи

освітнього ступеня "Магістр" на тему:

Обґрунтування параметрів та дослідження конструкції повітряно-решітної зерноочисної машини

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІ-3-24
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

_____Данилюк Богдан Олександрович

Керівник: _____Пугач Андрій Миколайович

Рецензент: _____

Дніпро 2025

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

ТСГМ _____

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ _____

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище,
ініціали)

« ____ » _____ 2025 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Данилюку Богдану Олександровичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування параметрів та дослідження конструкції повітряно-решітної зерноочисної машини

керівник роботи Пугач Андрій Миколайович, д.н. держ. упр., к.т.н., проф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«24» жовтня 2025 року № 3182

2. Строк подання студентом роботи 12.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Огляд стану питання в галузі машинобудування та існуючих машин. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання і завдання досліджень 2. Теоретичні дослідження 3. Програма і методика досліджень 4. Результати досліджень 5. Охорона праці та захист в надзвичайних ситуаціях 6. Економічна ефективність. Загальні висновки. Список використаних джерел.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. 2. Аналіз літературних і патентних джерел. 3. Теоретичні дослідження. 4. Програма і методика досліджень 5. Результати досліджень. 6. Економічні показники. 7. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Пугач А.М., професор		
2	Пугач А.М., професор		
3	Пугач А.М., професор		
4	Пугач А.М., професор		
5	Пугач А.М., професор		
6	Пугач А.М., професор		
нормоконтроль	Теслюк Г.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 18.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 18.04.2025 р.	Виконав
2	Теоретичний	до 20.06.2025 р.	Виконав
3	Експериментальний	до 12.09.2025 р.	Виконав
4	Охорона праці	до 07.11.2025 р.	Виконав
5	Економічний	до 14.11.2025 р.	Виконав
6	Демонстраційна частина	до 8.12.2025 р.	Виконав

Студент

_____.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Данилюк Б.О. Обґрунтуванням параметрів та дослідження конструкції повітряно-решітної зерноочисної машини / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» - ДДАЕУ, Дніпро, 2025.

У 1 розділі представлено огляд літературних джерел за темою досліджень.

У 2 розділі Обґрунтовано модель функціонування повітряно-решітної зерноочисної машини

У 3 розділі представлено програму та методику експериментальних досліджень.

У 4 розділі представлено результати досліджень.

У 5 розділі приведено аналіз стану охорони праці.

У 6 розділі приведено розрахунок техніко-економічних показників. Розроблена конструкція дозволяє знизити експлуатаційні витрати по зрівнянню з базовою.

Машинописного тексту____, малюнків ____, таблиць____, містить джерел використаної літератури_____ і має графічної частини ____ листів

Данилюк Б.О. Огляд методик визначення складу вороху при роботі повітряно-решітної зерноочисної машини / Б.О. Данилюк // The 3th International scientific and practical conference «Science, technology and global challenges» (11, 6-8, 2025), Tokyo, Japan. 20-23p.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 СТАН МІРИ РОЗРОБЛЕНОСТІ ТЕМИ.....	12
1.1. Склад зернового стовпа того, що поступає на післяжнивну обробку і вимоги до якості насіння.....	12
1.2. Рішення по приймально-розподільних облаштувань зерноочисних машин.....	14
1.3. Конструктивні і технологічні параметри розподільчих і приймальних систем.....	20
Висновки.....	29
2 ПРОЦЕС РОЗПОДІЛУ ЗЕРНОВОГО СТОВПА ПО ШИРИНІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЛЕГКОРЕШІТНИХ ЗЕРНООЧИСНИХ МАШИН.....	30
2.1. Формування стовпа в бункері приймально-розподільного пристрою.....	30
2.2. Заповнення бункера і розподілення тиску в зерновому шарі.....	34
Висновки.....	41
3 ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	42
3.1. Програма досліджень експериментальних.....	42
3.2. Опис конструкції експериментальної установки.....	42
3.3. Методика проведення дослідження.....	44
Висновки.....	46
4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	47
4.1. Склад бункерного стовпа насіння пшениці.....	47
4.2. Зернового вороху формування в бункері.....	47
4.3. Обґрунтування принципової схеми приймально-розподільного пристрою.....	54
Висновки.....	56
5 ОСНОВНІ ВИМОГИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ	58
Висновки	60

6 ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕКОНОМІЧНА	62
Висновки.....	65
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	69
ДОДАТКИ.....	74

ВСТУП

Зерновиробництво є однією з ключових галузей аграрного сектору, яка формує продовольчу безпеку держави, забезпечує сировинну базу для переробної промисловості та значною мірою впливає на експортний потенціал країни. У структурі технологічного процесу післязбиральної обробки зерна особливе місце займає первинне та вторинне очищення, оскільки саме на цих стадіях формується якість готової продукції, її товарна цінність та можливість подальшого використання – як насіннєвого матеріалу, продовольчої чи фуражної сировини. Ефективність очищення зумовлює рівень втрат, енергоємність процесу, продуктивність зерноочисних ліній і, зрештою, економічну результативність усього зернового виробництва.

Серед широкого спектра машин, що застосовуються для механізованого очищення вороху зернових культур, провідну роль відіграють повітряно-решітні зерноочисні машини. Їх конструктивна схема поєднує дію двох основних принципів сепарації – аеродинамічного та механічного. Завдяки цьому забезпечується відділення як легких домішок (лушпиння, пил, частини стебел), так і важчих включень, що відрізняються від зерна за розмірами чи формою (дрібні та крупні домішки, уламки). Такий комплексний підхід дозволяє формувати високоякісний вихідний матеріал, придатний для довготривалого зберігання, подальшої переробки або посіву.

Аналіз сучасних технологічних ліній підтверджує, що повітряно-решітні машини залишаються базовим елементом у складі зерноочисних комплексів, попри активний розвиток альтернативних способів сепарації (фотосепаратори, вібростоли, трієри тощо). Це пояснюється їх універсальністю, конструктивною надійністю, відносно невисокою енергоємністю та можливістю регулювати технологічний режим залежно від властивостей вихідного матеріалу. Водночас підвищення вимог до якості зерна, розширення сортового різноманіття, зміна структури посівних площ та зростання частки високовражайних технологій актуалізують питання удосконалення конструкцій існуючих машин. Однією з

ключових проблем сучасних повітряно-решітних зерноочисних машин є необхідність підвищення ефективності сепарації за умов збільшення продуктивності. Традиційні конструкції, засновані на стандартних решітних коробах і прямоочисних аспіраційних каналів, досягають межі своїх технологічних можливостей. Зростання подачі матеріалу на решета спричиняє погіршення розподілу шару, утворення «подушок» зерна, зменшення ймовірності контакту частинок із отворами решіт, що негативно впливає на якість виділення домішок. У аспіраційних системах при підвищенні продуктивності виникають нерівномірності повітряного потоку, турбулентні зони, що знижує точність аеродинамічного розділення. Таким чином, актуальність наукових досліджень спрямованих на вдосконалення конструктивно-технологічних параметрів машин не викликає сумнівів.

Сучасні науково-технічні досягнення відкривають нові можливості для оптимізації роботи повітряно-решітних машин. Застосування засобів комп'ютерного моделювання, цифрових двійників та математичного аналізу дозволяє прогнозувати поведінку вороху, структуру повітряного потоку, динаміку руху частинок за складних умов взаємодії. У поєднанні з експериментальними методами це створює умови для раціонального добору конструктивних параметрів і режимів роботи – таких як кут нахилу решіт, амплітуда і частота коливань решітного стану, геометрія повітряних каналів, швидкість повітряного потоку, форма та розміри отворів. Наукове обґрунтування цих параметрів дозволяє підвищити ефективність процесу очищення без значного збільшення енергетичних затрат.

Також важливим є врахування особливостей вихідного зернового матеріалу. Вологість, засміченість, гранулометричний склад та аеродинамічні властивості частинок визначають необхідність вибору оптимальних умов роботи машини. Технологічна гнучкість, можливість швидкого регулювання параметрів, використання змінних решіт та модульних аспіраційних систем – усе це впливає на якість очищення та універсальність машин в умовах сучасного виробництва. Тому обґрунтування конструкції має бути нерозривно пов'язане з

аналізом фізико-механічних властивостей зернового вороху.

Не менш важливим аспектом є підвищення економічної ефективності експлуатації машин. Удосконалення конструкції повинне забезпечувати не лише покращення агротехнічних показників, але й зниження експлуатаційних витрат, підвищення довговічності, зменшення ремонтості та забезпечення можливості інтеграції у сучасні автоматизовані зерноочисні лінії. Це вимагає комплексного техніко-економічного аналізу та оцінки ефективності застосування нових рішень.

Отже, підготовка цього розділу спрямована на комплексне обґрунтування конструкції повітряно-решітної зерноочисної машини з урахуванням вимог сучасних технологій очищення зерна. У межах дослідження буде здійснено аналіз існуючих конструкцій, визначено їх переваги та недоліки, сформульовано науково-технічні підходи до вдосконалення конструктивних елементів та технологічних процесів. Особлива увага приділяється взаємодії вороху із робочими органами машини, параметрам повітряного потоку, а також раціональному підбору режимів роботи для досягнення максимальних показників очищення. Розділ закладає концептуальні основи подальших експериментальних досліджень та є важливою складовою комплексної наукової роботи.

Мета дослідження. Обґрунтування технологічного процесу очищення зернового вороху

Завдання дослідження:

- вивчити закономірність формування зернового вороху в бункері приймально-розподільчого пристрою повітряно-решітних зерноочисних машин;
- встановити залежність бічного тиску від висоти шару зерна в бункері приймально-розподільчого пристрою повітряно-решітних зерноочисних машин;
- розробити нове технічне рішення для реалізації процесу рівномірного розподілу зернового вороху за шириною робочих органів повітряно-решітних зерноочисних машин;
- експериментально обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри

гравітаційного приймально-розподільчого пристрою.

Об'єкт дослідження. Процес надходження та просторового розподілу зернової маси приймально-розподільним вузлом по всій робочій ширині елементів повітряно-решітної зерноочисної машини.

Предмет дослідження. Предметом виступає встановлення закономірностей переміщення й розподілу потоку зернового вороху по поверхні приймально-розподільного пристрою, який забезпечує рівномірне завантаження робочих органів у повітряно-решітних машинах для очищення зерна.

Методи досліджень. Теоретичне дослідження здійснено на основі методів теоретичної механіки, диференціювання та інтегрального обчислення, розв'язання диференціальних рівнянь. Лабораторний експеримент поставлено на основі планування експерименту, для проведення якого були виготовлені дві експериментальні лабораторні установки: гравітаційний приймально-розподільний пристрій зерноочисної машини та шнековий приймально-розподільний пристрій.

Наукова новизна одержаних результатів: закономірність формування зернового вороху в бункері приймально-розподільного пристрою повітряно-решітних зерноочисних машин, що відрізняється урахуванням зсуву вершини вороху залежно від кута подачі зерна; аналітична залежність бічного тиску від висоти шару зерна в бункері приймально-розподільного пристрою повітряно-решітних зерноочисних машин, що відрізняється урахуванням нерівномірності бічного тиску в горизонтальному перерізі вороху; технічне рішення для реалізації процесу рівномірного розподілу зернового вороху по ширині робочих органів повітряно-решітних зерноочисних машин, що відрізняється тим, що привід заслінки додатково пов'язаний з датчиками верхнього та нижнього рівня зернового матеріалу; раціональні конструктивно-технологічні параметри гравітаційного приймально-розподільчого пристрою.

1 СТАН МІРИ РОЗРОБЛЕНОСТІ ТЕМИ

1.1 Склад зернового стовпа того, що поступає на післяжнивну обробку і вимоги до якості насіння

В процесі прибирання зернова купа поступає від комбайнів на пункт післяжнивної обробки зерна, до складу якого входить повноцінне, щупле і пошкоджене насіння основної культури, насіння смітних і інших культурних рослин. Окрім цього в купі є домішки органічного і мінерального походження.

Зернова купа, що поступає з поля, характеризується вологістю і засміченістю. На якісні і кількісні показники зернового стовпа впливає ряд причин: ґрунтово-кліматичні умови, рівень агротехніки, вживані технології прибирання, кількість опадів, вологість і температура повітря, стиглість хлібів, тривалість роботи прибиральної техніки за добу і ретельність регулювань вживаних машин. У багатьох джерелах літератури відзначається, що зміст насіння основної культури в зерновій купі складає 72-99 %, а мінеральна домішка (в вигляді пилу мінерального походження, грудочки землі, пісок та ін.) складає не більше 1,0-1,5 %. Іншу частину стовпа займають суцвіття і смітних рослин насіння.

Збереження зібраного урожаю, доведення зернового матеріалу до необхідної якості, а саме отримання насінного і продовольчого зерна є головним завданням післяжнивної обробки. Посівні якості характеризують насінний матеріал, під якими розуміють сукупність ознак, що визначають придатність насіння для посіву.

Щоб поліпшити посівні якості насіння треба вчасно видаляти із зернової маси бур'яни.

Найбільша негативна дія на якість і зберігання зерна робить вологість. При вологості більше 20 % зернова купа має бути оброблена протягом доби для безпечного зберігання. За даними, що відкриті при початковій вологості 28 % на третю добу зберігання необробленої стовпа зерна насінного призначення його

енергія проростання знизилася. В процесі прибирання вологість зерна основної культури змінюється від 15 до 53 % і має не однорідний склад по вологості, куди входять недозрілі і стиглі зернівки. У свіжоприбраній масі вологість окремих зернівок варіює у великих межах і може досягати різниці до 30 %. Не усіх зерен устигають дозріти до прибирання і частенько в початковому матеріалі міститься до 30 % недозрілих, зелених зерен. За зволоженості зернового стовпа 16.17 % вологість 25-30 %, внаслідок чого при очищенні зерна це недозріле насіння буде джерелом самозігрівання зернового стовпа.

Крім недозрілих і повноцінних зерен в зерновій купі є і травмовані зернівки. Вони також негативно впливають на зберігання зерна і призводять до розвитку мікроорганізмів, зниження стійкості при зберіганні, появи кліщів і інших шкідників зерна.

Велика кількість пошкоджених зерен при збиранні врожаю, призводить до порушення захисту їх від мікроорганізмів. Проникаючи через тріщини, мікроорганізми швидше добираються до оболонок зародка і позбавляють зернівок поживних речовин. Усе це може привести до непридатності зернівок не лише для насінного, але навіть для харчового і фуражного матеріалу. Велика кількість мікроорганізмів може знаходитися в основній культурі. Так, наприклад, в 1 г зернової маси містяться десятки або сотні тисяч мікроорганізмів.

З аналізу літературних джерел виходить, що основне місце існування мікроорганізмів - це дрібні засмічувачі і роздрібнюване, травмоване зерно. Вологість насіння в процесі прибирання і післяжнивної обробки, тривалість зберігання, рівень їх травмування, температура зберігання є найбільш важливими чинниками, що роблять вплив на життєдіяльність насіння.

Для визначення якості посівного матеріалу в державному стандарті нормовані такі показники, як схожість, вологість, чистота, зараженість хворобами і шкідниками. Під час післяжнивної обробки зерна стоїть завдання зберегти зібраний урожай і довести його до необхідної якості. Вологість насіння під час зберігання не повинна перевищувати 14 %, проте, для насінного матеріалу озимих культур допускається до 16 %, якщо висів насіння станеться в

рік їх прибирання незалежно від кліматичної зони.

Для тривалого зберігання насіння різних культур необхідно вчасно і якісно очищати зерно, що призводить до підвищення схожості і врожайності, а також знижує відсоток засміченості полів. Повноцінні зерна, що не мають домішок і хвороб, показують високу енергію проростання і лабораторну схожість, високу врожайність, а також сильні і дружні сходи. Для посіву використовують якісні сорти і гібриди, які занесені в Державний реєстр селекційних досягнень і допущені до застосування.

Насінний матеріал не використовують для посіву, якщо в нім виявили:

- насіння отруйних рослин (триходесм сивий, геліотропа волосистоплодний);
- живих шкідників і їх личинки, що ушкоджують насіння відповідної культури, де допускається наявність кліщів не більше 20 од./кг;
- бур'яни (плоди, насіння), шкідників і збудників хвороб.

1.2 Рішення по приймально-розподільних облаштувань зерноочисних машин

Основні завдання приймально-розподільного облаштування зерноочисних машин - забезпечити номінальну продуктивність; можливість коригувати номінальну продуктивність; рівномірний розподіл матеріалу.

При обертанні живлячого валика 1 з нижнім поданням зернового матеріалу, зерно переміщається відносно денця убік пневмосепаруючого каналу. До недоліків процесу роботи живлячого валика з нижнім поданням зернового матеріалу відносяться травмування насіння в проміжку між денцем 3 і лопатками 2, вплив висоти нижньої частини каналу на якість очищення.

Приймально-розподільний пристрій з живлячим валиком використовують фірми-виробники, як Petkus, Cimbria, Jubus, Damas і інші.

Процес роботи живлячого валика з верхнім поданням зернового матеріалу протікає таким чином: зерновий матеріал самопливно поступає в жолоб

живлячого валика, потім при повороті валика частки переміщуються в канал, причому виявлено, що при нижньому поданні зерновий матеріал поступає в канал щільнішим шаром і розподіляється по глибині каналу менш рівномірно, чим при верхньому поданні.

