

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Допущений до захисту:
Заст. завідувача кафедри
к.т.н., доцент Труханська О.О.

(підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)
« ____ » _____ 2021 р.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗПОДІЛУ ЗЕРНОВОЇ МАСИ ПО
ШИРИНІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПОВІТРЯНО-РЕШІТНИХ
ЗЕРНООЧИСНИХ МАШИН**

Робота на здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти за
спеціальністю 208 Агроінженерія

Виконав: студент групи 6-АІ
Цицюрський Андрій Юрійович

Керівник: к.т.н., доцент
Токарчук Олексій Анатолійович

Вінниця - 2021

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

ЗАТВЕРДЖУЮ
Заст. завідувача кафедри
к.т.н., доцент Труханська О.О.

(підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)
« ____ » _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

студенту Цицюрський Андрій Юрійович

на тему

«Дослідження процесу розподілу зернової маси по ширині робочих органів повітряно-решітних зерноочисних машин»

затверджену Наказом від 2021 року № .

Вихідні дані для підготовки роботи:

1. Методичні вказівки з виконання магістерської роботи.
2. План-проспект магістерської роботи.
3. Підручники і навчально-методичні посібники, статистичні дані.
4. Наукові видання (монографії, книги, збірники, журнали, методики, матеріали ЦНТІ).
5. Методика економічної оцінки результатів досліджень.
6. Дані власних досліджень, одержаних в попередній період.

Календарний план виконання магістерської роботи

Структура роботи		Обсяг стор.	Термін підготовки	Підпис керівника
Анотація		2	Березень 2021 року	
Вступ		2	Березень 2021 року	
Розділ 1	СТАН МІРИ РОЗРОБЛЕНОСТІ ТЕМИ	28	Квітень 2021 року	
Розділ 2	ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗПОДІЛУ ЗЕРНОВОГО СТОВПА ПО ШИРИНІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЛЕГКО-РЕШІТНИХ ЗЕРНООЧИСНИХ МАШИН	20	Квітень 2021 року	
Розділ 3	ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	11	Липень 2021 року	
Розділ 4	РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	12	Серпень - Вересень 2021 року	
Висновки		2	Жовтень 2021 року	
Список використаної літератури		9	Жовтень 2021 року	

Термін подання роботи на кафедру

для попереднього захисту «___» _____ 2021 р.

Завдання видано «___» _____ 2021 р.

Завдання прийняв до виконання _____ А.Ю. Цицюрський

Керівник _____ О.А. Токарчук к.т.н., доцент
(підпис)

Анотація

Цицюрський Андрій Юрійович «Дослідження процесу розподілу зернової маси по ширині робочих органів повітряно-решітних зерноочисних машин» рукопис. Магістерська робота виконана у Вінницькому національному аграрному університеті, Вінниця 2021 р.

В магістерській роботі підвищено рівномірність розподілу зернового вороху по ширині робочих органів повітряно-решітних зерноочисних машин при сході з приймально-розподільчого пристрою шляхом стабілізації рівня зерна в бункері пристрою. Для вирішення даних завдань розроблено нове технічне рішення для реалізації процесу рівномірного розподілу зернового вороху за шириною робочих органів повітряно-решітних зерноочисних машин. Встановлено залежність бічного тиску від висоти шару зерна в бункері приймально-розподільчого пристрою повітряно-решітних зерноочисних машин.

Ключові слова: зерновий ворох, зерноочисні машини, гравітаційно приймально-розподільчий пристрій, бічний тиск, кут подачі зерна

Annotation

Tsitsyursky Andrey Yurievich "Research of process of distribution of grain weight on width of working bodies of air-sieve grain-cleaning machines" manuscript. Master's thesis performed at Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia 2021

In master's degree work an equitability to the lots grain-growing is increased on the width of working organs of air-sieve grain cleaners at east from a receiving-distributive device by stabilizing of level of grain in the bunker of device. For a decision assigned a new technical decision is worked out for realization of process of even distribution grain-growing to the lots after the width of working organs of air-sieve grain cleaners. Dependence of lateral pressure is set on the height of layer of grain in the bunker of receiving-distributive device of air-sieve grain cleaners.

Keywords: grain-growing lots, grain cleaners, gravitationally receiving-distributive device, lateral pressure, corner of serve of grain