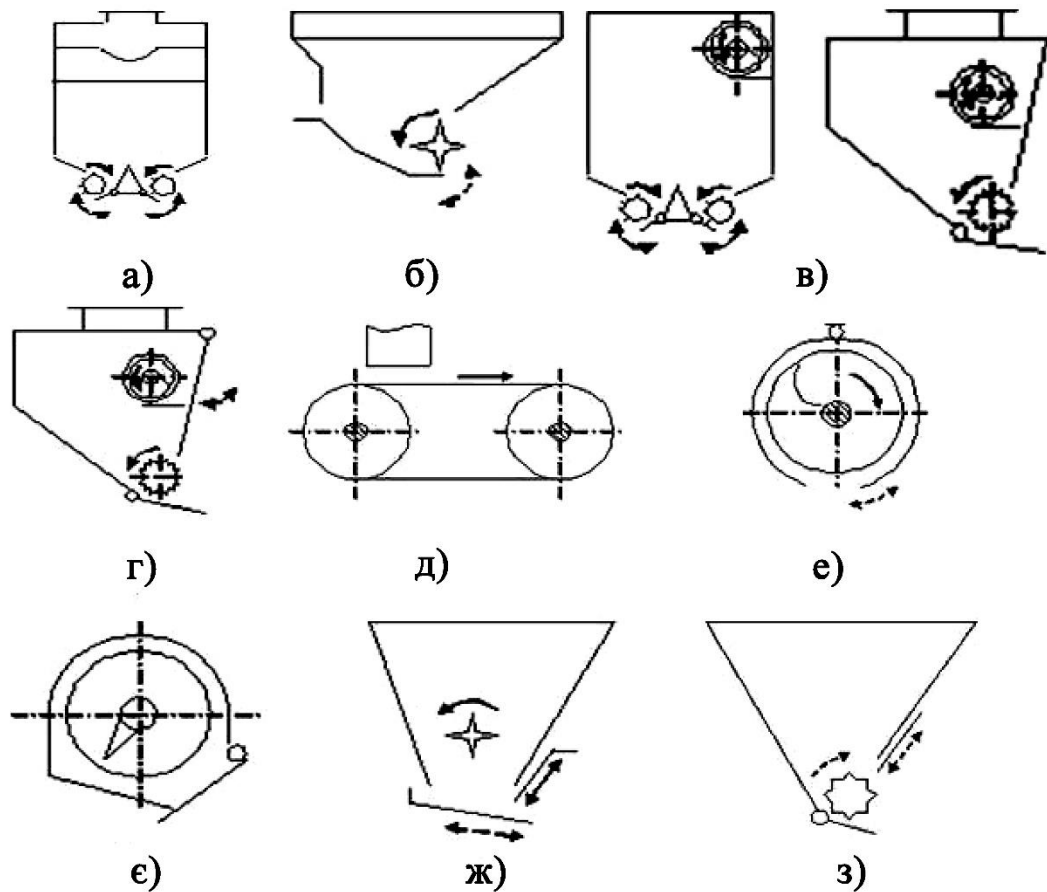


Рисунок 1.1 - Приймально-розподільні облаштування примусової дії:

а) живильник + регулювальна засувка (клапан); б) живильник + лоток;
 в) розподільний шнек + клапан, живильник; г) розподільний шнек + лоток + живильник;
 д) стрічковий поживно-розподільний пристрій; е) розподільний шнек + регулювальна заслінка (клапан); е) напірний-розподільний шнек + клапан;
 ж) ворушилка + лоток + регулювальна засувка; з) живильник + регулювальна засувка (клапан).

Найпростішим активним пристроєм є рифлений валик, що обертається, з ущільнювачем (рис. 1.2). У зерноочисних машинах застосовуються живлячі валики з нижнім і верхнім поданням зернового матеріалу.



Рисунок 1.2 - Приймально-розподільний пристрій з рифленим валиком:

1 - живильний вал; 2 - лопатки; 3 - денце

Найбільш небезпечними, з точки зору ушкодження насіння, являються приймально-розподільні пристрої, що містять механічні облаштування активної дії. До них відносяться шнеки, облаштування напірної дії. Недоліком шнекових пристроїв (рис. 1.3) є ще і те, що вони вимагають точності регулювання сили притиснення клапана.

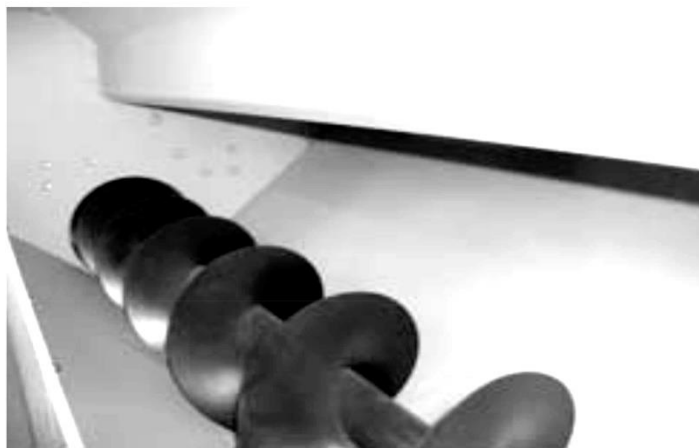


Рисунок 1.3 - Живильний шнек

У приймально-розподільних облаштуваннях гравітаційного типу (рис. 1.4) розподіл зернового стовпа здійснюється тільки за рахунок дії гравітаційних сил. Такі приймально-розподільні пристрої погано витримують рівномірний розподіл по ширині робочої частини машини, оскільки вони працюють тільки з сипким складом.

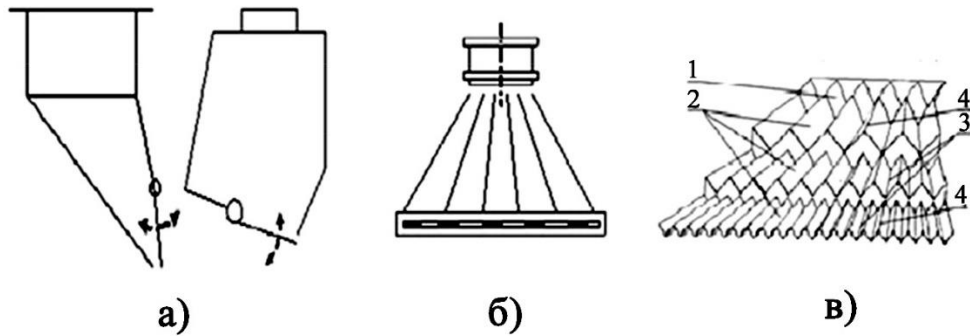


Рисунок 1.4 - Приймально-розподільні облаштування гравітаційного типу:

а) бункерний приймально-розподільний пристрій з гравітаційним клапаном; б) скатні дільники; в) гофрований розподільний пристрій.

До групи гравітаційних приймально-розподільних пристроїв входять скатні дільники (рис. 1.4б), бункерний приймальний-розподільні пристрої з гравітаційним клапаном (рис. 1.4а).

На зерноочисних машинах з великою шириною робочих органів клапанні приймально-розподільні пристрої практично не використовуються, оскільки відрізняються недостатньою надійністю в роботі, великою інертністю. Частенько, в експлуатації клапан відкривався і спорожняв бункер за короткий час, тільки після цього клапан повертався в первинне положення. Це пояснюється зразковою рівністю моментів сил, що відкривають клапан і протидіючих сил. Установка клапанів навіть з невеликим перекосом призводить до збільшення моментів тертя в опорах, до зниження чутливості і ефективності роботи клапанів.

Одним з варіантів підвищення ефективності пневмосепарації при високих питомих навантаженнях є введення зернового матеріалу в канал двома потоками. Розділення шару зерна на два потоки зменшує його товщину і покращує умови виділення легких домішок. Проте при близькому розташуванні введень потоки зерна в зоні сепарації взаємодіють між собою. Відбувається часте зіткнення зернівок, що видаляються. Тому збільшення відстані між потоками до певних значень сприяє більшому їх розпушуванню і зниженню вірогідності зіткнення легких часток і повноцінного зерна, завдяки чому покращується якість

очищення. Збільшення відстані призводить до збільшення габаритних розмірів і зменшення довжини робочої частини пневмоканалу. Як правило, гравітаційні приймально-розподільні пристрої застосовуються тільки на зерноочисних машинах вторинного очищення, де не потрібно велику продуктивність.

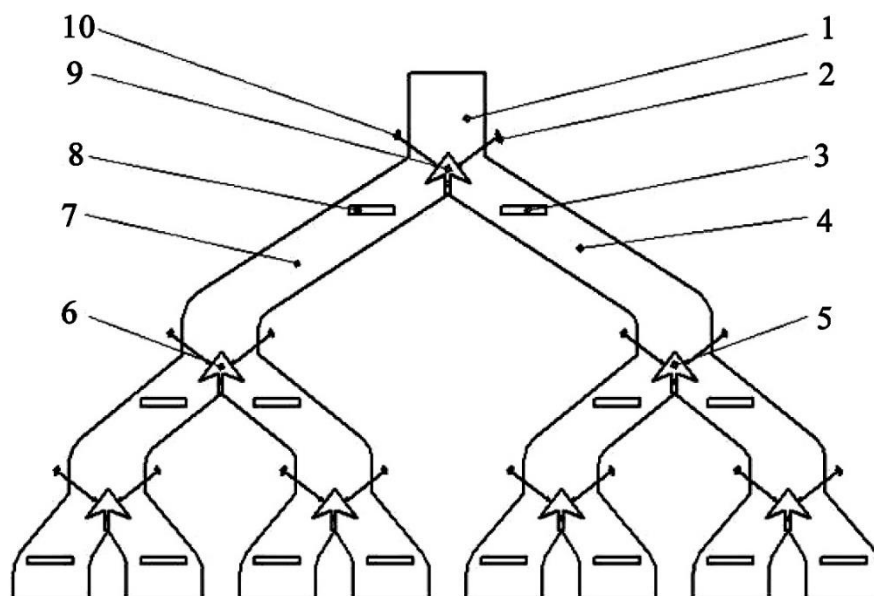


Рисунок 1.5 - Гравітаційний приймально-розподільний пристрій:

1 - вхідний патрубок; 2, 10 - штовхальники; 3, 8 - датчики тиску; 4, 7 - вихідні патрубки; 5, 6, 9 - дільники потоку

Приймально-розподільне облаштування сипкого матеріалу (рис. 1.4в) включає бункер з регулятором витрати і зернораспределитель, виконаний у вигляді похилих віялоподібних каскадно-розміщених секцій з гофрованою поверхнею. Число гофр подвоєне в кожній подальшій секції, при цьому що утворюють западин гофр попередньої секції поєднані з відповідними виступами гофр подальшої секції. Матеріал поступає у бункер-компенсатор, де накопичується в кількості, визначуваній зусиллям притиснення регулювального клапана. Недоліком цього пристрою є великі габаритні розміри, складність виготовлення конструкції, а також з'єднання гофр між собою що утворює клиновидні канали, які призводять до нерівномірного руху зернового матеріалу, забиванню пилом і чужорідними тілами межгофрового простору. Усе це призводить до зниження ефективності її роботи.

Є приймально-розподільний пристрій (рис. 1.5), що включає вхідний патрубок 1 і вихідні патрубки, що симетрично розходяться, 4, 7 зі встановленим перед ними дільник потоку 9. Штовхальники 2, 10, пов'язані з датчиками тиски 3, 8, розташовані у вихідних патрубках 4, 7. Кожен вихідний патрубок має додатковий зернораспределитель, що має такий же пристрій як попередній [11]. Потік сипкого матеріалу подається в завантажувальний патрубок 1, поступає на дільника 9, ділиться на два рівні потоки, кожен з яких спрямовується у вихідні патрубки. З патрубків встановлені дільники, що ділять потік сипкого матеріалу на два однакових і так далі на наступній і подальших східцях. При нерівномірному діленні зернового потоку, що знаходяться у вихідних патрубках, поступає на штовхальник, який повертає дільника і змінює потік насіння у вихідних патрубках. Такий процес повторюється на другій, третій і подальших східцях, залежно від ширини пневмосепаруючого каналу зерноочисної машини.

Цей пристрій забезпечує рівномірне подання сипкого матеріалу в пневмосепаруючий канал зерноочисної машини по усій її ширині. Недолік цього приймально-розподільного пристрою полягає в тому, що чим більше ширини зерноочисної машини, тим більше східців потрібні, а це призводить до громіздкості конструкції.

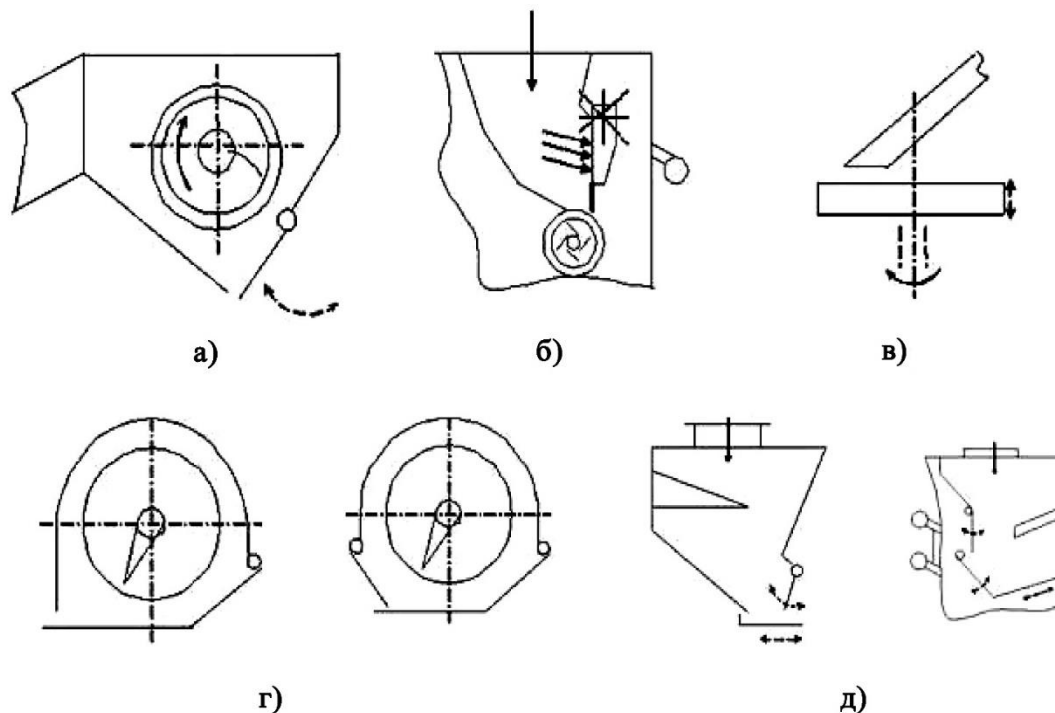


Рисунок 1.6 - Приймально-розподільні облаштування комбінованої дії:

а) розподільний шнек + гравітаційний клапан; б) живильний вал + заслінка; в) тарілчастий розподільний пристрій; г) розподільний шнек + гравітаційний клапан; д) розподільний лоток + лоток + клапан (двохклапаний механізм).

1.3 Конструктивні і технологічні параметри розподільних і приймальних систем

Представлені комплекси машин, об'єднаних в потоковій лінії післяжнивної обробки зерна, які у свою чергу, діляться на зерноочисні агрегати (ЗАВ), зерноочисних-сушильні комплекси (КЗС) і спеціальні лінії для обробки насінного матеріалу. На думку більшості авторів, при проведенні операцій післяжнивної обробки (при очищенні, сортуванні, сушці і транспортуванні) зерно отримує більшу кількість механічних ушкоджень, чим при обмолоті комбайном.

При післяжнивній обробці велике значення має транспортування зерна від однієї машини до іншої, а також рівномірний розподіл матеріалу по сепаруючій

поверхні зерноочисних машин. Транспортуючі органи багаторазово впливають на переміщений матеріал. Завантаження приймальних камер зерноочисних машин застосовують різні транспортуючі механізми: механічні, самопливні і пневматичні. Кількість механічних дій залежить від протяжності технологічних ліній, велику частину в яких займають транспортуючі органи.

Пневмокамери здійснюють розподіл зерна по ширині, без чого можна обійтися тільки у випадках подання матеріалу в трієр, сушарку і пневмстіл. У разі нерівномірного подання матеріалу по ширині легко- решітного очищення відбувається зниження сепарації зернового стовпа. У переобтяжених зонах, за рахунок великого шару оброблюваного матеріалу, відбувається зниження ефективності сепарації. При нерівномірному поданні матеріалу по ширині решіт зменшується просіюваність, внаслідок чого знижується продуктивність зерноочисних машин, збільшуються втрати, погіршується якість готового зерна і стабільність роботи поточкових ліній.

Рівномірність розподілу входить до групи основних чинників що роблять вирішальний вплив на пропускну спроможність решіт. Зниження продуктивності при нерівномірному розподілі завантаження зі збільшенням коефіцієнта її варіації по ширині на кожні 10 % складають в середньому 122 кг/год. Для оптимальної роботи зерноочисних машин необхідно рівномірно завантажувати їх робочі органи.

Велике значення мають приймально-розподільні пристрої при створенні високопродуктивних машин. У цьому випадки продуктивність машин підвищують за рахунок збільшення ширини решітного стану. Приймально-розподільні пристрої повинні завантажувати усю площу решіт для забезпечення розрахункової продуктивності машин. Широкі сепаруючі поверхні вимагають однакові навантаження на кожен рівню ділянку ширини.

Вживані нині транспортуючі і розподільні пристрої істотно збільшують мікротравмування зерна і знижують якість матеріалу, що транспортується.

Видами мікротравм та якості посівні насіння

Таблиця 1.1- По видах травм схожість насіння

Вид травм	Схожість насіння, %
Пошкоджений зародок	50,9
Пошкоджений ендосперм	60,7
Пошкоджена оболонка зародка	85,7
Пошкоджена оболонка зародка і ендосперм	83,5
Пошкоджена оболонка ендосперм	94,5
Без ушкоджень	99,1

Травмування зерновому матеріалу наносять старі зерноочисні машини за рахунок деформації каналів, збільшення проміжку між кожухами і шнеками, а також нові машини із-за наявності гострих кромek, задирок. В процесі післяжнивної обробки зерна необхідно мінімізувати пропуски через зерноочисні машини, оскільки кожен подальший пропуск через машину призводить до підвищення травмування зерна на 2-3 %.

Дослідження, проведені вченими в різних господарствах, показали, що ушкодження зерна зерноочисними машинами і транспортуючими органами потокових ліній коливається в значних межах. Зерноочисні машини травмують від 3 до 8 % зерна, норії до 10 %, пневмотранспортер 17 і більше відсотків.

Самопливні пристрої трохи травмують зерновий матеріал. При поданні зернового стовпа по каналах відбувається тертя зернових потоків, і зношуються поверхні зернівок. Основним недоліком таких пристроїв є те, що вони ефективно працюють тільки при малій продуктивності і із зерновим матеріалом що пройшов первинне очищення. Так само недоліком деяких пристроїв є громіздкість конструкцій по габаритних розмірах. Недоліки конструкцій із статичним накопиченням зерна над клапаном мають тенденцію до порційного випуску зерна, що призводить до нестабільної роботи зерноочисної машини.

У самопливних трубопроводах пошкодження насіння зростає зі

збільшенням їх довжини і швидкості пересування насіння. Найбільший відсоток травмування спостерігається в місцях зміни напрямку потоку.

Вплив проміжку між шнеком і кожухом, виду і напрямку подання, її величини на травмування насіння вивчали багато авторів на горизонтальному шнеку відкритого і закритого типу. Дослідження роботи горизонтального шнека показало, що зі збільшенням радіального проміжку від 2 до 30 мм при постійній швидкості обертання травмування насіння спочатку зростає, досягаючи максимуму при проміжках 4-12 мм, а потім знижується до мінімуму при проміжках більше 20 мм. При оптимальних проміжках підвищення частоти обертання шнека до 460 хв^{-1} не впливає істотно на травмування насіння. У шнеках закритого типу при проміжках 1,0 і 20,0 мм і частоті обертання до 400 хв^{-1} травмування насіння несуттєве. Збільшення частоти обертання з 400 до 620 хв^{-1} веде до різкого підвищення травмування насіння, що пояснюється затисканням їх в приймальній частині і зростанням динамічного навантаження у момент вивантаження. Було виявлено також значний вплив на це довжини вивантажного вікна. Так, при частоті обертання шнека 620 хв^{-1} і довжині вікна 140 мм за один пропуск травмувалося до 12 % насіння, тоді як зі збільшенням довжини вікна до 190 мм і тій же частоті обертання шнека - лише 0,36 %. Дослідженнями встановлено, що при транспортуванні шнеком пшениці її дроблення збільшується не більше ніж на 0,1 %, а мікроушкодження - 3,4 %.

При переміщенні зерна шнеком травмування його залежить від частоти обертання шнека, його продуктивності, вологості зерна, числа пропусків через шнековий транспортер і багатьох інших чинників.

Приймально-розподільні пристрої з розподільним шнеком нині широко застосовуються на зерноочисних машинах. Для оцінки цього типу приймально-розподільних пристроїв були проведені лабораторні дослідження ушкодження насіння при дозуванні. Дослідження проводили на лабораторній установці, виготовленій на базі живильника зерноочисної машини «Петкус».

Для дослідження травмування матеріалу шнековими приймально-розподільними пристроями була виготовлена лабораторна установка, виконана

на базі живильника зерноочисної машини «Петкус». Схема лабораторної установки представлена на рис. 1.7.

Лабораторна установка складається з рами 1 (рис. 1.7) зварної конструкції, електродвигуна 2 для приводу робочих органів, завантажувального бункера 5, в якому змонтована регульовальна заслінка 4 для зміни подання матеріалу. У кожусі 6 відкритого типу розміщений шнек 7. На протиставленому кінці кожуха виконаний вивантажний рукав 8 для сходу зернового стовпа в ємність 9. На краях кожуха 6 змонтовані гвинтові механізми регулювання проміжку шнека 3. Величину проміжку між витками шнека і нижньою частиною кожуха можна змінювати від 0 до 30 мм.

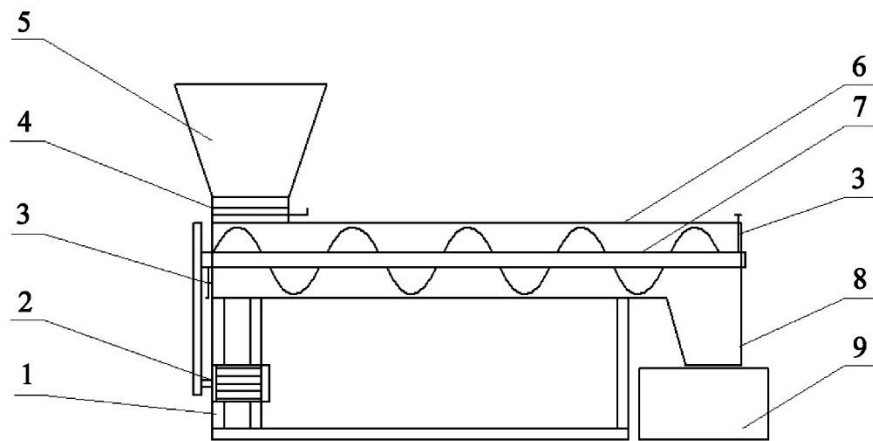


Рисунок 1.7 - Схема лабораторної установки:

1 – рама; 2 - електродвигун; 3 - механізми регулювання проміжку шнека;
4 - регульовальна заслінка; 5 - завантажувальний бункер; 6 - кожух; 7 - шнек;
8 - вивантажний рукав; 9 - місткість для матеріалу

Експериментальна установка працює таким чином: зернову купу завантажували в завантажувальний бункер 5, з якого зерно самопливно поступало у відкритий кожух 6 шнекового живлячого пристрою. За допомогою заслінки 4 встановлювали задане подання матеріалу в живлячий пристрій. Шнек 7 наводиться в обертання від електродвигуна 2 через клиноремінну передачу. При обертанні шнека 7 зернова купа переміщається по кожуху 6 від завантажувального бункера 5 у вивантажний рукав 8 і поступає в ємність для матеріалу 9. При сході зернового стовпа з вивантажного рукава 8 відбиралися

проби зерна для аналізу. Проміжок між витками шнека і кожухом змінювали за допомогою механізмів 3 регулювання шнека. Частоту обертання шнека 7 змінювали за допомогою частотного регулятора живлення електродвигуна 2.

В процесі досліджень вивчали вплив величини проміжку між витками шнека і кожухом, а також частоти обертання шнека на ушкодження зерна. Дослідження проводили за схемою однофакторного експерименту по методиках, описаних в третій главі. Величину проміжку між витками шнека і кожухом змінювали від 0 до 25 мм, при цьому частота обертання шнека і продуктивність приймально-розподільного пристрою залишалися постійними. Частота обертання шнека складала 150 мін-1, а продуктивність 25 т/год. Вологість насіння складала 14 %. Перед проведенням дослідів визначали якісний склад початкової стовпа.

Результати досліджень впливу величини проміжку між витками шнека і кожухом на ушкодження зерна представлені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Вплив величини проміжку між витками шнека і кожухом на ушкодження зерна

№	Проміжок, S, мм	Ціле зерно %	Подрібнене зерно, %	Засмічувачі %	Схожість %	Мікро- трамвування, Тпр, %
1	25	97,37	2,31	0,32	96,98	11,0
2	20	97,34	2,34	0,32	96,65	11,2
3	15	97,30	2,38	0,32	96,02	11,5
4	10	97,25	2,43	0,32	95,22	11,9
5	5	97,06	2,62	0,32	93,86	12,4
6	0	96,14	3,54	0,32	91,14	13,3

Графічна залежність ушкодження зерна від величини проміжку між витками шнека і кожухом представлена на рис. 1.8.

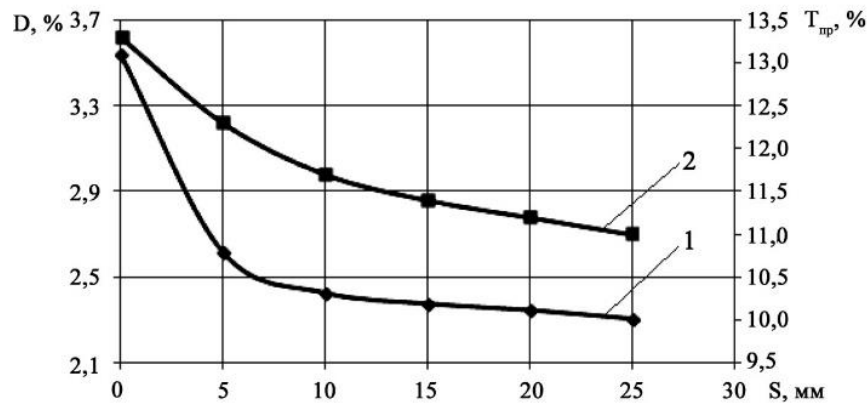


Рисунок 1.8 - Залежність ушкодження зерна від величини проміжку між витками шнека і кожухом (S, мм):

1 – подрібнене зерно (D, %); 2 - мікротравмоване зерно (T_{пр}, %)

На рис. 1.9 представлена графічна залежність схожості зерна від величини проміжку між витками шнека і кожухом.

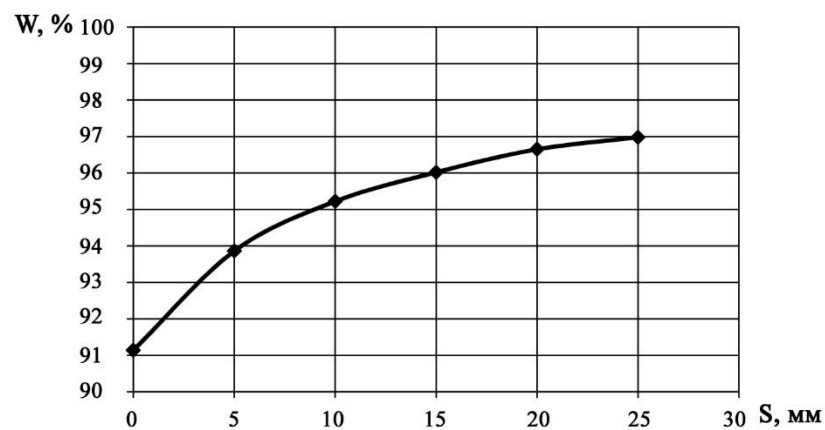


Рисунок 1.9- Залежність схожості зерна (W, %) від величини зазору між витками шнека та кожухом (S, мм)

Аналіз результатів досліджень, представлених в таблиці 1.3 і на рис.х 1.8, 1.9, показує, що зі збільшенням проміжку між витками шнека і кожухом від 0 до 25 мм спостерігається зниження дроблення зерна з 3,54 до 2,31 % і мікротравмування зерна з 13,3 до 11,0 %, а схожість зерна зростає з 91,14 % до 96,98 %. Збільшення проміжку знижує вірогідність зіткнення зернівок з навивками шнека і заклинювання їх у встановленому проміжку. При проміжках від 10 до 25 мм спостерігаються незначна зміна ушкодження зерна, а також високі показники схожості зерна. З цього виходить, що для мінімізації

травмування зерна необхідно забезпечувати проміжок не менше 10 мм. Істотне збільшення дроблення і мікротравмування зерна при малих проміжках (від 0 до 5-6 мм) також призводить до зниження схожості зерна, що обумовлено затисканням і деформацією насіння між кожухом і витками шнека. Це особливо проявляється в шнекових пристроях з відкритим кожухом.

Для визначення залежності травмування зерна від частоти обертання шнека були проведені дослідження, де частоту обертання шнека змінювали від 50 до 200 хв⁻¹. Продуктивність і величина проміжку між витками шнека і кожухом залишалися постійними і складали відповідно до 25 т/год і 25 мм.

Результати досліджень впливу частоти обертання шнека на ушкодження зерна представлені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Вплив частоти обертання шнека на ушкодження зерна

№	Частота обертання n, хв ⁻¹	Ціле зерно %	Подрібнене зерно, %	Засмічувачі %	Схожість %	Мікротравмування, T _{пр} , %
1	50	97,42	2,26	0,32	97,10	10,8
2	75	97,40	2,28	0,32	96,98	10,9
3	100	97,38	2,30	0,32	96,76	11,1
4	125	97,34	2,34	0,32	96,30	11,3
5	150	97,26	2,42	0,32	95,75	11,6
6	175	97,16	2,52	0,32	95,02	12,0
7	200	97,05	2,63	0,32	94,23	12,4

Графічна залежність дроблення і мікротравмування зерна від частоти обертання шнека представлена на рис. 1.10. Аналіз даних, представлених у таблиці 1.4 та на рис. 1.10, 1.11, показує, що зі збільшенням частоти обертання шнека з 50 до 200 хв⁻¹ зростає дроблення зерна з 2,26% до 2,63% та мікротравмування зерна з 10,8% до 12,4%, а схожість знижується з 97,10% до 94,23%. При зміні частоти обертання від 50 до 125 хв⁻¹ збільшення дроблення та мікротравмування зерна зростає незначно. Подальше підвищення частоти

обертання призводить до суттєвого збільшення пошкодження зерна та зниження схожості зерновок. При частоті обертання 200 хв дроблення сягає 2,63%, тобто збільшення становить 0,37% від вихідного (2,26%). Навіть при частоті обертання шнека 150 хв-1 дроблення становить 2,42%, а збільшення на 0,16% від вихідного, при цьому схожість насіння досить висока і становить 95,75%. Аналіз даних показав, що для зниження дроблення та мікротравмування зерна частоту обертання шнека необхідно вибрати не вище 150 хв⁻¹.

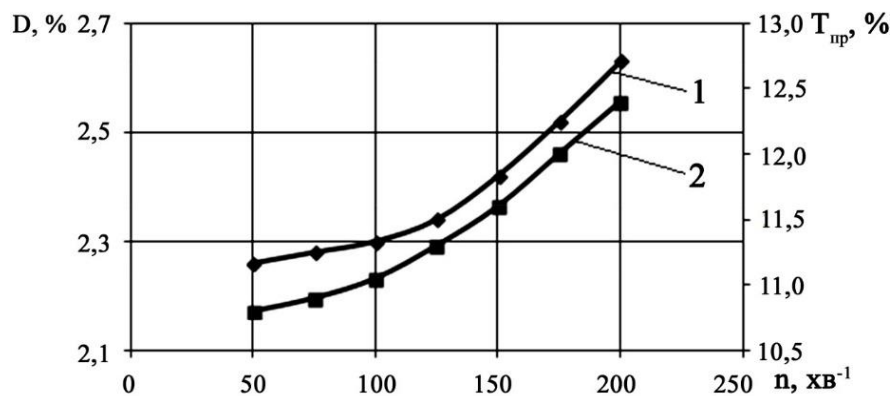


Рисунок 1.10 - Залежність дроблення і мікротравмування зерна від частоти обертання шнека (n , мін⁻¹):
1 – подрібнене зерно (D , %); 2 - мікротравмоване зерно ($T_{пр}$, %)

На рис. 1.11 представлено графічну залежність схожості зерна від частоти обертання шнека.

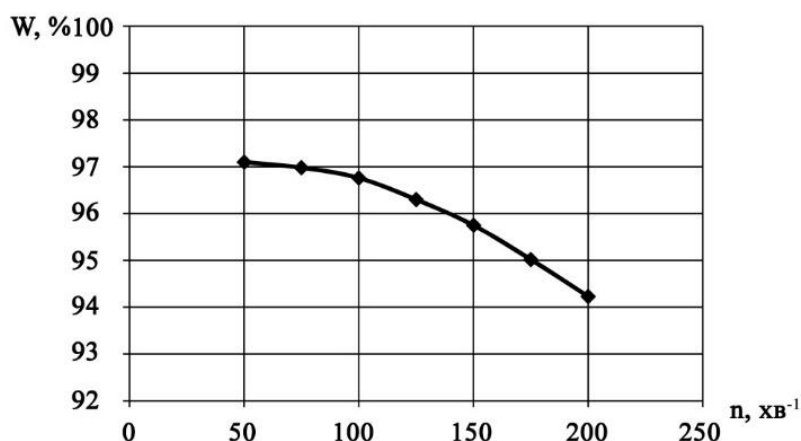


Рисунок 1.11 - Залежність схожості зерна (W , %) від частоти оберт. шнека (n , хв.⁻¹)

Зростання дроблення зерна та зниження схожості зерна при підвищенні частоти обертання шнека пояснюються збільшенням динамічних навантажень на

зернівки, а також підвищенням ймовірності їх защемлення між витками шнека та кожухом при більш хаотичному та динамічному русі шару.

Представлені результати досліджень дозволяють зробити висновок, що для досягнення високої схожості зерна та зниження пошкодження зерна в шнекових приймально-розподільчих пристроях зерноочисних машин величину зазору між витками шнека та кожухом необхідно встановлювати максимально, щоб унеможливити защемлення зерна та його руйнування, при цьому, не порушивши переміщення та дозування матеріалу. Частоту обертання шнека бажано вибирати мінімальну, одночасно забезпечуючи необхідну продуктивність зерноочисної машини. Однак повністю виключити пошкодження зерна шляхом вибору раціональних режимів роботи шнека та оптимізації його конструктивних параметрів неможливо. Тому останнім часом намітилася тенденція до застосування на зерноочисних машинах приймально-розподільчих пристроїв гравітаційного типу. Використання таких пристроїв дозволяє унеможливити пошкодження зерна, однак у певних умовах може порушити рівномірність. Подачі зернового матеріалу за шириною решета зерноочисних машин.

Таке явище найімовірніше може виявлятися у зерноочисних машин високої продуктивності, яка, зазвичай, забезпечується шляхом збільшення ширини решітного стану. Виходячи з вище викладеного, необхідно вивчити процес заповнення бункера гравітаційного приймально-розподільного пристрою оброблюваним матеріалом та подальшу подачу його на решето зерноочисної машини.

Висновки

Для тривалого зберігання насіння різних культур необхідно вчасно та якісно очищати зерно, щоб отримати високу схожість та врожайність, а також знизити відсоток засміченості полів. Отримання високоякісного насіння в процесі післязбиральної обробки зерна можливе лише при мінімізації перепусток через транспортуючі органи та зерноочисні машини.