Зміст

	ВСТУП	8
1	СТАН МІРИ РОЗРОБЛЕНОСТІ ТЕМИ	11
1.1.	Склад зернового стовпа того, що поступає на післяжнивну обробку і вимоги до якості насіння	11
1.2.	Аналіз технічних рішень приймально-розподільних облаштувань зерноочисних машин	14
1.3.	Вплив конструктивно-технологічних параметрів приймально-розподільних пристроїв на якість насіння	24
1.4.	Висновки по розділу	37
2	ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗПОДІЛУ ЗЕРНОВОГО СТОВПА ПО ШИРИНІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЛЕГКО-РЕШІТНИХ ЗЕРНООЧИСНИХ МАШИН	39
2.1.	Формування стовпа у бункері приймально-розподільного пристрою	39
2.2.	Вплив характеру заповнення бункера на розподіл тиску в зерновому шарі	48
2.3.	Висновки по розділу	58
3	ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	59
3.1	Програма експериментальних досліджень	59
3.2	Опис конструкції експериментальної установки	59
3.3	Методика проведення дослідження	63
3.3.1	Методика визначення складу вороху	63
3.3.2	Методика визначення вологості зерна	64
3.3.3	Методика визначення склоподібності та вмісту клейковини	65
3.3.4	Методика визначення параметрів купу в бункері при його заповненні	66
3.3.5	Методика визначення розподілу зерна за шириною робочої машини	67
3.3.6	Методика визначення пошкодження зерна	67
3.3.7	Методика обробки експериментальних даних	69

4	РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	70
4.1	Склад бункерної стовпа насіння пшениці	70
4.2	Формування зернового вороху в бункері приймально-розподільного пристрою	71
4.2.1	Заповнення бункера приймально-розподільного пристрою при подачі зерна по центру	71
4.3	Обґрунтування принципової схеми приймально-розподільного пристрою	78
4.4	Висновки по розділу	81
	ВИСНОВКИ	82
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	84
	ДОДАТКИ	93

Вступ

Продовольча безпека країни є частиною національної безпеки України і більшою мірою визначається валовим збором зерна, який потрібний для створення посівних фондів, забезпечення продуктами харчування населення і тваринництва зернофуражем. Головна проблема агропромислового комплексу країни - це стійке нарощування виробництва зерна.

Широке використання сучасних технологій та технічних засобів є головним напрямом розвитку агропромислового комплексу країни. Від якості насіння залежить врожайність сільськогосподарських культур. Порівняно з провідними країнами Європи та Канадою, в яких урожайність зернових культур становить 80 ц/га та 50...60 ц/га відповідно, у нашій країні цей показник значно нижчий і становить 18...20 ц/га. Така невисока врожайність зернових культур залежить від різних причин: недотримання технології обробітку та зберігання культури, погодно-кліматичних умов, але основна причина – це низька якість насінневого матеріалу.

Найважливіша умова отримання високого валого збору врожаю – якісна післязбиральна обробка насіння. Очищення, сортування, сушіння, зберігання, вантажні та транспортні роботи є головними складниками післязбиральної обробки. Зернова купа включає: дроблене зерно, насіння культурних і бур'янів, полу, окремі колосся і уривки соломи. Всі ці домішки негативно впливають не тільки на якість продовольчого та насінневого зерна, а й ускладнюють зберігання.

В Україні і за кордоном для очищення насінневого та продовольчого зерна застосовують зерноочисні машини, в конструкціях яких є прийнятно-розподільні пристрої. Вони подають зернову купу на робочі органи зерноочисної машини. В даний час широкого поширення набули пристрої гравітаційного типу, але такі пристрої часто не забезпечують рівномірність подачі зернового вороху по ширині робочих органів зерноочисної машини. Тому підвищення ефективності процесу розподілу матеріалу по ширині робочих органів за рахунок

вдосконалення конструкції та обґрунтування параметрів приймально-розподільчого пристрою зерноочисної машини є важливим завданням.

Об'єкт досліджень. Об'єктом досліджень є процес подачі та розподілу зернового матеріалу приймально-розподільчим пристроєм по ширині робочих органів повітряно-решітних зерноочисних машин.

Предмет досліджень. Предметом досліджень є закономірність розподілу зернового вороху поверхнею приймально-розподільного пристрою повітряно-решітних зерноочисних машин.

Задачі досліджень:

- 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.

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. Для проведення розрахунків та обробки результатів експерименту застосовували сучасні ЕОМ та використовували програмне забезпечення: Microsoft Excel, MatLab, Mathcad.

Наукова новизна одержаних результатів.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

- 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, а датчики встановлені на відстані від кромки вивантажувального вікна, що визначається в залежності від довжини вивантажувального вікна та кута природного укосу зерна;

- раціональні конструктивно-технологічні параметри гравітаційного приймально-розподільного пристрою.

РОЗДІЛ 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 [1, 2, 3, 4].

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 насіння смітних рослин, які містять до 50-80 % води і негативно впливають на стан зерна [8, 9, 10, 13].

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 [8, 16].

Щоб поліпшити посівні якості насіння треба вчасно видаляти із зернової маси бур'яни, пил, зелені частини рослин. Такі показники як вологість, маса 1000 зерен, засміченість, смак, запах, колір, зараженість шкідниками характеризують якість товарного зерна.

Найбільша негативна дія на якість і зберігання зерна робить вологість. При вологості більше 20 % зернова купа має бути оброблена протягом доби для безпечного зберігання. Зернова купа з високою вологістю в перші години зберігання схильна до посилення інтенсивності дихання, що призводить до підвищення температури, появи плісняви і бактерій, внаслідок чого повністю або частково псується зерно [7, 8, 9].