2 ПРОЦЕС РОЗПОДІЛУ ЗЕРНОВОГО СТОВПА ПО ШИРИНІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЛЕГКО-РЕШІТНИХ ЗЕРНООЧИСНИХ МАШИН

2.1 Формування стовпа у бункері приймально-розподільного пристрою

Початкове місце подання зернового стовпа в приймально-розподільний пристрій

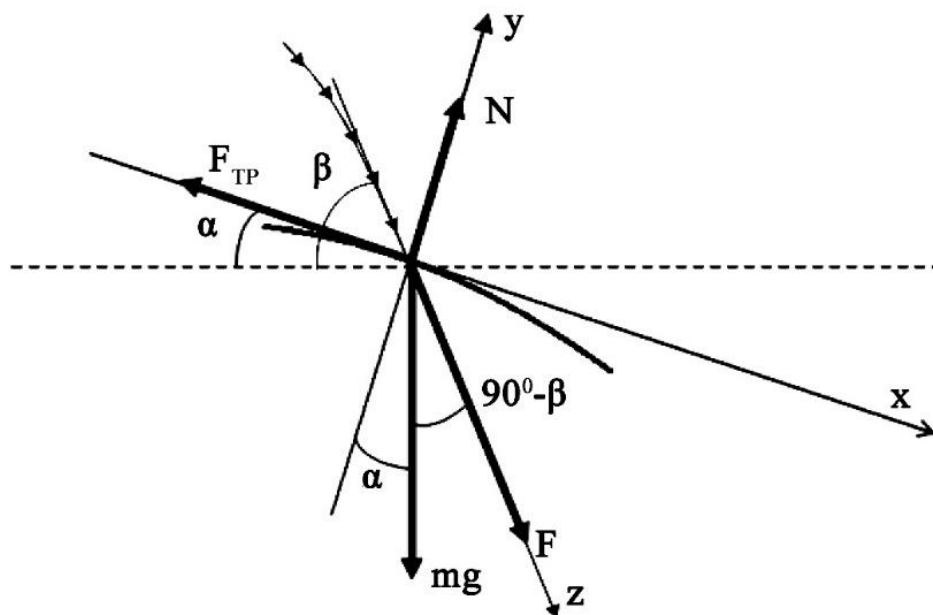


Рисунок 2.1 - Сили, що діють на частку у момент зіткнення її з формованою купою зерна

Спроектуємо сили на вісь x:

$$m \cdot g \cdot \sin \alpha + F \cdot \sin(90^\circ - \beta + \alpha) - F_{\text{тр}} = 0,$$

де m - (кг),

g - (м/с²),

F - (Н),

$F_{\text{тр}}$ - (Н),

α - (°),

β - (°)

$$\sin(90^\circ - \beta + \alpha) = \cos(\beta - \alpha),$$

$$F_{\text{тр}} = f \cdot N$$

Тоді

$$m \cdot g \cdot \sin \alpha + F \cdot \cos(\beta - \alpha) - f \cdot N = 0 \quad (2.1)$$

Звідки

$$N - m \cdot g \cdot \cos \alpha - F \cdot \sin(\beta - \alpha) = 0,$$

Буде виглядати

$$m \cdot g \cdot \sin \alpha + F \cdot \cos(\beta - \alpha) - f \cdot (m \cdot g \cdot \cos \alpha + F \cdot \sin(\beta - \alpha)) = 0 \quad (2.2)$$

Розкриваємо дужки

$$m \cdot g \cdot \sin \alpha + F \cdot \cos \beta \cdot \cos \alpha + F \cdot \sin \beta \cdot \cos \alpha - f \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha - f \cdot F \cdot \sin \cdot \cos \alpha + f \cdot F \cdot \cos \beta \cdot \sin \alpha = 0$$

Отримаємо

$$m \cdot g \cdot \operatorname{tg} \alpha + F \cdot \cos \beta + F \cdot \sin \beta \cdot \operatorname{tg} \alpha - f \cdot m \cdot g - f \cdot F \cdot \sin \beta + f \cdot F \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \alpha = 0$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{f \cdot m \cdot g + f \cdot F \cdot \sin \beta - F \cdot \cos \beta}{m \cdot g + F \cdot \sin \beta + f \cdot F \cdot \cos \beta}$$

Сила F , з якою зерно при падінні діє на елемент стовпа, визначається по формулі:

$$F = \rho \cdot s \cdot V^2,$$

де ρ - (кг/м³),

r - (м),

V - (м/с).

Будемо мати

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{f \cdot \rho \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \cdot g + f \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot V^2 \cdot \sin \beta - \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot V^2 \cdot \cos \beta}{\rho \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \cdot g + \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot V^2 \cdot \sin \beta + f \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot V^2 \cdot \cos \beta}$$

$$tg\alpha = \frac{f \cdot \frac{4}{3} r \cdot g + f \cdot V^2 \cdot \sin \beta - V^2 \cdot \cos \beta}{\frac{4}{3} r \cdot g + V^2 \cdot \sin \beta + f \cdot V^2 \cdot \cos \beta}$$

Отримане вираження дозволяє визначити зміну тангенса кута тертя часток по купі залежно від швидкості падіння часток.

На рис. 2.2 показані залежності тангенса кута тертя від швидкості падіння часток на поверхню стовпа при різних кутах.

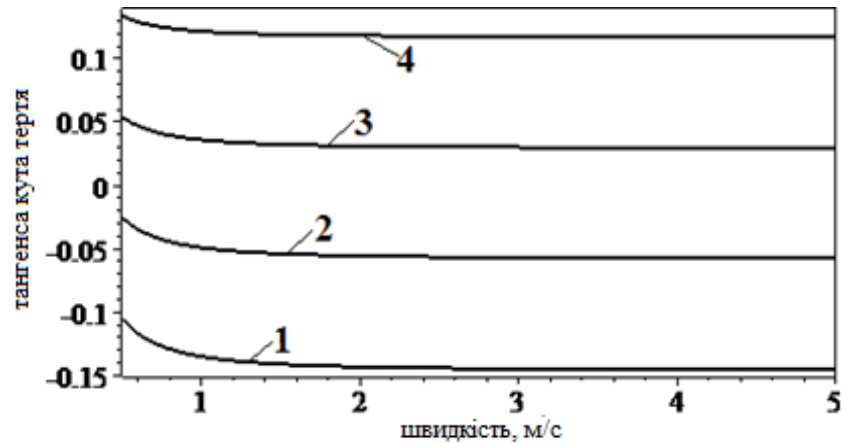


Рисунок 2.2 - Тангенса кута тертя від швидкості падіння часток:
1 - 65°; 2 - 70°; 3 - 75°; 4 - кут подання



Рисунок 2.3 - Залежність тангенса кута тертя від кута нахилу дотичної до траєкторії падіння часток

$$f \cdot \frac{4}{3} r \cdot g + f \cdot V^2 \cdot \sin \beta - V^2 \cdot \cos \beta = 0 \quad (2.3)$$

Розділивши на *+ і на нормований множник , отримаємо

$$\frac{4 \cdot f \cdot r \cdot g}{V^2 \cdot \sqrt{1+f^2}} + \frac{f \cdot \sin \beta}{\sqrt{1+f^2}} - \frac{\cos \beta}{\sqrt{1+f^2}} = 0 \quad (2.4)$$

Вводячи додатковий кут ϕ , визначуваний співвідношеннями

$$\cos \phi = \frac{f}{\sqrt{1+f^2}}, \sin \phi = \frac{1}{\sqrt{1+f^2}}$$

$$\beta = \phi - \arcsin \frac{4 \cdot f \cdot r \cdot g}{V^2 \cdot \sqrt{1+f^2}}$$

Визначення точки і швидкості падіння проводиться за допомогою чисельного рішення задачі Коші для квазілінійної системи звичайних диференціальних рівнянь другого порядку:

$$\begin{cases} \ddot{x} = k \cdot \dot{x} \cdot \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} \\ \ddot{y} = -k \cdot \dot{y} \cdot \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} - g \end{cases} \quad (2.5)$$

де k - коефіцієнт парусності.

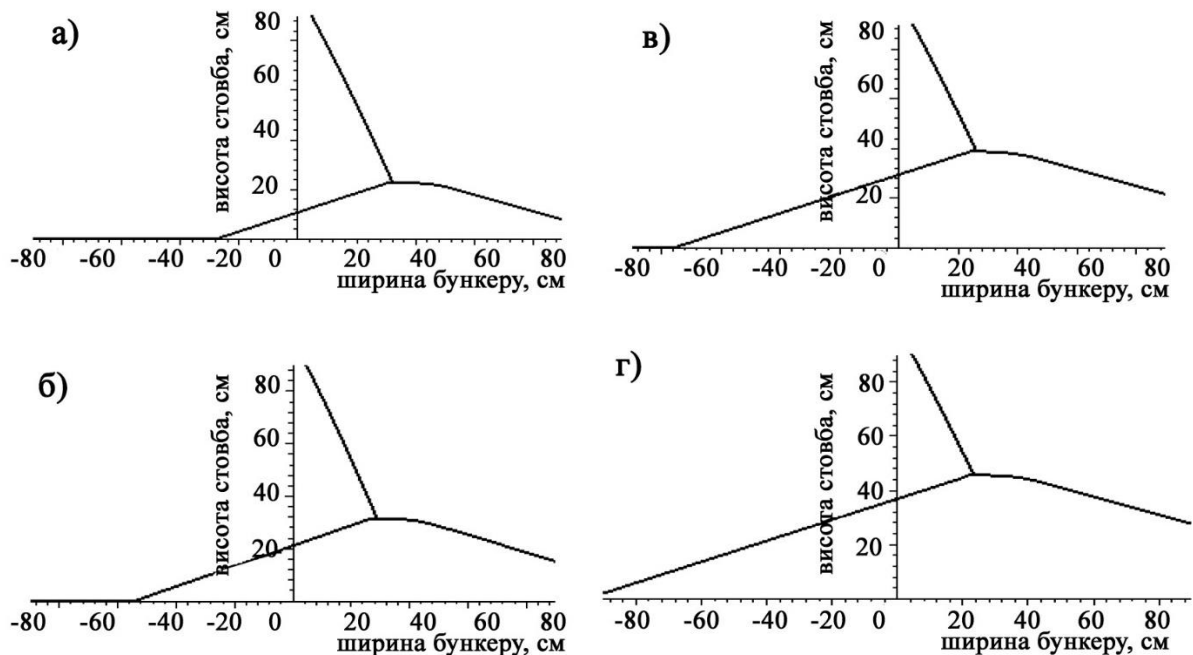


Рисунок 2.4 - Процес формування зернового стовпа у бункері на різній висоті:

- а) - висота стовпа 23 см; б) - висота стовпа 32 см; в) - висота стовпа 37 см;
г) - висота стовпа 45 см

Після визначення вказаних вище кінематичних характеристик падіння часток пропонується наступний алгоритм визначення форми стовпа, що

утворюється.

На рис. 2.5 стовп у бункері при різних кутах подання зерна. Чисельна реалізація алгоритму представлена в додатку Е, Ж і З.

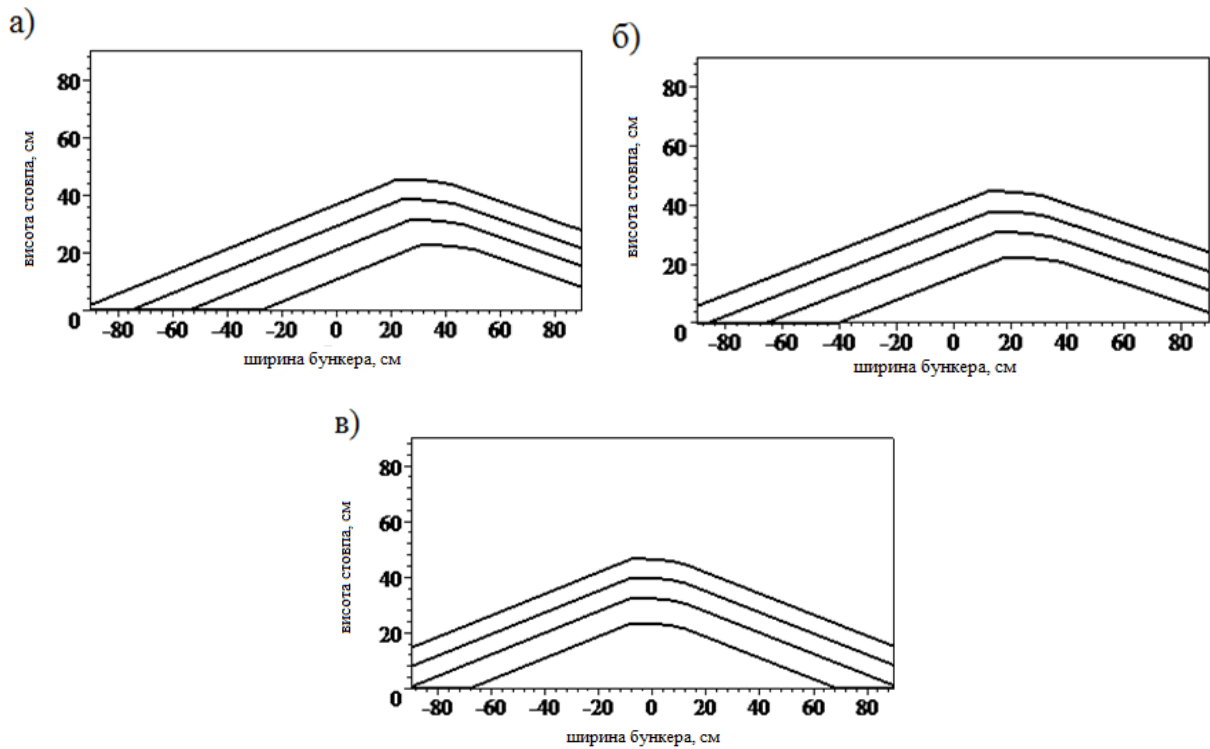


Рисунок 2.5 - Процес формування стовпа у бункері:
а) при вугіллі подання 70° ; б) при вугіллі подання 80° ; в) при вугіллі подання 90°

2.2 Заповнення бункера і розподілення тиску в зерновому шарі

Процес витікання сипких матеріалів з бункерів складений і досі складає предмет дослідження.

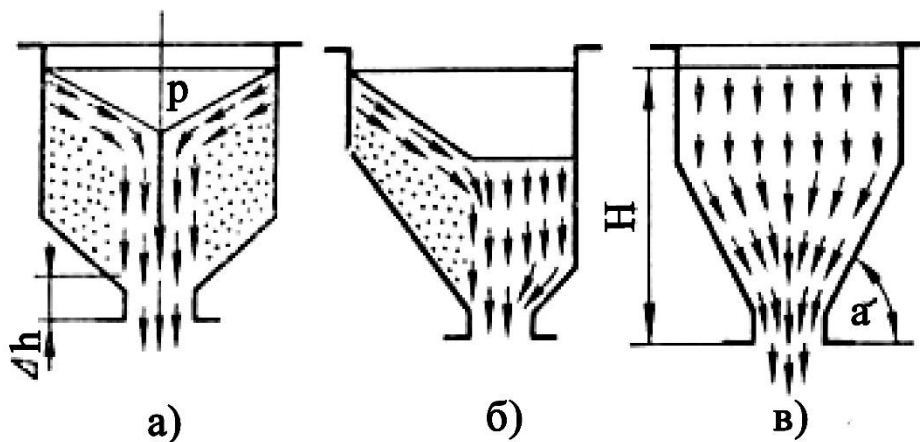


Рисунок 2.6 - Схеми витікання з бункерів:
а, б – витікання нормальне; в – витікання гідравлічне

При розгляді процесу витікання сипких сумішей з приймально-розподільного облаштування зерноочисної машини використовувалися методи класичної механіки і гідравліки, процес витікання матеріалів моделювався із застосування диференціальних рівнянь і подальших математичних обчислень. У основу розгляду цього питання використовувалися роботи ряду учених.

Рівномірність витікання сипкого матеріалу через отвір приймально-розподільного пристрою значною мірою залежить від сил, що діють на купу в зоні його витікання.

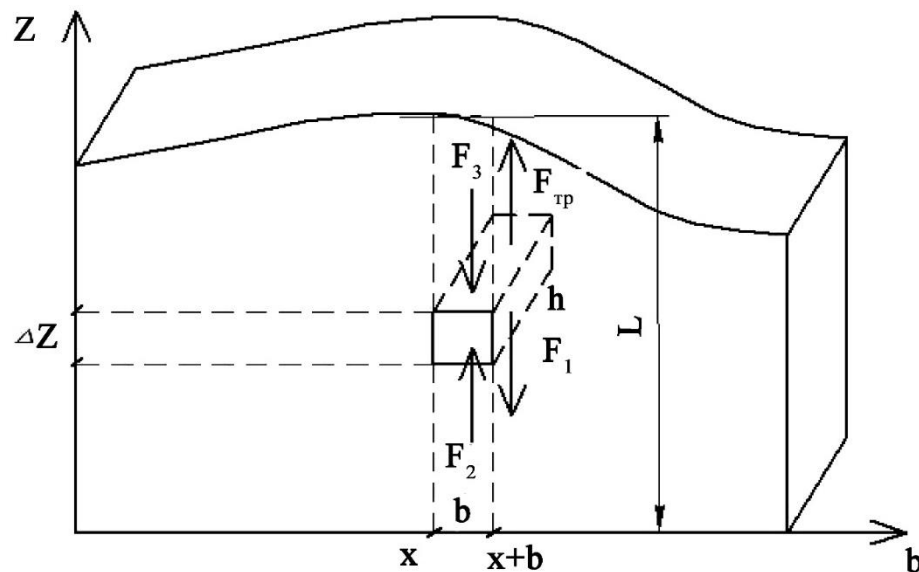


Рисунок 2.7 - Схема сил що діють на елемент зернового стовпа що знаходиться в приймально-розподільному пристрої.

$$F_1 = m \cdot g \quad (2.7)$$

де m - (кг);

g - (м/с²).

$$m = \rho \cdot \Delta V$$

де ρ - (кг/м³);

ΔV - (м³).

$$\Delta V = b \cdot \Delta z \cdot h$$

$$m = \rho \cdot b \cdot \Delta z \cdot h \quad (2.8)$$

Підставимо значення маси елемента зернового стовпа з вираження (2.8) у вираження (2.7), отримаємо значення сили тяжіння

$$F_1 = \rho \cdot b \cdot \Delta z \cdot h \cdot g \quad (2.9)$$

$$F_{mp} = k \cdot N, \quad (2.10)$$

$$N = P_{бок} \cdot S$$

$$S = \Delta z \cdot h$$

Тиск бічний

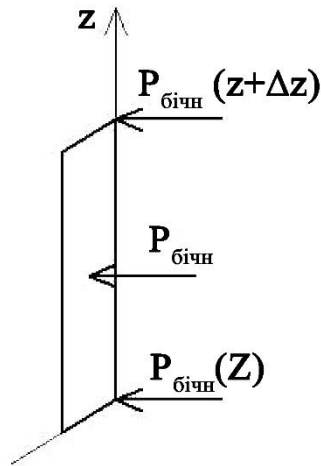


Рисунок 2.8 - Дія бічного тиску в приймально-розподільному пристрої на елемент зернового стовпа

$$F_2 = P(z) \cdot b \cdot h \quad (2.12)$$

$$F_3 = P(z + \Delta z) \cdot b \cdot h \quad (2.13)$$

де $P(z)$ – (Па);