За даними авторів [5, 6, 7, 8] при початковій вологості 28 % на третю добу зберігання необробленої стовпа зерна насінного призначення його енергія проростання знизилася з 62 до 8 %, схожість з 82 до 20 %, при цьому температура зросла з 27 до 43 °С. В процесі прибирання вологість зерна основної культури змінюється від 16 до 52 % 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. При вологості зернового стовпа 16.17 % вологість недозрілих зерен може досягати 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 [9, 15, 16].

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 [3, 9, 10, 13].

Для отримання насіння необхідної якості необхідно очищати, сортувати і калібрувати зерновий матеріал. Під час очищення із зернового стовпа виділяють сторонні домішки, а саме насіння бур'янів і інших культур, мінеральні і органічні домішки, щуплі і подрібнені зерна. Після цього зерно сортують і розділяють його за якістю і призначенню. Під час усіх процесів важливо якомога менше травмувати насінний матеріал, оскільки це знижує польову схожість [17, 20].

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 [15, 23].

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 [23].

1.2 Аналіз технічних рішень приймально-розподільних облаштувань зерноочисних машин

Зерноочисні машини призначені для очищення зернового стовпа різних культур з доведенням його до продовольчих кондицій. Вони діляться на стаціонарні і пересувні машини. Стаціонарні зерноочисні машини використовують на зерноочисних комплексах і агрегатах, а пересувні зерноочисні машини застосовують для очищення зерна на відкритих майданчиках, під навісом і в зерноскладах. За типом робочих органів і призначенням зерноочисні машини діляться на 2 види: машини загального призначення і спеціальні. Машини загального призначення бувають чотирьох типів: повітряні, легко-решітні, трієрні і повітряно-решітний трієрні машини, які використовують при первинному і вторинному очищенні насіння зернових, бобових культур. Спеціальні машини застосовують при очищенні зерна від домішок, які неможливо відокремити на машинах загального призначення, до яких відносяться пневматичні сортувальні столи, діелектричні і фрикційні сепаратори, електромагнітні машини і інші [9, 12, 14, 15, 16, 18].

Подання зернового матеріалу на робочі органи зерноочисних машин здійснюється за допомогою приймально-розподільних пристроїв. Приймально-розподільні пристрої повинні забезпечувати оптимальне завантаження робочих органів зерноочисних машин. Подання оброблюваного матеріалу необхідно підтримувати в необхідній кількості, тобто безперервний вступ зернового матеріалу за часом і рівномірне заповнення ширини робочих органів зерноочисних машин [4, 13, 18].

Основні завдання приймально-розподільного облаштування зерноочисних машин - забезпечити номінальну продуктивність; можливість коригувати номінальну продуктивність; рівномірний розподіл матеріалу по ширині робочих органів [4].

Вживані нині пристрої для подання і розподілу зернового матеріалу в

зерноочисних машинах можна розділити на 3 групи: приймально-розподільні облаштування примусової дії (рис. 1.1), гравітаційної дії (рис. 1.4) і комбінованої дії (рис. 1.6) [1, 4, 15, 17].

До приймально-розподільних облаштування примусової дії (рис. 1.1) розподіл по ширині приймальної камери і подання зернового стовпа на робочі органи зерноочисної машини здійснюється тільки за рахунок робочих органів, до яких відносяться розподільні шнеки, що живлять валики, вібротки, перетрушувачі, лоток, що коливається, і так далі. Використання робочих органів дозволяє рівномірно розподіляти зернову купу по ширині сепаруючої поверхні зерноочисних машин, проте, такі пристрої значно травмують оброблюваний матеріал [4, 5, 13].

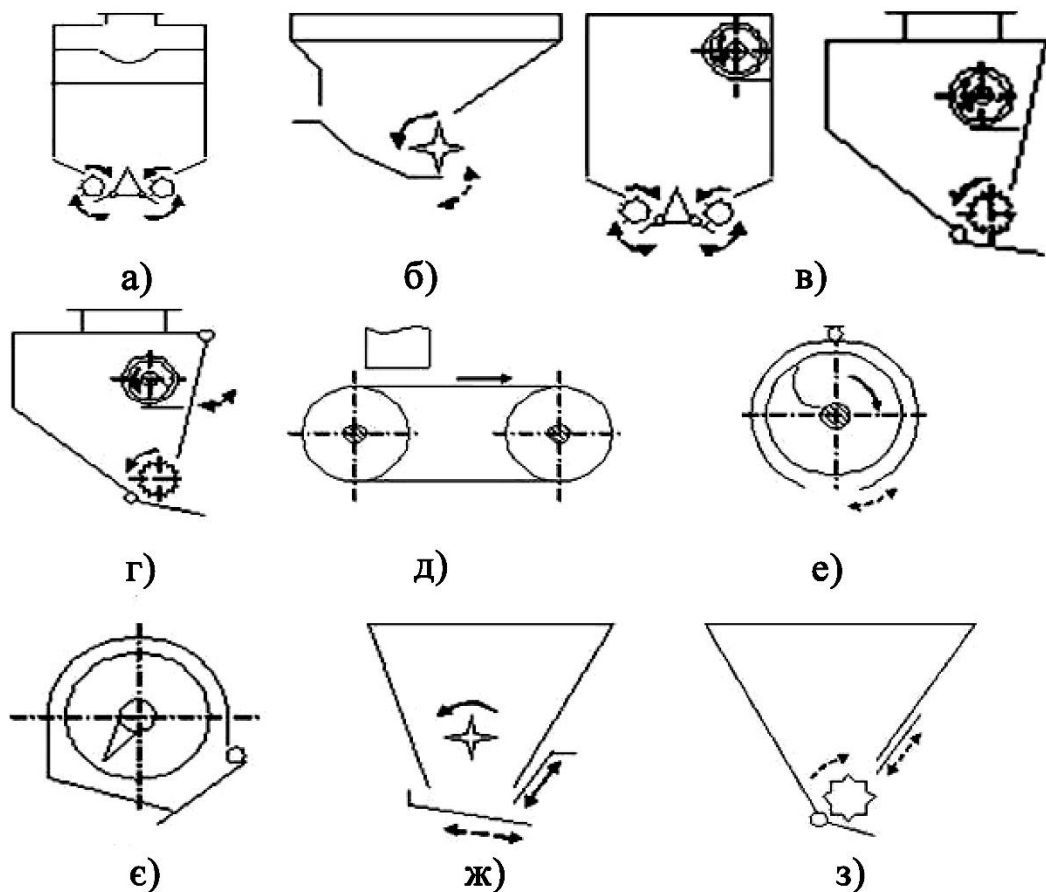


Рис. 1.1. Приймально-розподільні облаштування примусової дії:

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); є) напірний-розподільний шнек + клапан; ж) ворушилка + лоток + регулювальна засувка; з) живильник + регулювальна засувка (клапан).

В основному приймально-розподільні облаштування примусової дії використовують на зерноочисних машинах первинного очищення.

До приймально-розподільних облаштувань примусової дії відносяться розподільні пристрої шнекового, барабанного, стрічкового і вібраційного типів. Як правило, розподіл зернового стовпа усередині приймальної камери здійснюється шнековими пристроями, а подання - за рахунок застосування живлячих валиків, лотків, що коливаються, стрічкових і шнекових транспортерів.

Приймально-розподільний пристрій складається з кожуха, напірний-розподільного шнека і підпружиненого клапана (рис. 1.1є). У таких пристроях просування оброблюваного матеріалу від місця завантаження до протилежного кінця відбувається за рахунок обертання шнека. Подання матеріалу на робочі органи зерноочисної машини здійснюється підпружиненим клапаном, який закритий до того часу, поки матеріал не досягне торцеву стінку живильника. Як тільки це станеться, тиск на клапан зростає і станеться його відкриття. Для рівності вступу зернового стовпа і подання його в зерноочисну машину використовується регульоване зусилля притиснення клапана. Приймально-розподільний пристрій впливає на травмування насіння, посівні якості, а так само рівномірний розподіл зернового стовпа по ширині сепаруючої поверхні зерноочисної машини за рахунок режиму роботи живильника-розподільника, а саме від кількості зернового матеріалу, сили притиснення клапана, тиску, що створюється усередині камери приймального пристрою [4, 12].

Зі збільшенням сили притиснення клапана і подання матеріалу в приймально-розподільний пристрій збільшується рівномірність завантаження решітного стану зерноочисної машини. Навіть за оптимальних умов роботи машини, після проходження матеріалу через розподільний шнек, травмування насіння зростає на 1,5 %[6, 18].

Застосування приймально-розподільних облаштувань вібрлоткового типу (рис. 1.1ж, 1.1з) дозволить понизити травмування зернового матеріалу. Проте,

для рівномірного розподілу зернового матеріалу по ширині робочих органів, такі пристрої потребують великої точності установки кутів нахилу лотків і вібраційного приводу, що істотно ускладнює конструкцію зерноочисних машин [5].

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.



Рис. 1.2. Приймально-розподільний пристрій з рифленим валиком:
1 – живильний вал; 2 - лопатки; 3 - денце

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 [7, 8, 9, 13, 16].

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 переміщаються 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 [7, 9].

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 [10, 12].

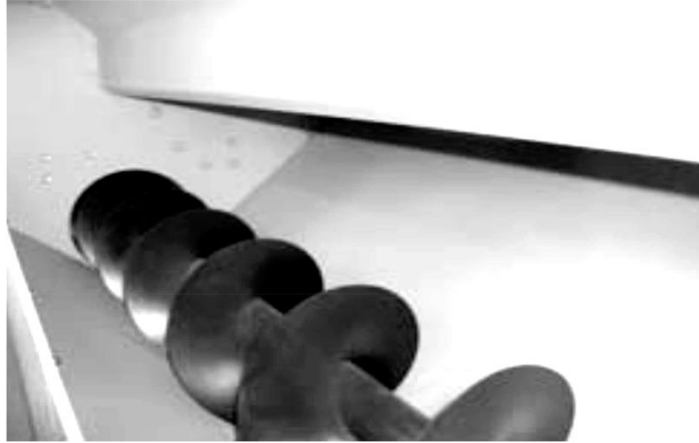


Рис. 1.3 Живильний шнек

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 матеріалом, який пройшов первинне очищення. Головна перевага гравітаційних приймально-розподільних пристроїв полягає в тому, що вони практично не травмують зерновий матеріал [2, 4, 15].