$P(z + \Delta z)$ – (Па).

$$F_{mp} + F_2 - F_1 - F_3 = 0$$

$$2 \cdot k \cdot P_{бок}(z) \cdot \Delta z \cdot h + P(z) \cdot b \cdot h - \rho \cdot b \cdot \Delta z \cdot h \cdot g - P(z + \Delta z) \cdot b \cdot h = 0 \quad (2.14)$$

$$P_{бок}(z) = \zeta \cdot P(z) \quad (2.15)$$

$$\zeta = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} = \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\varphi}{2} + \frac{\pi}{4} \right)$$

$$P(z + \Delta z) \cdot b - P(z) \cdot b - 2 \cdot k \cdot \zeta \cdot P(z) \cdot \Delta z = -\rho \cdot b \cdot \Delta z \cdot g \quad (2.16)$$

$$\frac{P(z + \Delta z) - P(z)}{\Delta z} - \frac{2 \cdot k \cdot \zeta \cdot P(z)}{b} = -\rho g \quad (2.17)$$

$$dz - \frac{2 \cdot k \cdot \zeta \cdot P(z)}{b} = -\rho g \quad (2.18)$$

$$P(L) = 0 \quad (2.19)$$

$$P(z) = u(z) \cdot v(z) \quad (2.20)$$

Тоді

$$\frac{dP}{dz} = \frac{du}{dz} \cdot v(z) + u(z) \cdot \frac{dv}{dz}$$

З урахуванням попередніх виразів, диференціальне рівняння 1-го порядку прикмет вид

$$\frac{du}{dz} \cdot v(z) + u(z) \cdot \frac{dv}{dz} - \frac{2 \cdot k \cdot \zeta}{b} u(z) v(z) = -\rho \cdot g$$

Спростивши отримане рівняння, отримуємо

$$\frac{du}{dz} \cdot v(z) + u(z) \cdot \left[\frac{dv}{dz} - \frac{2 \cdot k \cdot \zeta}{b} v(z) \right] = -\rho \cdot g \quad (2.21)$$

Оскільки $v(z)$ може бути будь-якою функцією, ми обертаємо квадратну дужку в рівнянні (2.21) в нуль, тобто

$$\frac{dv}{dz} = \frac{2 \cdot k \cdot \zeta}{b} \cdot v$$

Після розділення змінних проінтегруємо це рівняння

$$\int \frac{dv}{v} = \int \frac{2 \cdot k \cdot \zeta}{b} dz$$

в результаті отримаємо

$$\ln v = \frac{2 \cdot k \cdot \zeta}{b} z$$

Вирішивши отримане рівняння, визначимо v

$$v = e^{\frac{2 \cdot k \cdot \zeta}{b} z} \quad (2.22)$$

Вирішуємо частину рівняння (2.21), що залишилася

$$\frac{du}{dz} \cdot v(z) = -\rho \cdot g \quad (2.23)$$

Підставимо вираження (2.22) в рівняння (2.23), отримаємо

$$\frac{du}{dz} = -\rho \cdot g \cdot e^{-\frac{2 \cdot k \cdot \zeta}{b} z} = -\rho \cdot g$$

Проінтегруємо це рівняння, отримуємо

$$u = \int -\rho \cdot g \cdot e^{-\frac{2 \cdot k \cdot \zeta}{b} z} dz = \rho \cdot g \cdot \frac{b}{2 \cdot k \cdot \zeta} \cdot e^{-\frac{2 \cdot k \cdot \zeta}{b} z} + C \quad (2.24)$$

де C - постійна інтеграції.

Підставляючи вираження (2.22) і (2.24) у вираження (2.20), після перетворень отримаємо

$$P(z) = u \cdot v = C \cdot e^{\frac{2 \cdot k \cdot \zeta}{b} z} + \frac{\rho \cdot g \cdot b}{2 \cdot k \cdot \zeta} \quad (2.25)$$

Використовуючи граничну умову (2.19) визначимо постійну інтеграції

$$0 = C \cdot e^{\frac{2 \cdot k \cdot \zeta}{b} L} + \frac{\rho \cdot g \cdot b}{2 \cdot k \cdot \zeta}$$

звідки C буде рівна

$$C = -\frac{\rho \cdot g \cdot b}{2 \cdot k \cdot \zeta} e^{-\frac{2 \cdot k \cdot \zeta}{b} L}$$

Підставляємо постійну інтеграції у вираження (2.25)

Отримуємо

$$P(z) = -\frac{\rho \cdot g \cdot b}{2 \cdot k \cdot \zeta} e^{-\frac{2 \cdot k \cdot \zeta}{b} L} \cdot e^{\frac{2 \cdot k \cdot \zeta}{b} z} + \frac{\rho \cdot g \cdot b}{2 \cdot k \cdot \zeta}$$

Остаточне вираження після усіх перетворень прикмет вид

$$P(z) = \frac{\rho \cdot g \cdot b}{2 \cdot k \cdot \zeta} \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot k \cdot \zeta}{b} (z-L)} \right) \quad (2.26)$$

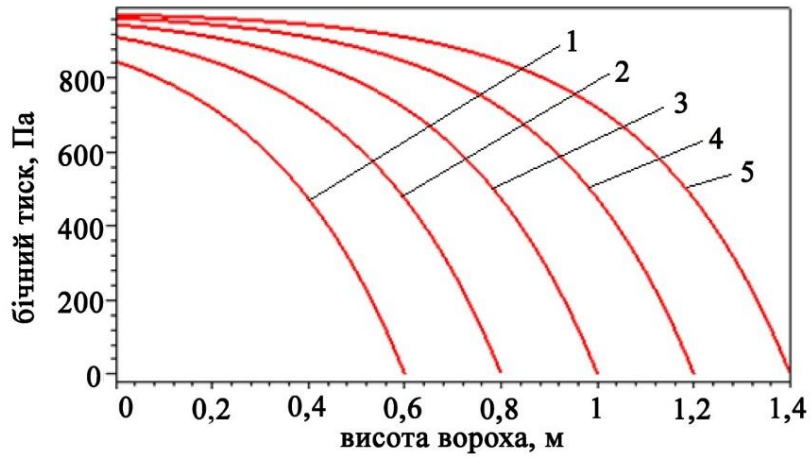


Рисунок 2.9 - Зміна тиску на зернівки у бункері приймальний- розподільного пристрою по висоті шару зернового стовпа: 1 - висота стовпа у бункері 0,6 м; 2 - висота стовпа у бункері 0,8 м; 3 - висота стовпа у бункері 1 м; 4 - висота стовпа у бункері 1,2 м; 5 - висота стовпа у бункері 1,4 м.

За умови, що висота зернового стовпа в бункері становить 0,6 м або менше, стабілізації тиску в шарі не відбувається. Тому висоту 0,6 м доцільно вважати нижньою межею, за якої забезпечується рівномірний вихід матеріалу крізь дозувальну щілину приймально-розподільного вузла.

За допомогою програмного модуля було змодельовано зміну бічного тиску у фіксованому шарі за різних рівнів завантаження бункера. На рисунку 2.10 наведено криву, що відображає залежність тиску в нерухомому шарі зернової маси від висоти стовпа у бункері.

Як видно з графіка, при висоті зернового шару 0,7 м тиск, що діє на окремі зернівки, коливається у значному діапазоні. Натомість за збільшення висоти стовпа до 1,2–1,4 м тиск у фіксованому шарі практично вирівнюється, що створює сприятливі умови для стабільного та рівномірного витікання матеріалу через дозувальну щілину. У діапазоні висот від 0,6 до 1,2 м спостерігаються суттєві зміни тиску. За невеликих висот стовпа тиск у фіксованому шарі або зовсім не формується, або має незначну величину, що пояснюється мінімальним впливом сил F_2 і F_3 у верхній частині шару.

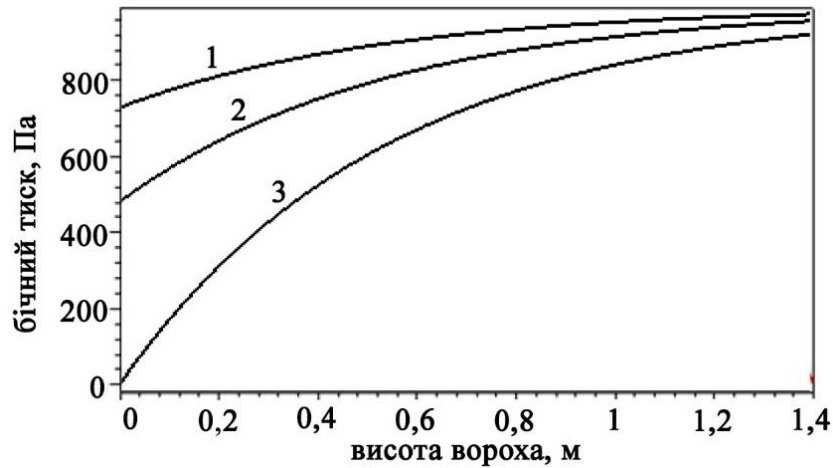


Рисунок 2.10 - Зміна тиску у фіксованому шарі зернового стовпа від висоти матеріалу у бункері: 1 – шар зерна на висоті 0,2 м; 2 - шар зерна на висоті 0,4 м; 3 - шар зерна на висоті 0,6 м

У фіксованому зерновому шарі на рівні 0,2 м спостерігається тенденція до вирівнювання тиску за різних висот завантаження бункера. Для висот стовпа 0,6 та 1,4 м різниця у тискових параметрах є мінімальною, тому їхній вплив на процес витікання матеріалу буде незначним. У шарах, розташованих на висотах 0,4 і 0,6 м, за великої загальної висоти стовпа тиск на зернівки практично вирівнюється. Проте за малих висот завантаження спостерігається суттєва неоднорідність тиску, що зумовлюватиме нерівномірний вихід матеріалу через дозувальну щілину.

Таким чином, для забезпечення стабільності тиску в нижніх шарах зернової маси, які безпосередньо впливають на інтенсивність витікання, необхідно формувати якомога більшу висоту зернового стовпа в бункері. Водночас слід враховувати конструктивні та габаритні обмеження бункера. Виконання цієї умови сприятиме рівномірному надходженню матеріалу через дозуючу щілину по всій ширині решітного стану.

Проведений аналіз дозволяє дійти висновку, що для однорідного розподілу зернової маси вздовж дозувальної щілини, а отже, по всій ширині решітного стану повітряно-решітної машини, необхідно підтримувати у бункері певну мінімальну висоту стовпа – не менше 0,6 м. Забезпечити таку висоту можливо лише за умови узгодження продуктивності норії, що подає матеріал, та самої

зерноочисної машини. Для цього доцільно передбачити систему автоматичного регулювання та стабілізації завантаження бункера.

Висновки

1. Виявлена закономірність формування зернового стовпа у бункері приймально-розподільного пристрою дозволяє визначити розташування зернового стовпа по ширині дозуючої щілини залежно від кута подання зерна.

2. Для формування симетричної стовпа у бункері приймально-розподільного пристрою при похилого подання необхідно зміщувати місце введення зерна у бункер на 25.27 см для кута нахилу подання 70° , а для кута нахилу подання 80° зміщення повинне складати 12.14 см

3. Встановлена аналітична залежність бічного тиску від висоти шару зерна у бункері приймально-розподільного пристрою, що дозволяє визначити бічний тиск в горизонтальному перерізі стовпа.

3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма досліджень експериментальних

Відповідно до поставлених завдань цієї дисертаційної роботи і результатів теоретичного аналізу була намічена наступна програма експериментальних досліджень, яка включає:

1) визначення фракційного складу зернового стовпа, що поступає на післяжнивну обробку;

2) визначення вологості пшениці, її клейковини і скловидної;

3) вплив способу подання зернового матеріалу на його формування у бункері гравітаційного приймально-розподільного облаштування легко-решітних зерноочисних машин;

4) вплив конструктивно-технологічних параметрів гравітаційного приймально-розподільного пристрою повітряно-решітних зерноочисних машин на рівномірність завантаження решіт.

3.2 Опис конструкції експериментальної установки

Для експериментальних досліджень була виготовлена експериментальна установка, яка моделює роботу приймально-розподільного облаштування зерноочисної машини первинного очищення МЗС-25.

Під дозуючою щілиною 5 встановлений на рухливій каретці 7 пробовідбірник 8 для відбору проб зернового стовпа. Внизу під кареткою пробовідбірника змонтований приймальний лоток 6 для збору зернового стовпа.

Пробовідбірник 8 встановлений на рухливій каретці 7 містить 12 місткостей, шириною по 15 см і заввишки 25 см Місткості розташовані під дозуючою щілиною 5 по усій її довжині.

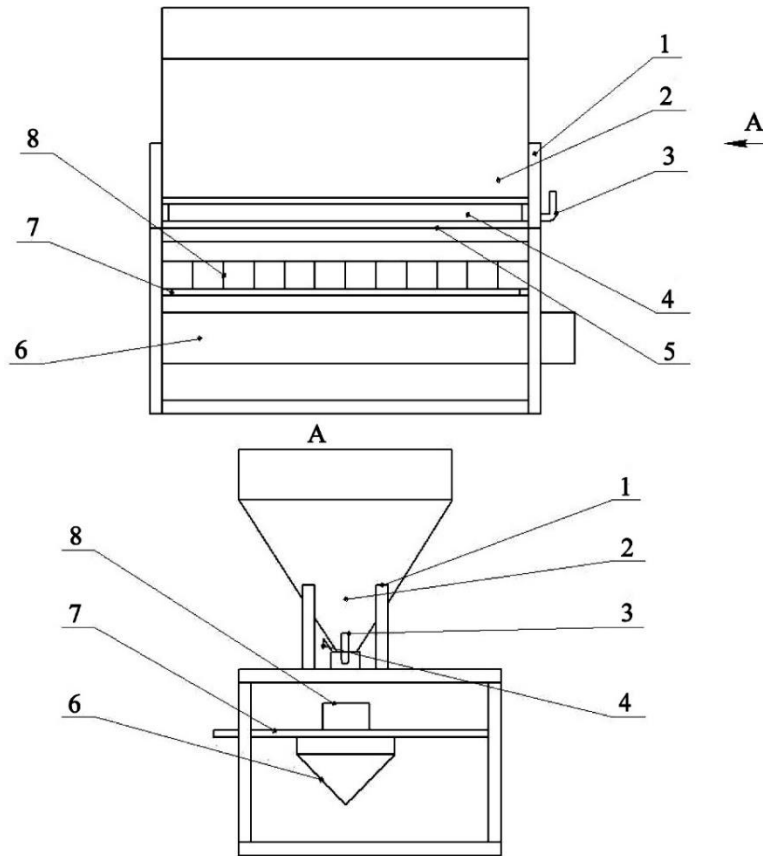


Рисунок 3.1 - Схема лабораторної установки:

- 1 - рама; 2 - завантажувальний бункер; 3 - регулятор заслінки; 4 - регулювальна заслінка; 5 - дозуюча щілина; 6 - приймальний лоток; 7 - рухлива каретка; 8 - місткість пробовідбірника



Рисунок 3.2 - Загальний вигляд пробовідбірника

Робота представленої експериментальної установки здійснюється наступним чином: вихідну зернову купу завантажували через живильний зернопровід в завантажувальний бункер 2. У бункері формували купу конусної форми різної висоти. При досягненні зерновим купою заданої висоти за допомогою регулятора 3 відкривали заслінку 4 на певну величину. Зерновий оберемок самопливом виходив з дозової щілини 5 і надходив у приймальний лоток 6. У момент встановленого режиму закінчення матеріалу через дозуючу щілину 5 підводили пробовідбірник 8 на 5 секунд під потік зернового вороху. Після чого дозуючу щілину 5 закривали. З кожної ємності пробовідбірника 8 зерно зважували на електронних вагах JW-1 з точністю до 1 г. Дані заносилися журнал експериментальних досліджень для подальшого аналізу. Експериментальні дослідження проводилися із застосуванням відомих методів планування експерименту та обробки дослідних даних. Надалі змінювали режим роботи приймально-розподільчого пристрою (величину дозової щілини), висоту зернового вороху, форму конуса вороху в бункері, місце введення матеріалу та повторювали експеримент.

3.3 Методика проведення дослідження

При визначенні складу вороху зразки зерна відбирали в пакети кондиційної вологості, що дорівнює 14%, у триразовій повторності приблизно по 0,5 кг кожен для подальшого аналізу в лабораторії.

З кожної відібраної проби виділяли по 3 навішування масою 45...50 г. Розбирання зразків проводили вручну на дошках розбірних. При цьому визначали такі показники: вміст зерна чистого, подрібненого, мікроушкодженого та засмічувачів. Отримані компоненти зважували на електронних терезах з точністю 0,01 р. Дані заносили до журналу експериментальних досліджень. За результатами аналізу наважок визначали середнє значення.

Зерно засипали в камеру вимірювача та накручували кришку на вимірювач.

Вмикали вимірювач і вибирали номер шкали, що відповідає типу зерна в камері. На цифровому дисплеї висвітлювалося значення вологості зразка.

Досліди проводили у триразовій повторності. За наслідками вимірів визначали середнє значення вологості зерна.

Для визначення склоподібності та вмісту клейковини застосовували фотоелектричний діафаноскоп. Принцип дії даного приладу ґрунтується на вимірі світлопропускання зернової маси. Електронна схема пристрою перетворює отриманий при цьому фотоелектричний сигнал цифрові значення склоподібності і масової частки клейковини в цілому зерні.

Для аналізу відбирали нормально розвинені зерна, виключивши щупле і дроблене зерно, а також бур'яни, мертві та зернові домішки. Проби зерна закладали у прилад, де шар цілого нерозмеленого зерна просвічується наскрізь світлом у ближній інфрачервоній області діапазону на довжині хвилі близько 1 мкм. Далі проводили виміри параметрів триразової повторності для кожної зернової проби пшениці. За показаннями цифрового табло визначали склоподібність, кількість клейковини у зерні пшениці. Результати записували до журналу експериментальних досліджень, знаходили середнє значення отриманих величин. Характер заповнення бункера приймально-розподільчого пристрою гравітаційного типу вплив істотно спливає зерна через дозуючу щілину. Тип приймально-розподільчого пристрою істотно впливає не тільки на рівномірність подачі зерна по ширині решітного стану, але і на пошкодження зерна.