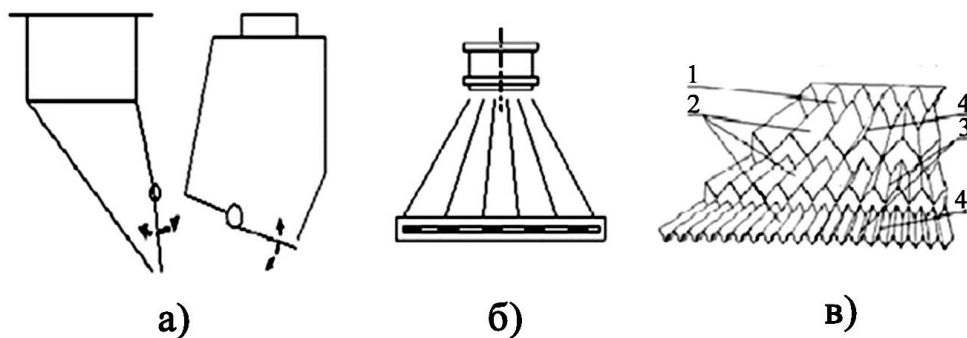


Рис. 1.4 Приймально-розподільні облаштування гравітаційного типу:
а) бункерний приймально-розподільний пристрій з гравітаційним клапаном; б) скатні дільники; в) гофрований розподільний пристрій.

До групи гравітаційних приймально-розподільних пристроїв входять скатні

дільники (рис. 1.4б), бункерний приймальний- розподільні пристрої з гравітаційним клапаном (рис. 1.4а). Пасивні пристрої, а саме скатні дошки, сітки, встановлені похило і безпосередньо в каналі, дуже прості по пристрою, мають невеликі габаритні розміри і не потребують додаткового приводу. Спосіб введення за допомогою сіток має ряд недоліків, основним з яких є слабе розпушування і розшарування зернового стовпа, що поступає, що не призводить до оптимальних умов сепарації. Також цей спосіб не забезпечує рівномірного розподілу матеріалу по ширині сепаруючої поверхні і герметичність облаштування введення [4, 13].

Скатні розподільні пристрої широко використовуються із-за простоти своєї конструкції. Перевагою таких пристроїв є те, що вони практично не травмують зерновий матеріал, проте мають істотний недолік: працюють тільки при малій продуктивності і з матеріалом що пройшов попереднє очищення [9].

Бункерні приймально-розподільні пристрої з підпружиненим або вантажним клапаном застосовуються на зерноочисних машинах з невеликою шириною робочих органів. Використання таких пристроїв дозволяє мінімізувати ушкодження зернового матеріалу з причини відсутності активнодієвих робочих органів. Головним недоліком механізмів із статичним накопиченням зерна над клапаном являється те, що вони мають тенденцію до порційного випуску зернового матеріалу. Принцип роботи подібних пристроїв полягає в наступному: зерно подається через приймальний патрубков і накопичується в камері до певного рівня, як тільки тиск досягає величини, що перевищує протитиск вантажів, відкривається клапан і подає зерно на робочі органи зерноочисної машини. Подальша зміна проміжку між клапаном і направляючим скатом визначається зміною кількості зерна в камері [4, 11].

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 [4, 6, 12].

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 [9, 11].

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 регульовального клапана. Під дією сили тяжіння матеріалу гравітаційний клапан опускається, відкривається розвантажувальний отвір. Зі збільшенням величини розвантажувального отвору, збільшується продуктивність загрузочно-распределительного пристрої. Матеріал через розвантажувальний отвір бункера-компенсатора потрапляє на гофрований розподільний пристрій, при цьому заповнюючи гофри завантажувальної частини і ділиться на кількість однакових потоків рівне кількості гофр. По мірі просування потоків відстань між ними

збільшується [7].

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 тиску 3, 8, розташовані у вихідних патрубках 4, 7. Кожен вихідний патрубок має додатковий зернораспределитель, що має такий же пристрій як попередній [11].