Дані заносили до журналу експериментальних досліджень, які обробляли з використанням методів математичної статистики з визначенням середніх значень та середніх квадратичних відхилень.

- вибитим зародком;
- ушкодженим зародком;
- пошкодженою оболонкою зародка;
- пошкодженою оболонкою зародка та ендосперму;
- ушкодженим ендоспермом;

- пошкодженою оболонкою ендосперму.

$$T_{np} = G_2 + G_1 \frac{b_1}{b_2} + G_2 \frac{b_2}{b_2} + G_3 \frac{b_3}{b_2} + G_4 \frac{b_4}{b_2} + G_5 \frac{b_5}{b_2} + G_6 \frac{b_6}{b_2} \quad (3.1)$$

Для визначення лабораторної схожості відбирали по 4 проби. Насіння пророщували в термостаті, визначали енергію проростання та лабораторну схожість. В результаті аналізу підраховували середнє значення схожості всіх проаналізованих проб.

Оцінку збіжності розрахункових і експериментальних даних робили за величиною максимального і середнього відносного відхилень експериментальних значень від розрахункових по формулах:

$$\delta_{cp} = \frac{1}{n_m} \sum \frac{|y_{расч_i} - y_i|}{y_{расч_i}} \quad (3.2)$$

де n_m – кількість точок порівняння,

$y_{расч}$ и y_i – розрахункове і експериментальне значення параметра.

Висновки

Для обробки результатів експериментальних досліджень скористалися стандартними методами математичної статистики. Необхідна кількість повторень досвіду при проведенні експериментальних досліджень визначала з урахуванням вибраної надійності досвіду, рівної 0,95, помилка при якій приблизно дорівнює $\pm 3\sigma$. Виміри, що мають значення помилки вище за граничний, виключали, вважаючи промахами.

В період проведення експериментальних досліджень усі вимірювальні прилади перевірялися на початку і у кінці випробувань за їх робочими характеристиками, налаштування вимірювальної апаратури здійснювали одні і ті ж особи, впродовж усієї роботи використали одну і ту ж апаратуру.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Склад бункерного стовпа насіння пшениці

Для проведення досліджень на лабораторній установці як початковий матеріал була взята купа насіння пшениці з бункера зернозбирального комбайна «ACROS 580» отриманий під час прибирання. Досліди проводили на насінному матеріалі озимої пшениці. Вологість насіння складала 14 %. Перед проведенням дослідів визначали якісний склад початкової стовпа. Результати аналізу початкової стовпа представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Якісні показники початкової стовпа

№	Стигле зерно %	Роздрібнене зерно, %	Засмітки %	Стекловидність %	Зміст клейковини %	Схожість %	Мікротравмування, Тпр, %
1	97,36	2,24	0,40	64,12	26,70	97,36	10,3
2	97,31	2,33	0,36	63,87	26,30	98,75	10,6
3	97,38	2,23	0,39	63,12	27,50	97,23	10,4
4	97,47	2,28	0,25	64,24	29,20	96,92	10,7
5	97,56	2,26	0,18	63,47	28,80	97,90	10,6
Середнє	97,41	2,27	0,32	63,76	27,70	97,83	10,5

Таким чином, в початковій купі середній зміст цілого насіння складав 97,41 %, подрібненого зерен - 2,27 %, засмічувачів 0,32 %. Аналіз цілого насіння на лабораторну схожість показав, що вона коливається від 96,92 до 98,75 % і в середньому складає 97,83 %. Скловидну насіння складає 63,76 %, зміст клейковини 27,7 %. Узагальнений показник мікротравмування насіння, де усі види травм приведені до ушкодження зародка, знаходиться в межах 10,3-10,7 %.

4.2 Зернового вороху формування в бункері

Приймально-розподільні облаштування зерноочисних машин повинні

забезпечувати рівномірне подання оброблюваного матеріалу в пневматичний канал першої аспірації і, відповідно, на очисні решета. Одночасно до приймально-розподільних пристроїв пред'являється вимога: збереження цілісності структури зернівок оброблюваного матеріалу, тобто виключення або мінімізація ушкодження зерна.

Зерноочисні агрегати у більшості випадках містять одну подаючу норію і дві потокові лінії з набором машин для обробки зерна.

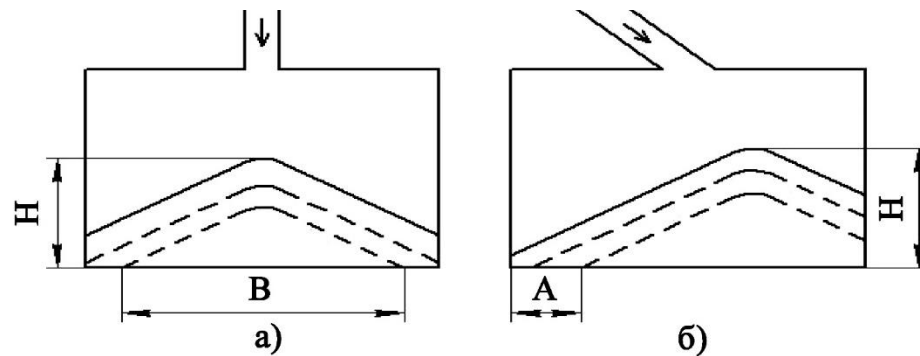


Рисунок 4.1 - Заповнення бункера приймально-розподільного пристрою: а) вертикальне розташування зернопровода; б) похиле розташування зернопровода; Н - висота стовпа; В - основа стовпа; А - вільна зона живлячої щілини

В цьому випадку потік зерна від норії поступає в приймальний- розподільне облаштування зерноочисних машин по зернопроводу, з бічним нахилом (рис. 4.1б).

У зерноочисних агрегатах з однією технологічною лінією подання зерна в приймально-розподільний пристрій здійснюється по зернопроводу без бічного нахилу (рис. 4.1а).

Природно, процес заповнення бункерів відрізнятиметься, що розглянуто в теоретичній частині дисертації.

Для підтвердження правильності теоретичних передумов по заповненню бункера.

Схема і принцип роботи лабораторної установки викладений в розділі 3

На малюнку 4.2 представлені теоретичні та експериментальні криві

формування зернового вороху в бункері гравітаційного приймально-розподільчого пристрою зерноочисної машини

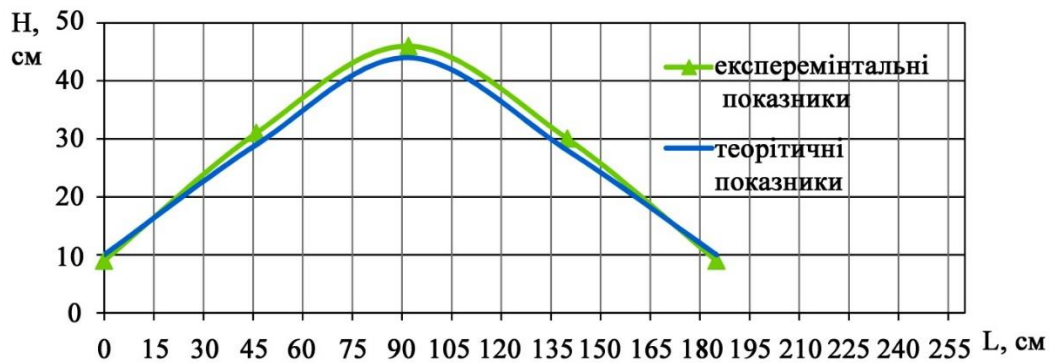


Рисунок 4.2 - Формування зернового стовпа у бункері гравітаційного приймально-розподільного пристрою:

H - висота стовпа, см; L - довжина основи бункера, см

З рис. 4.2 видно, що характер заповнення по ширині бункера приймально-розподільного облаштування зерноочисної машини, отриманий за допомогою експериментальних даних, підтверджує теоретичну залежність, представлену в главі 2. Незначні розбіжності пояснюються тим, що не вдається повністю імітувати процес, як це відбувається в реальній технологічній лінії. Окрім цього, невелику відмінність теоретичних і експериментальних даних можна пояснити допущеннями, прийнятими при теоретичних дослідженнях.

Аналіз представлених залежностей показує, що відмінність теоретичних і експериментальних даних, формування зернового стовпа у бункері гравітаційного приймально-розподільного пристрою носить несуттєвий характер, оскільки середнє відносне відхилення не перевищує 9 %.

Графічна залежність розташування вершини стовпа у бункері від кута нахилу подаючого патрубку для різних висот стовпа представлена на рис. 4.3.

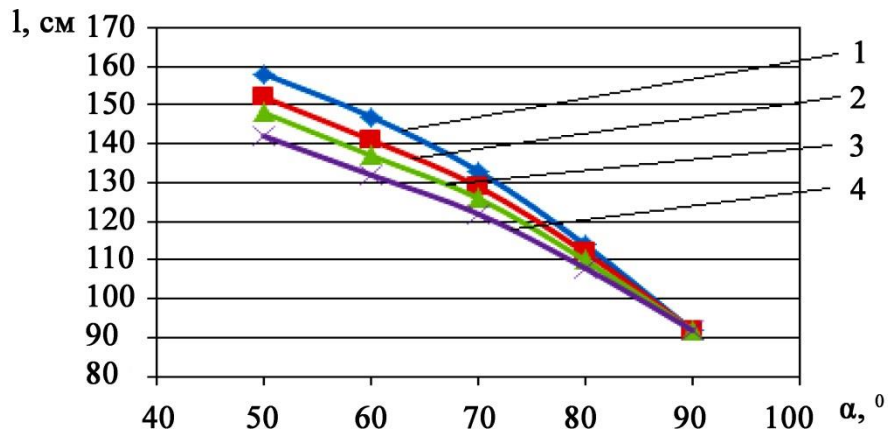


Рисунок 4.3 - Залежність розташування вершини стовпа (l , см) у бункері від кута нахилу подаючого патрубку (α , °) при поданні зерна по центру:

- 1 – висота стовпа (по вершині конуса H) 30 см; 2 - висота стовпа 39 см;
3 - висота стовпа 47 см; 4 - висота стовпа 52 см

Як показали результати проведених досліджень, при кутах подання матеріалу 50° , 60° , і 70° вершин стовпа зміщені від центру бункера істотно, при різній висоті заповнення бункера (розташування вершини стовпа заміряли від краю бункера з боку завантаження подаючого зернопровода). Зміщення зернового матеріалу до одного краю приведе до нерівномірного завантаження решіт зерноочисної машини. Це пояснюється тим, що зерновий потік придбаває швидкість в подаючому патрубку і за інерцією рухається до одного краю бункера, відповідно інша частина бункера залишається не завантажена. При вугіллі поданню матеріалу 80° вершина стовпа навіть при малих висотах стовпа розташовується поблизу центру бункера, а при 90° - точно по центру.

Залежність ширини основи стовпа у бункері від висоти шару в нім при центральному поданні матеріалу під кутом 90° представлена на рис. 4.4. З рисунку 4.4 видно, що зі збільшенням висоти зернового стовпа в бункері зростає і ширина його основи (рис. 4.1a), тобто ширина стовпа збільшується прямо пропорційно його висоті. Експериментальні дані показали, що повне заповнення бункера по ширині досягається за висоти стовпа близько 0,42 м.

Подальше збільшення висоти шару дозволяє сформувати достатню товщину матеріалу у крайових зонах бункера, що забезпечує більш рівномірне

завантаження решета по всій ширині зерноочисної машини. Остаточну необхідну висоту шару можна визначити, проаналізувавши процес витікання зерна через дозувальну щілину та оцінюючи рівномірність його подання на решітний стан.

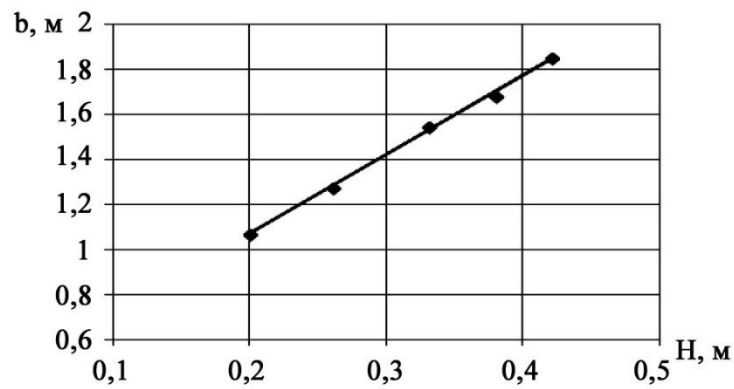


Рисунок 4.4 - Залежність ширини основи стовпа у бункері від його висоти:

b - ширина основи стовпа, м; H - висота стовпа (по вершині конуса), м

У потокових лініях часто встановлюють дві паралельні зерноочисні машини, що призводить до похилого подання зернової маси. Кут нахилу подаючого патрубку зазвичай складає приблизно 70° , у результаті чого утворюється вільна зона дозуючої щілини – частина бункера залишається незаповненою матеріалом (рис. 4.1б). Для оцінки цього явища побудовано залежність зміни розмірів вільної зони у бункері приймально-розподільного пристрою гравітаційного типу від висоти шару зерна за кута подання матеріалу 70° , представлену на рис. 4.5.

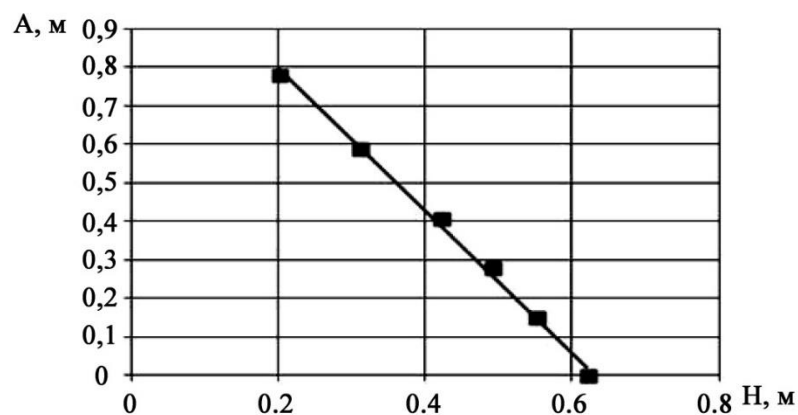


Рисунок 4.5 - Вільної зони залежність

Проведені експериментальні дослідження дозволяють констатувати, що без забезпечення певної висоти шару зерна у бункері забезпечити його рівномірне подання через дозуючу щілину на решітний стан не можливо. Тому для рівномірного подання зерна на решітний стан зерноочисної машини необхідно у бункері підтримувати певний шар зерна (не менше 62 см). Це можливо тільки при чіткій узгодженості продуктивності подаючої норії і живлячого облаштування зерноочисної машини. Погоджувати два об'єкти по продуктивності в ручному режимі практично неможливо, тому нами пропонується технічне рішення, що дозволяє регулювати витікання зерна з дозуючого пристрою для підтримки встановленої висоти шару у бункері.

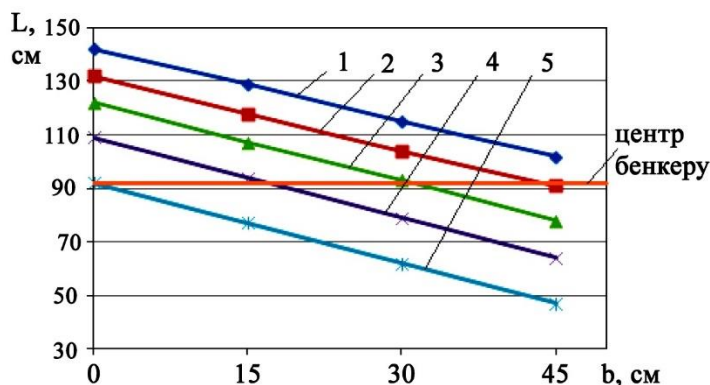


Рисунок 4.6 - Залежність зміщення вершини стовпа (L, см) від місця подання зерна у бункер (b, см): 1 - кут подання матеріалу (α) 50°; 2 - кут подання матеріалу 60°; 3 - кут подання матеріалу 70°; 4 - кут подання матеріалу 80°; 5 - кут подання матеріалу 90°

Представлені дані наочно показують, що при центральному завантаженні зернового матеріалу під кутом подання 50° розташування вершини стовпа знаходиться далеко від центру бункера, і навіть зміщення завантаження від центру бункера на 15, 30 і 45 не призводить до поліпшення результату. Це усе приведе до нерівномірного заповнення бункера, а при малих висотах стовпа спостерігаються вільні зони бункера, тобто частина дна бункера не завантажена.

При великих висотах стовпа один край буде завантажений більше, ніж інший. При поданні матеріалу під кутом 60° також спостерігається нерівномірне заповнення бункера, як при центральному завантаженні зернового матеріалу, так і при зміщенні завантаження на 15, 30 см. Проте при зміщенні місця подання зерна на 45 см спостерігається поліпшення заповнення, оскільки вершина зернового стовпа зміщується до центру бункера. Рівномірне заповнення зернового матеріалу під кутом подання 70° настає тільки при зміщенні завантаження на 30 см, а під кутом подання 80° настає при зміщенні завантаження на 15 см. В інших випадках подання матеріалу під кутом 70° , 80° приведе до віддалення вершини стовпа і погіршення рівномірності заповнення бункера. Кут подання матеріалу 90° при центральному завантаженні є найкращим, в цьому випадку забезпечується більше рівномірне заповнення бункера і зміщення подання матеріалу від центру на 15, 30, 45 см приведе до погіршення рівномірності заповнення бункера.

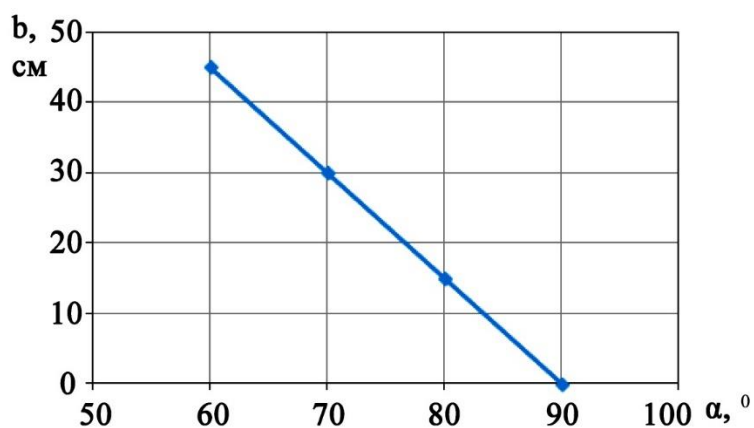


Рисунок 4.7 - Залежність зміщення місця введення зерна (b, см) у бункер від кута нахилу зернопроводу (α, °)

Для рівномірного заповнення приймально-розподільного облаштування зерноочисної машини необхідно підібрати місце введення зерна і кут нахилу подаючого зернопроводу так, щоб вершина зернового стовпа розташовувалася в центрі бункера. На рис. 4.7 представлена залежність зміщення місця введення зерна у бункер від кута нахилу зернопроводу. Використовуючи цю залежність, можна підібрати оптимальне розташування місця введення матеріалу залежно від кута нахилу зернопроводу. Так, наприклад, для $\alpha=70^\circ$ місце введення зерна

необхідно змістити приблизно на 30 см від центру бункера.

Проведені дослідження дозволяють зробити висновок: для рівномірного розподілу матеріалу по ширині робочої частини зерноочисної машини необхідно в гравітаційному приймально-розподільному пристрої мати рівномірно розподілену зернову купу, а це можна досягти: при центральному завантаженні матеріалу під кутом подання 90° ; при завантаженні матеріалу зі зміщенням 15 см від центру бункера під кутом подання 80° ; при завантаженні матеріалу зі зміщенням 30 см від центру бункера під кутом подання 70° ; при завантаженні матеріалу зі зміщенням 45 см від центру бункера під кутом подання 60° . При цих показниках спостерігатиметься якість очищення матеріалу і висока продуктивність зерноочисної машини.

4.3 Обґрунтування принципової схеми приймально-розподільного пристрою

Відповідно до поставлених завдань досліджень пропонуємо технічне рішення, приймально-розподільний бункер зерноочисної машини.

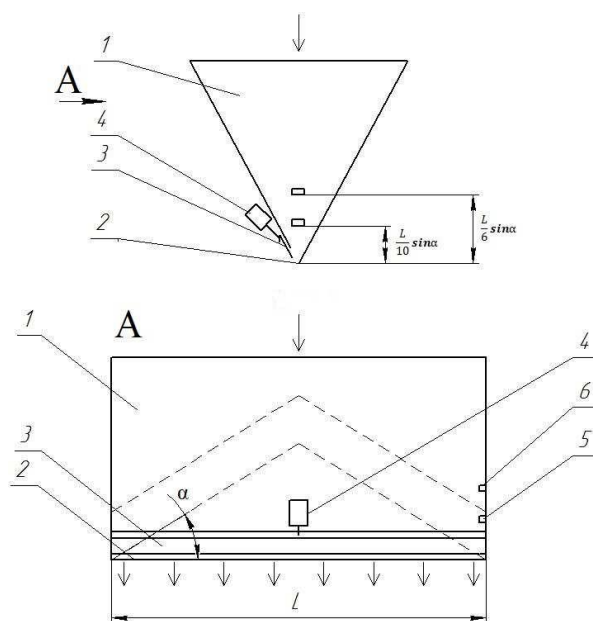


Рисунок 4.8 - Приймально-розподільний бункер зерноочисної машини:

- 1 - бункер; 2 - вивантажне вікно; 3 - заслінка; 4 - привід заслінки; 5 - датчик нижнього рівня матеріалу; 6 - датчик верхнього рівня матеріалу

Пристрій складається (рис. 4.8) з бункера 1 зерноочисної машини, в нижній частині якого є вивантажне вікно 2, заслінка 3 з приводом 4, який пов'язаний з датчиком нижнього рівня 5, віддаленого від нижньої кромки вивантажного вікна 2

Для забезпечення дозування по усій ширині вивантажного вікна необхідно у бункері підтримувати певну висоту шару. Підтримувати його вручну неможливо, оскільки погоджувати подання матеріалу у бункер і витікання його через вивантажне вікно неможливо або складно. На висоту шару впливають такі параметри як: L - довжина бункера і α - кут природного укосу зерна.

Приймально-розподільний бункер зерноочисної машини працює таким чином. Потік сипкого матеріалу подається в завантажувальний бункер 1. У бункері починає формуватися купа конусоподібної форми, при досягненні матеріалом рівня нижнього датчика 5, заслінка 3 залишається в закритому положенні. Матеріал у бункері 1 накопичується і при досягненні їм рівня верхнього датчика 6, сигнал від нього подається на привід 4, який відкриває заслінку 3. Витікання матеріалу збільшується через вивантажне вікно 2 і рівень у бункері 1 зменшується до нижнього датчика 5, сигнал від нього подається на привід 4, який прикриває заслінку 3, але не закриває її зовсім. Витікання матеріалу через вивантажне вікно 2 зменшується, а рівень його у бункері 1 підвищується до рівня верхнього датчика 6. Далі цикл роботи повторюється.

Цей датчик при такій висоті підтримує необхідний мінімальний шар у бункері і забезпечує рівномірність подання зерна на решета зерноочисної машини. Нижній датчик рівня управляє прикриттям заслінки приймально-розподільного бункера. Обидва датчики управляють тільки заслінкою приймально-розподільного облаштування зерноочисної машини, чим і забезпечується постійне рівномірне завантаження зерна на решета.

Технічний результат від використання пропонованого рішення - підвищення рівномірності подання сипкого матеріалу по ширині робочих органів легко-решітних зерноочисних машин. Це дозволить підвищити продуктивність і поліпшити якість очищення зерна.

Для підтвердження передумов були проведені дослідження. Працездатність

пропонованої конструкції була проведена в ході порівняльних випробувань у виробничих умовах.

На рис. 4.9 представлена залежність продуктивності зерноочисної машини від повноти виділення домішок.

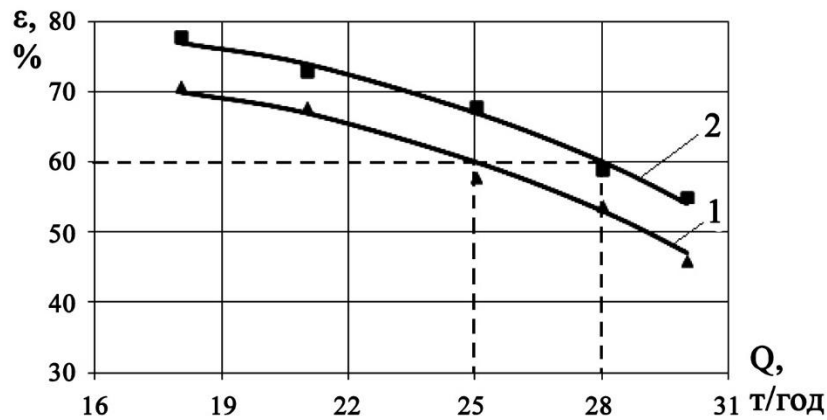


Рисунок 4.9 - Залежність продуктивності зерноочисної машини від повноти виділення домішок: 1 - базова машина; 2 - експериментальна машина;

Q - продуктивність зерноочисної машини, т/ч; ϵ - повнота виділення домішок, %

Аналіз даних, показують, що при повноті виділення смітних домішок 60 % серійна зерноочисна машина має продуктивність 25 т/ч, а зерноочисна машина МЗС-25 з вдосконаленим гравітаційним приймально-розподільним пристроєм, при такій же повноті виділення має продуктивність 28 т/год. Це пояснюється тим, що уся ширина робочих органів зерноочисної машини завантажена зерновим матеріалом рівномірно, і в цьому випадку відсутні недовантажені або переобтяжені зони, які негативно впливають на якість оброблюваного матеріалу.

Використання експериментальної конструкції гравітаційного приймально-розподільного пристрою дозволяє збільшити продуктивність зерноочисної машини на 12 %.

Висновки

Встановлено, що рівномірний розподіл зернової маси по ширині бункера досягається за умови вертикального центрального подавання матеріалу. Якщо ж

зерно надходить через похилий зернопровід, спостерігається зміщення зернового стовпа вбік однієї з бічних стінок.

Для формування симетричного розташування зернової купи під час завантаження через похилий зернопровід необхідно коригувати точку подачі матеріалу. Так, за кута нахилу зернопроводу 80° від вертикалі точку подачі слід змістити приблизно на 15 см; при куті 70° це зміщення має становити близько 30 см; при зменшенні нахилу до 60° необхідний зсув збільшується до 45 см.

Повне заповнення бункера по ширині за центрального вертикального завантаження (кут подачі 90°) досягається за висоти зернового шару близько 0,42 м. При подачі під кутом 70° заповнення нижньої частини бункера – живильної щілини – відбувається лише після формування стовпа висотою приблизно 0,62 м. Подальше збільшення висоти шару сприяє формуванню достатньої товщини в крайових зонах бункера, що покращує рівномірність подачі матеріалу на решітний стан машини.

Визначено, що рівномірність завантаження решіт повітряно-решітної зерноочисної машини істотно залежить від висоти шару матеріалу в бункері приймально-розподільного пристрою. Мінімальна висота стовпа при вертикальному завантаженні повинна становити не менше 45,48 см. У разі похилого подання під кутом 70° висота шару має бути збільшена щонайменше до 63,70 см, що забезпечує стабільну подачу та рівномірне навантаження решіт.

Запропоновано нове технічне рішення для розподілу зернового матеріалу по ширині зерноочисної машини, що дозволяє підвищити ефективність сепарації зернового матеріалу на решетах і продуктивність машини на 12 %.

5 ОСНОВНІ ВИМОГИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ

Післязбиральний обробіток зернових культур включає операції з очищення, сушіння, сортування, транспортування та підготовки зерна до зберігання або реалізації. Цей технологічний процес передбачає використання спеціалізованої техніки: зерноочисних машин, транспортерів, сушарок, вагових систем, а також ручного інструменту.

Процес післязбирального обробітку є потенційно небезпечним для працівників, оскільки включає контакт з рухомими робочими органами, пилом, шумом, вібраціями, високими температурами при сушінні зерна та підйом важких вантажів. Дотримання правил охорони праці та техніки безпеки дозволяє запобігти травматизму, професійним захворюванням та аварійним ситуаціям.

1. Загальні вимоги до працівників

До виконання робіт з післязбирального обробітку зернових допускаються особи, які: досягли 18 років; пройшли медичний огляд та навчання з охорони праці; ознайомлені з інструкціями з експлуатації техніки та ручного інструменту; мають посвідчення тракториста, машиніста зерноочисної або сушильної техніки.

Перед початком робіт проводиться інструктаж на робочому місці, де уточнюються: порядок організації робочого процесу; межі робочих зон та небезпечні ділянки; правила поведінки під час роботи з машинами та ручним інструментом; порядок дій у випадку аварійних ситуацій.

Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту: спецодягом, захисним взуттям, рукавицями, респіратором або маскою при пилових умовах, захисними окулярами та головними уборами.

2. Підготовка техніки та обладнання

Перед початком робіт обов'язково перевіряється техніка: зерноочисні машини, транспортери, сушарки; підйомно-транспортні механізми; вагові системи, шнеки, шнекові транспортери; наявність сигналізації, освітлення, запобіжних кожухів; справність гальмівних і рульових систем у транспортних засобах; наявність аптечки та вогнегасника.

Регулювання, ремонт або чистка робочих органів проводиться тільки після відключення живлення і зупинки агрегату, із дотриманням усіх вимог безпеки.

Ручний інструмент повинен бути справним, із надійно закріпленими ручками та без видимих дефектів.

3. Безпека при роботі з механізованим обладнанням

Основні вимоги: рух транспортерів, шнеків та іншого обладнання здійснюється за чітко визначеними маршрутами та швидкісними режимами; забороняється перебування людей у зоні дії обертових або рухомих частин; відстань між одночасно працюючими агрегатами повинна бути не менше 2–3 м; повороти, підйом і спуск зерна через шнеки здійснюються тільки після відключення живлення або переведення обладнання у транспортне положення; забороняється перевантаження машин або перевищення допустимих норм транспортування та обробки зерна.

Особлива увага приділяється сушаркам: високі температури створюють ризик опіків та пожеж. Використовуються термозахисні рукавички, екранування та контроль температури.

4. Безпека при ручних операціях

Ручні роботи включають: перенесення мішків із зерном; очищення решіт та агрегатів; сортування зерна; підготовку приміщень до зберігання.

Вимоги безпеки: дотримання правил підйому та перенесення вантажів; використання допоміжних пристроїв для перенесення (візки, лотки); обов'язкове використання спецвзуття та рукавичок; контроль за станом підлоги та проходів для уникнення падінь та травм.

5. Пожежна та екологічна безпека

Післязбиральна обробка зерна пов'язана з високим ризиком загоряння через пил, високу температуру, мастильні матеріали та електроприлади. Для запобігання пожежам: забороняється палити та використовувати відкритий вогонь у приміщеннях; обладнання та приміщення повинні бути очищені від пилу та залишків зерна; на кожному агрегаті обов'язково наявність вогнегасника; дотримання правил експлуатації електроприладів.

Екологічна безпека передбачає: недопущення витоку паливно-мастильних матеріалів; правильне утилізування відходів зерна; контроль пилу та шуму для мінімізації негативного впливу на довкілля.

6. Організація робочого місця: чітке зонування робочих ділянок; наявність аптечок, засобів сигналізації та інструкцій з охорони праці; контроль стану підлоги, проходів та сходів; забезпечення питною водою та умов для перерви і відпочинку.

Режим праці і відпочинку обов'язковий: після 2–3 годин роботи передбачаються короткі перерви, особливо при високій температурі або пилових умовах.

7. Вимоги після завершення робіт

Після завершення зміни: очистити техніку і обладнання від залишків зерна та пилу; перевірити стан агрегатів, зафіксувати несправності; прибрати робочу ділянку; скласти звіт про виконану роботу та подати інформацію керівництву; забезпечити правильне складування зерна та упаковок.

Висновки

Післязбиральний обробіток зернових культур є комплексним технологічним процесом, що включає очищення, сушіння, сортування, транспортування та підготовку зерна до зберігання або реалізації. Цей процес характеризується підвищеною небезпекою через використання механізованої техніки, ручного інструменту, підйому та перенесення важких вантажів, вплив пилу, шуму, вібрацій і високих температур.

Комплексне дотримання вимог охорони праці та техніки безпеки дозволяє не лише запобігти травматизму та професійним захворюванням, а й забезпечити ефективність виробничого процесу та високу якість обробки зерна. Серед основних напрямів безпеки слід виділити:

Підготовку персоналу. Регулярні інструктажі, навчання з охорони праці, медичний контроль та забезпечення засобами індивідуального захисту

формують культуру безпечної праці та підвищують відповідальність працівників.

Технічну підготовку обладнання та машин. Технічний огляд, регулювання робочих органів, наявність захисних кожухів та сигналізації, а також суворе дотримання правил експлуатації зменшують ризик аварій і поломок техніки.

Організацію робочого місця. Чітке зонування, наявність аптечок, сигнальних засобів, контроль стану підлоги, проходів і сходів, а також створення умов для перерв і відпочинку підвищують безпеку та продуктивність праці.

Пожежну та екологічну безпеку. Дотримання правил поводження з паливно-мастильними матеріалами, очищення приміщень від пилу та залишків зерна, контроль температурного режиму сушарок і правильне поводження з відходами запобігають пожежам і забрудненню довкілля.

Контроль за режимом праці та відпочинку. Раціональне чергування роботи та відпочинку запобігає перевтомі, яка часто є причиною помилок та травматизму, особливо під час виконання ручних операцій та роботи на шумних, вібруючих агрегатах.

Координацію роботи персоналу та взаємодію з технікою. Сигнальники, машиністи та робітники повинні чітко координувати свої дії, дотримуватися встановлених дистанцій та режимів роботи, що зменшує ризик нещасних випадків.

Системність підходу. Поєднання навчання персоналу, підготовки техніки, організації робочих місць, дотримання правил пожежної та екологічної безпеки створює комплексну систему захисту, яка забезпечує стабільність і ефективність виробництва.

Отже, системне дотримання вимог охорони праці та техніки безпеки є ключовим чинником забезпечення якості, ефективності та безпеки післязбирального обробітку зернових культур, що створює умови для розвитку стабільного, продуктивного та екологічно відповідального сільськогосподарського виробництва.

6 ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕКОНОМІЧНА

У сучасних умовах підвищення інтенсивності зерновиробництва та посилення конкурентного тиску на аграрному ринку особливої ваги набуває проблема підвищення ефективності післязбирального обробітку зерна. Якість очищення зернової маси безпосередньо впливає на збереження урожаю, сортність, можливість довготривалого зберігання та кінцеву рентабельність виробництва. Одна з ключових машин, що забезпечує первинне та первинно-сортувальне очищення зернових матеріалів, – це повітряно-решітна зерноочисна машина (ПРМ). Її конструктивно-технологічні параметри, продуктивність та стабільність роботи визначають рівень втрат, ступінь відокремлення домішок, а також витрати енергії та трудових ресурсів.

Економічна ефективність застосування ПРМ визначається сукупністю прямих і непрямих економічних вигод, серед яких: зменшення втрат зерна під час очищення, зниження витрат на ручне доочищення, зменшення собівартості кінцевої продукції, отримання продукції вищої якості, зменшення витрат зберігання та транспортування. Використання сучасних моделей повітряно-решітних машин дозволяє не лише покращити якість очищення, але й підвищити енергетичну ефективність технологічного процесу, знизити зношування робочих органів і скоротити кількість обслуговуючого персоналу.

Дослідження економічної ефективності ПРМ ґрунтується на оцінці її технологічного впливу на якість зерна, аналізі структури витрат під час експлуатації, визначенні умов окупності та розрахунку річного економічного ефекту. Належне економічне обґрунтування є основою для прийняття рішень щодо модернізації машинного парку, удосконалення технологічних схем очищення зерна та забезпечення стабільної рентабельності підприємства.

Повітряно-решітні машини виконують комплекс операцій: первинне, попереднє, основне та тонке очищення зернових матеріалів. Їхня ефективність визначається взаємодією повітряного та механічного (решітного) способів поділу зернової суміші, що забезпечує достатню селективність відокремлення

домішок різної крупності та аеродинамічних характеристик.

На економічну ефективність роботи ПРМ впливають такі основні фактори:

Продуктивність (Q , т/год) – визначає кількість очищеного зерна за одиницю часу і прямо пропорційно впливає на річний обсяг виконаних робіт.