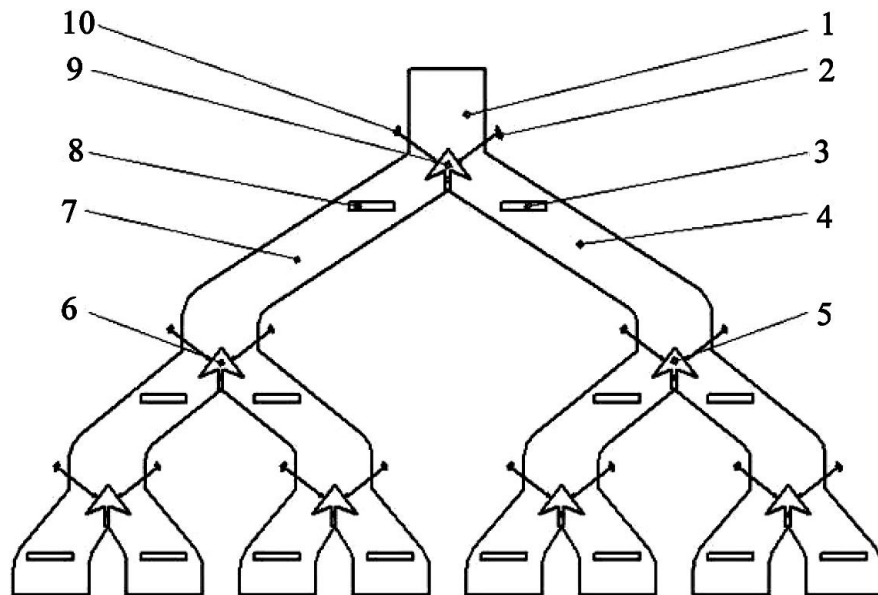


Рис. 1.5 Гравітаційний приймально-розподільний пристрій:
1 - вхідний патрубок; 2, 10 - штовхальники; 3, 8 - датчики тисків; 4, 7 - вихідні патрубки; 5, 6, 9 - дільники потоку

Потік сипкого матеріалу подається в завантажувальний патрубок 1, поступає на дільника 9, ділиться на два рівні потоки, кожен з яких спрямовується у вихідні патрубки 4 і 7. На виході з кожного патрубку встановлені дільники 5 і 6, які також ділять потік сипкого матеріалу на два однакових (другий ступінь) і так далі на третій і подальших східцях. При нерівномірному діленні зернового потоку сигнал від датчиків тиску 3, 8, що знаходяться у вихідних патрубках 4, 7,

поступає на штовхальник 2 або 10, 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.

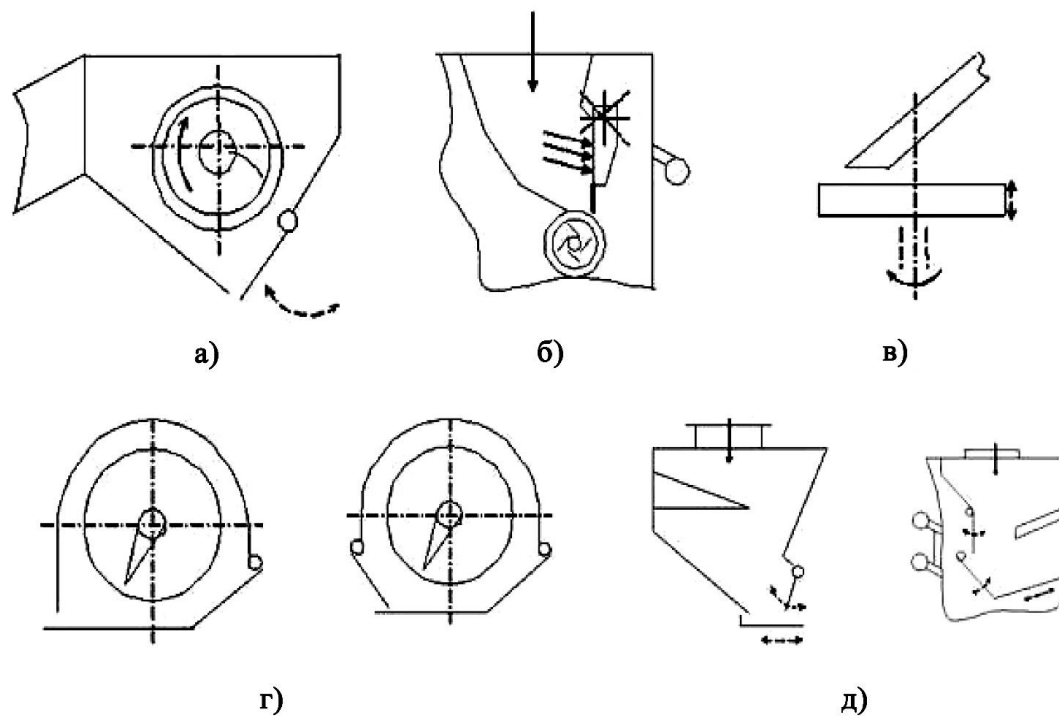


Рис. 1.6 - Приймально-розподільні облаштування комбінованої дії:
 а) розподільний шнек + гравітаційний клапан; б) живильний вал + заслінка; в) тарілчастий розподільний пристрій; г) розподільний шнек + гравітаційний клапан; д) розподільний лоток + лоток + клапан (двохклапаний механізм).

У приймально-розподільних облаштуваннях комбінованої дії (рис. 1.6) в основному розподіл матеріалу усередині приймальної камери відбувається за рахунок активnodієвих робочих органів, а подання матеріалу здійснюється дією гравітаційних сил. Гравітаційний клапан встановлений на дні приймальної камери цих пристроїв і відкривається під дією сили тяжіння зернового матеріалу,

що знаходиться усередині цієї камери [1, 4, 11, 13].

У приймально-розподільних облаштуваннях комбінованого типу (рис. 1.6) використані обидва принципи розподілу і подання матеріалу. В основному в таких пристроях розподіл зернового стовпа усередині приймальної камери здійснюється за рахунок активних робітників органів, а подання матеріалу на сепаруючу поверхню відбувається через гравітаційний клапан. До активних пристроїв відносяться вібротки, розкидаючі диски та ін. Активними облаштуваннями введення можна в необхідних межах регулювати швидкість і кут подання зернового матеріалу, а також заздалегідь розшарувувати купу перед поданням в канал. Це дозволяє поліпшити сепарацію і підвищити ефективність розділення. Іноді використовуються схеми, в яких матеріал розподіляється усередині приймальної камери розподільними лотками за рахунок гравітаційних сил, а подання здійснюється за допомогою лотків, що коливаються [12, 14, 19].

Приймально-розподільні облаштування комбінованої дії застосовуються на зерноочисних машинах первинного і вторинного очищення.

Комбіноване приймально-розподільне облаштування віброткового типу трохи травмує зерновий матеріал, проте для рівномірного розподілу матеріалу по ширині робочих органів зерноочисної машини необхідно точно встановлювати кути нахилу лотків і вібраційного приводу, а це істотно ускладнює конструкцію зерноочисних машин [6].

Проведений аналіз приймально-розподільних пристроїв показав, що використання активних облаштувань введення зернової суміші дозволяє в необхідних межах змінювати швидкість і кут введення зернової суміші, заздалегідь розшарувувати суміш перед поданням в канал, поліпшити умови сепарації і підвищити ефективність розділення. Проте застосування цих пристроїв не знижує рівень травмування матеріалу. Найбільш перспективними є приймально-розподільні облаштування гравітаційного типу, оскільки вони практично не травмують оброблюваний матеріал.

1.3 Вплив конструктивно-технологічних параметрів приймально-

розподільних пристроїв на якість насіння

Післяжнивна обробка зерна включає основні технологічні операції (очищення, сортування, сушка) і допоміжні (транспортування, розподіл і накопичення). Представлені операції виконуються різними комплексами машин, об'єднаних в потокові 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 [11, 15, 17].

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 переміщуваний матеріал в зерноочисних машинах і агрегатах, що призводить до травмування насіння. Для завантаження приймальних камер зерноочисних машин застосовують різні транспортуючі механізми: механічні, самопливні і пневматичні. Кількість механічних дій на оброблюваний матеріал залежить від протяжності технологічних ліній, велику частину в яких займають транспортуючі органи [12, 16].

Пневмокамери і решета зерноочисних машин вимагають 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 в повітряному потоці, а так само надмірна дія металевих поверхонь на розрізнене насіння в недовантажених зонах, що у свою чергу сприяє зростанню травмування зерна робочими органами зерноочисних машин. У переобтяжених зонах, за рахунок великого шару оброблюваного матеріалу, відбувається зниження ефективності сепарації. При нерівномірному поданні матеріалу по ширині решіт зменшується просеваемість, внаслідок чого знижується продуктивність

зерноочисних машин, збільшуються втрати, погіршується якість готового зерна і стабільність роботи поточкових ліній [12, 13].

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 [17].

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 рівну ділянку ширини [14].

Вживані нині транспортуючі і розподільні пристрої істотно збільшують мікротравмування зерна і знижують якість матеріалу, що транспортується [19].

Головними причинами, що викликають руйнування і травмування зерна, являються механічні дії робочих органів машин, а також знарядь для післяжнивної обробки насіння, їх сушки і транспортування. При цьому травмування буде тим більше, чим більше буде швидкість переміщення насіння.

На травмування зерна під час прибирання і післяжнивної обробки роблять вплив наступні чинники: досконалість конструкції збиральних машин, режими роботи машин і їх робочих органів, терміни і способи прибирання, фізико-механічні властивості зерна у момент обмолоту і очищення на зерноочисних машинах. У момент обмолоту істотний вплив на якість насіння робить вологість зерна, яка залежить від погодних умов у момент прибирання і термінів прибирання [3, 10].

Частенько активні робочі органи зерноочисних машин деформують зерна без ушкодження поверхневих шарів зернівок. Коли навантаження зняте із зернівки, відбувається відновлення її розмірів за рахунок пружних властивостей

і зовні здається неушкодженою, проте внутрішні тканини при цьому травмовані. Посівні якості насіння знижуються не лише від наявності видимих травм, але і від ушкодження внутрішніх тканин зернівок при їх деформації, на які істотний вплив робитиме вологість зерна [12].

Зерно, що поступає на обробку, має 22,3 % зовнішніх ушкоджень, а після очищення, сортування і сушки - 55,2 % ушкоджень. Враховуючи те, що більше 10 % травмованого насіння потрапляє у відходи, загальна кількість травмованих зерен потоковою лінією складає 43 %. Від цієї кількості більше 50 % ушкоджень доводиться на вантажні і транспортні операції, при цьому на долю самопливних труб доводиться більше 30 % і близько 20 % – на долю технологічного устаткування [12, 14].