Якість очищення (η , %) – чим вищий показник відокремлення домішок, тим менші втрати та більша ринкова цінність зерна.

Питомі енергетичні витрати (E , кВт·год/т) – впливають на загальні експлуатаційні витрати.

Коефіцієнт використання робочого часу (K_v) – відображає рівень завантаження машини протягом сезону.

Витрати на технічне обслуговування ($C_{то}$, грн/рік) – мають суттєвий вплив на собівартість обробки.

Чим вища надійність та ефективність роботи машини, тим меншими є експлуатаційні витрати та втрати продукції.

Основні економічні переваги застосування повітряно-решітних машин:

Зменшення втрат зерна.

Завдяки підвищеній селективності відокремлення домішок втрати можуть скорочуватися з 1,5–2,0 % до 0,3–0,6 %.

Зростання вартості очищеного зерна.

Після очищення зерно може бути класифіковане у вищий товарний клас, що підвищує його продажну ціну.

Скорочення трудових витрат.

Автоматизація операцій дозволяє зменшити кількість робітників на змінах.

Зниження витрат на сушіння та зберігання.

Підвищення рівномірності фракціонування сприяє швидшому сушінню та стабільному зберіганню.

Підвищення продуктивності зерноочисного комплексу.

Ці вигоди формують річний економічний ефект, що є базою для оцінки окупності інвестицій у ПРМ.

Економічна ефективність визначається порівнянням витрат на

впровадження та експлуатацію машини з отриманими економічними результатами.

Основні показники розрахунку:

Річний економічний ефект

$$E_p = \Delta B - \Delta C \quad (6.1)$$

де

ΔB – річні додаткові вигоди (зростання доходу, зменшення втрат), грн;

ΔC – додаткові річні витрати на експлуатацію, грн.

Термін окупності

$$T = K / E_p \quad (6.2)$$

де

K – капітальні витрати на придбання машини, грн.

Зниження собівартості очищення

$$\Delta S = S_0 - S_1 \quad (6.3)$$

де S_0 і S_1 – собівартість очищення 1 т зерна до і після впровадження ПРМ, грн/т.

Додатковий дохід від підвищення якості зерна

$$\Delta D = Q_{\text{річ}} \cdot (P_1 - P_0) \quad (6.4)$$

де $Q_{\text{річ}}$ – річний обсяг очищення зерна, т;

Ефект від зменшення втрат

$$E_{\text{вт}} = Q_{\text{річ}} \cdot (W_0 - W_1) \cdot P_1 \quad (6.5)$$

Приклад розрахунку економічної ефективності ПРМ

Розглянемо повітряно-решітну машину продуктивністю 10 т/год, яка працює 600 год/рік.

Річний обсяг очищення:

$$Q_{\text{річ}} = 10 \cdot 600 = 6000 \text{ т}$$

Вихідні дані:

- ціна зерна після очищення: $P_1 = 7300$ грн/т
- ціна зерна до очищення: $P_0 = 7000$ грн/т
- втрати до впровадження: $W_0 = 1.8\%$

- втрати після впровадження: $W1=0.5\%$
- капітальні витрати на придбання машини: $K=580000$ грн
- річні експлуатаційні витрати: $Сексп=90000$

Додатковий дохід від підвищення якості зерна

$$\Delta D=6000(7300-7000)=6000 \cdot 300=1800000 \text{ грн}$$

Економія від зменшення втрат зерна

$$E_{вт}=6000(0.018-0.005) \cdot 7300=6000 \cdot 0.013 \cdot 7300=569400 \text{ грн}$$

Річний економічний ефект

$$E_p=(1800000+569400)-90000=2279400 \text{ грн}$$

Термін окупності

$$T=2279400/580000 \approx 0.25 \text{ року}$$

Отже, машина окупається приблизно за 3 місяці, що свідчить про високу економічну доцільність її використання.

Висновки

Аналіз економічної ефективності повітряно-решітної зерноочисної машини показує, що її впровадження забезпечує значні економічні вигоди за рахунок зниження втрат зерна, підвищення його сортності, зменшення енергетичних та трудових витрат, а також збільшення рентабельності зерновиробництва. Використання сучасних моделей ПРМ дозволяє оптимізувати післязбиральний цикл, покращити ефективність роботи зерноочисного комплексу та забезпечити стабільну якість продукції.

Встановлено, що річний економічний ефект від роботи машини становить понад 2,27 млн грн, а термін окупності – менше одного року. Це підтверджує доцільність її використання у середніх та великих агропідприємствах. Повітряно-решітні зерноочисні машини є важливою складовою сучасних технологій післязбирального обробітку зерна, сприяючи підвищенню продуктивності та конкурентоспроможності аграрного сектору.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Проведені дослідження підтвердили, що в шнековому приймально-розподільних облаштуваннях відкритого типу зерноочисних машин відзначається значне дроблення зерна до 3,54 % і зниження схожості насіння до 91,14%. Нині перспективними для подальшого вдосконалення є приймально-розподільні облаштування гравітаційного типу.

2. Виявлена закономірність формування зернового стовпа у бункері гравітаційного приймально-розподільного облаштування легко-решітних зерноочисних машин, дозволяє визначити розташування зернового стовпа по ширині дозуючої щілини залежно від кута подання зерна. Встановлена аналітична залежність бічного тиску від висоти шару зерна у бункері приймально-розподільного облаштування легко-решітних зерноочисних машин, дозволяє визначити бічний тиск в горизонтальному перерізі стовпа. Теоретичні розрахунки показали, що для забезпечення рівномірного виходу зернової маси через дозувальну щілину приймально-розподільного пристрою по всій її довжині необхідно підтримувати висоту зернового стовпа в бункері не менше 0,6 м. Рівномірне заповнення бункера за шириною досягається за умови вертикального центрального подання зерна. Якщо ж подача здійснюється по похилому зернопроводу, формується зміщення стовпа в бік однієї з бічних стінок.

3. Для отримання симетричного розташування зернової купи за похилого подання матеріалу необхідно коригувати точку завантаження в бункері. Зокрема, при подачі під кутом 80° точку завантаження слід змістити приблизно на 15 см від центральної осі бункера; при куті 70° зміщення має становити близько 30 см; за зменшення кута до 60° необхідний зсув збільшується до 45 см. Повне охоплення ширини дозувальної щілини зерновою масою при вертикальному завантаженні (кут 90°) досягається за висоти стовпа близько 0,42 м, а при похилому завантаженні під кутом 70° – за висоти приблизно 0,62 м.

4. Результати експериментів засвідчили, що ступінь рівномірності завантаження робочих органів повітряно-решітних машин значною мірою

визначається висотою зернового шару в бункері. За вертикального введення зерна мінімальна висота шару в приймально-розподільному пристрої має становити не менше 45,48 см. Якщо ж подача здійснюється під кутом 70° через центральний похилий зернопровід, висоту шару слід збільшити до не менше ніж 63 см. Запропоновано технічне рішення приймально-розподільного облаштування легко-решітної зерноочисної машини, що дозволяє підтримувати певний шар зерна у бункері для рівномірного витікання матеріалу з дозуючої щілини по її довжині і підвищити продуктивність машини на 12 %.

5. Післязбиральний обробіток зернових культур є комплексним технологічним процесом, що включає очищення, сушіння, сортування, транспортування та підготовку зерна до зберігання або реалізації. Цей процес характеризується підвищеною небезпекою через використання механізованої техніки, ручного інструменту, підйому та перенесення важких вантажів, вплив пилу, шуму, вібрацій і високих температур. Комплексне дотримання вимог охорони праці та техніки безпеки дозволяє не лише запобігти травматизму та професійним захворюванням, а й забезпечити ефективність виробничого процесу та високу якість обробки зерна. Серед основних напрямів безпеки слід виділити:

Підготовку персоналу. Регулярні інструктажі, навчання з охорони праці, медичний контроль та забезпечення засобами індивідуального захисту формують культуру безпечної праці та підвищують відповідальність працівників.

Технічну підготовку обладнання та машин. Технічний огляд, регулювання робочих органів, наявність захисних кожухів та сигналізації, а також суворе дотримання правил експлуатації зменшують ризик аварій і поломок техніки.

Організацію робочого місця. Чітке зонування, наявність аптечок, сигнальних засобів, контроль стану підлоги, проходів і сходів, а також створення умов для перерв і відпочинку підвищують безпеку та продуктивність праці.

Пожежну та екологічну безпеку. Дотримання правил поведінки з паливно-мастильними матеріалами, очищення приміщень від пилу та залишків

зерна, контроль температурного режиму сушарок і правильне поводження з відходами запобігають пожежам і забрудненню довкілля.

Контроль за режимом праці та відпочинку. Раціональне чергування роботи та відпочинку запобігає перевтомі, яка часто є причиною помилок та травматизму, особливо під час виконання ручних операцій та роботи на шумних, вібруючих агрегатах.

Аналіз економічної ефективності повітряно-решітної зерноочисної машини показує, що її впровадження забезпечує значні економічні вигоди за рахунок зниження втрат зерна, підвищення його сортності, зменшення енергетичних та трудових витрат, а також збільшення рентабельності зерновиробництва. Використання сучасних моделей ПРМ дозволяє оптимізувати післязбиральний цикл, покращити ефективність роботи зерноочисного комплексу та забезпечити стабільну якість продукції.

6. Встановлено, що річний економічний ефект від роботи машини становить понад 2,27 млн грн, а термін окупності – менше одного року. Це підтверджує доцільність її використання у середніх та великих агропідприємствах. Повітряно-решітні зерноочисні машини є важливою складовою сучасних технологій післязбирального обробітку зерна, сприяючи підвищенню продуктивності та конкурентоспроможності аграрного сектору.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Олексієнко В. О., Петриченко С. В., Радєв С. Ю. Аналіз конструкцій зерноочисних машин. Таврійський науковий вісник. 2020. № 112. С. 45–52.
2. Розробка та удосконалення повітряно-решітних зерноочисних машин. Технології та обладнання АПК. 2018. № 4. С. 23–30.
3. Singh P., Mohapatra D. Design of screen cleaner for on-farm processing of grains. *Agricultural Engineering Today*. 2017. Vol. 41, № 2. P. 15–21.
4. Пат. SU 1641467 A1, C1 B07B 7/00. Grain cleaner. Опубл. 15.04.1991.
5. Aliyu M., Abdullahi A., Dambatta A. Design and construction of a multipurpose air screen grain cleaner. *International Journal of Engineering Research*. 2019. Vol. 8. P. 74–82.
6. Chauhan R., Sharma V., Singh K. Design and Fabrication of a Multi-Grain Cleaning and Grading Machine. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2018. Vol. 13, № 6. P. 422–430.
7. Бабенко В. Г., Козлов С. М. Двохаспіраційні повітряно-решітні машини нового покоління. *Вісник машинобудування*. 2017. № 3. С. 32–38.
8. Кобець А. С., Скляр В. Г., Сотник І. М. Машини і обладнання для зберігання та комплексної підготовки зерна. –Київ: Аграрна наука, 2012. 340 с.
9. Air Screen Cleaner: Technical Manual. Iowa State University Extension. Ames, 2016. 27 p.
10. Zhang N., Fu J., Shao S. Optimization of process parameters of an air-screen cleaning system for grain. *Agriculture*. 2021. Vol. 11. P. 1–12.
11. Bühler Group. Grain Cleaning for Food Safety. Uzwil, 2020. 35 p.
12. Bühler. TAS and ASU Grain Cleaning Machines. Technical Catalogue. Uzwil, 2019. 42 p.
13. PAM International. Air-Sieve Grain Cleaners Catalogue. Warsaw, 2020. 24 p.
14. OBC-355 Universal Grain Cleaner. Technical Data Sheet. Kansas, 2021. 12 p.

15. Збірник наукових праць КНТУ. Конструювання та виробництво сільськогосподарських машин. – Кропивницький: КНТУ, 2017. Вип. 4. 210 с.
16. Kachru R. P., Nath N. Performance evaluation and economic assessment of air-screen grain cleaners. *Journal of Agricultural Mechanization*. 2018. Vol. 52, № 1. P. 18–25.
17. US 3249220 A. Grain auger and cleaner. Publ. 05.04.1966.
18. Popescu D., Marin M. Considerations on technical equipment used for cleaning and sorting seed mixtures based on aerodynamic principles. *Journal of Engineering Studies*. 2019. Vol. 10. P. 56–63.
19. OLIS Ltd. *Technological Characteristics of Grain Cleaning Equipment*. Kyiv, 2020. 36 p.
20. Baker M. Essential cleaning equipment for high-quality grain milling. *Grain Milling Review*. 2019. Vol. 15, № 2. P. 12–18.
21. Станкевич Г.М. Страхова Т.В., Атаназевич В.І. Сушіння зерна. – К., 1997. 352 с.
22. Pichler H.J. Sorptionisothermen fur Getreide und Raps. *Landtechn. Forsch.* 1956. Bd. 6, No 2. P. 47.
23. Калетнік Г.М., Войтюк В.Д., Бондар С.М. та ін. Управління інженерною діяльністю виробничих і сервісних підприємств АПК. – К., 2010. 448 с.
24. Паламарчук І. П., Берник П. С., Стецько З. А., Яськов В. В., Зозуляк І. А. Тепломасообмінні процеси та обладнання переробного та харчового виробництва. Том 2 Навчальний посібник. Львів: Видавництво „Бескид Біт”, 2006. 368 с.
25. Babic M. Influence of basic wheat grain physical properties onto hydrodynamical regimes. *AgEng. Madrid* 23. September 1996, Paper 96F-067.
26. Bohnet M. *Mechanische Verfahrenstechnik*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, 2004. 270 s.
27. Cajueiro D.O. Controlling self-organized criticality in sandpile models. *Physical Review E: Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*. 2010. Vol. 81. pp. 015-102.

28. Mitt. Biol. Bundensamst. Land-und Forstwirt. Berlin; Dahlem, 1986. M.232. S.134.
29. Берник П. С., Паламарчук И. П., Зозуляк И. А. Анализ конструкций вибрационных сушилок для сыпучей сельскохозйственной продукции. Вибрации в технике и технологиях : Всеукраин. НТЖ. – Вінниця, 1998. 2 (6). С. 14–21.
30. Bandura V. Zozuliak I., Palamarchuk V. Description of heat exchange in the similarity theory of vibrating drying process of sunflower. Ukrainian Journal of Food Science, 2014. Vol. 2. Issue 2. 305-311.
31. Зозуляк І. А. Обґрунтування конструкції вібрмашини для сушіння гранульованих і зернистих матеріалів. Східно-європейський журнал передових технологій. 2014. №1/7(67). С.15-19
32. Burdo O. Using of the wave technologies in intensification processes of heat and mass transfer. EUREKA: Physics and Engineering. 2017. No 4. С. 18–24.
33. Котов Б. І., Спірін А. В., Зозуляк І. А., Півнюк А. В. Розрахунок кінетики сушіння неоднорідних рослинних матеріалів. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК». 2017. №1 (96). С.93-95
34. Спірін А.В. Котов Б. І., Зозуляк І. А., Півнюк А. В. Розрахунок кінетики сушіння неоднорідних рослинних матеріалів. Техніка, енергетика, транспорт АПК. – Вінниця, 2016. №4, С.52-54
35. Паламарчук В. І., Паламарчук І. П., Цуркан О. В., Харченко С. О. Дослідження конкурентоздатності віброхвильової конвеєрної інфрачервоної сушарки для післязбиральної обробки зерна. Східно-Європейський журнал передових технологій, 2016. № 2/7(80), С. 79-85.
36. Пазюк В. М. Теплонасосні сушильні установки в процесах сушіння зерна. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК». 2016. №2 (94). С.53-57
37. Пазюк В. М., Снежкін Ю. Ф., Петрова Ж. О., Створення нових теплотехнологій отримання якісних фолатовмісних функціональних порошків. Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. Харків : ХДУХТ, 2016. Вип. 1 (23). с. 80-89

38. Пазюк В. М., Пазюк О. Д. Енергозберігаючі режими сушіння насіннєвого зерна та реалізація їх у вібраційній зерносушарці. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях». 2016. №3 (83). С.202-206
39. Паламарчук І. П., Цуркан О. В., Паламарчук В. І. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми інфрачервоної віброхвильової конвеєрної сушарки для післязбиральної обробки сипкої сільськогосподарської продукції. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. 2015. № 1(89). Том 1. С. 117-123.
40. Бандура В. М., Маренченко О. І., Пилипенко Є. О. Сушіння насіння соняшнику в електромагнітному полі. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК». 2017. №2 (98). С.63-68.
41. Бандура В.М. Перспективи застосування інфрачервоного та мікрохвильового поля в процесі переробки олійних культур. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК». 2016. №3 (95). С.94-101
42. Бандура В. М., Кірієнко О. О. Розвиток інфрачервоної техніки для обробки зерна. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2015. №3(92). С.53-58.
43. Пазюк В.М., Токарчук О.А., Токарчук Д.М. Сучасний стан проблеми енергоефективності в світі та в Україні. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2021. №1(112). С. 88 –99.
44. Булгаков В.М., Г.М. Калетнік, Черниш О.М. Теоретичне дослідження збурених гармонійних коливань у вібраційних приводах машин Вібрації в техніці та технологіях. №2 (82) 2016. С.5–9
45. Сивак Р. І., Деревенько І. А. Короткий курс теоретичної механіки: ТОВ «Вінницька міська друкарня», 2016. 200 с.
46. Солоня О. В., Купчук І. М. Теорія механізмів і машин. Курсове проектування. Навчальний посібник. 2-ге вид., допов. і перероб. – Вінниця: ВНАУ, 2019. 249 с.

47. Любін М. В., Гунько І. В. Конвеєри з гнучким тяговим елементом: навч. посіб; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, ВНАУ. – Київ.: Хай-Тек Прес, 2012. 269 с.

48. Токарчук О. А. Результати експериментальних досліджень з визначення тягового зусилля робочих органів трубчатого конвеєра. Збірник наукових праць Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. 2014. Вип. 1 (40). С. 52–59.

49. Любин М. В., Токарчук А. А. Закономерности истечения сыпучего материала через бункерные скребки трубчатых конвейеров на вертикальных участках трассы. Збірник наукових праць ВНАУ. Серія Технічні науки. 2014. 2(85). С. 164–169.

ДОДАТКИ