Численними дослідженнями встановлено, що зерновий матеріал, оброблений на одній машині або на потоковій зерноочисній лінії, у своєму складі може мати від 1 до 92 % травмованих зерен. Великий розкид і високий рівень травмування зерна при післяжнивній обробці обумовлений наявністю великої кількості як зовнішніх, так і внутрішніх чинників системи, що впливають на цей показник. Тому для вдосконалення технологічного процесу післяжнивної обробки зерна шляхом зниження його травмування, передусім, необхідно виявити ті машини і ті робочі органи машин, які наносять зерну найбільше ушкодження [10, 19].

У момент прибирання і післяжнивної обробки зерна отримують різні види травм, які по-різному впливають на посівні якості насіння. Дослідження під мікроскопом зразків травмованого насіння пшениці показують, що найчастіше зустрічаються наступні види ушкоджень: внутрішні тріщини ендосперм, тріщини і зриви оболонки на різних ділянках зерна, ушкодження зародка аж до повної його втрати, ушкодження ендосперм [12, 15].

В середньому в прибраному зерновому матеріалі міститься:

- 0,92 % – зерна з вибитим зародком
- 1,64 % – з пошкодженим зародком
- 8,44 % – з пошкодженою оболонкою зародка

- 14,3 % – з пошкодженою оболонкою зародка і ендосперм
- 1,1 % – з пошкодженим ендоспермом
- 29,9 % – з пошкодженою оболонкою ендосперм
- 10,1 % – подрібненого зерна, яке не може використовуватися для насінних цілей
- 34,4 % – неушкодженого [14].

Посівні якості насіння з різними видами мікротравм представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Лабораторна схожість насіння по видах травм

Вид травм	Лабораторна схожість насіння, %
Пошкоджений зародок	50,8
Пошкоджений ендосперм	60,6
Пошкоджена оболонка зародка	85,6
Пошкоджена оболонка зародка і ендосперм	83,4
Пошкоджена оболонка ендосперм	94,4
Без ушкоджень	99,0

З таблиці видно, що висока лабораторна схожість є у неушкодженого насіння, яка дорівнює 99 % і відповідає I класу посівних кондицій. Інші види травм знижують істотно лабораторну схожість насіння. Найнижча схожість у насіння з пошкодженим зародком (50,8 %) і ендоспермом (60,6 %) [12, 14].

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 % [18].

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 [36].

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 [16].

У самопливних трубопроводах травмированность насіння зростає зі збільшенням їх довжини і швидкості пересування насіння. Найбільший відсоток травмування спостерігається в місцях зміни напрямку потоку.

Механічні ушкодження призводять до травмування зародків насіння і зменшують запаси поживних речовин в ендоспермі. Також травми призводять до проникнення мікроорганізмів з ґрунту всередину насіння, тим самим ушкоджуючи їх тканини. Через це приблизно половина травмованого насіння гине в полі, а з іншої половини висіяного насіння розвиваються ослаблені рослини. Проріджені посіви призводять до низької врожайності, а також наявність в посівному матеріалі пшениці 10 % травмованого насіння викликає зниження урожаю більш ніж на 1 ц/га. Якщо в посівному матеріалі знаходиться більше половини пошкодженого насіння, то схожість знижується нижче 90 %, і тоді доводиться дорогий насінний матеріал застосовувати для продовольчих цілей [10].

Для того, щоб понизити ушкодження насіння при прибиранні, транспортуванні, очищенні і сушці необхідно: під час прибирання застосовувати м'які режими обмолоту; при транспортуванні самопливно підтримувати заповнення зерно проводів не менше 60 %, оскільки вільне падіння призводить

до сильних ударів насіння. Також треба розташовувати устаткування так, щоб забезпечити мінімальну висоту підйомів і падінь насіння. На усьому шляху руху насіння необхідно місця вигинів і поворотів покрити листовою гумою. Обов'язково усунути гострі задирки, виступи і зайві переміщення [15, 16].

Високоякісне насіння можливо отримати при прибиранні і післяжнивній обробці у тому випадку, якщо вологість зерна буде не більше 22 %. У такому разі механічні дії знарядь машин не наносять істотні ушкодження матеріалу і не призводять до зниження посівних якостей насіння [17].

Встановлено, що скребковий транспортер завдовжки 2,3 м при швидкості ланцюга 1,15 м/с ушкоджує насіння за один пропуск на 1,5 %. При збільшенні пропусків через такий транспортер приведе до приросту ушкоджень насіння на 0,5 % [19].

Ушкодження зерна пшениці шнековим транспортером залежно від продуктивності і частоти обертання шнека представлено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Травмування зерна шнеком

Продуктивність, т/год	Частота обертання шнека, хв. ⁻¹				
	120	180	240	300	360
	Ушкодження зерна, %				
2,0	17,3	14,2	8,6	9,4	14,4
2,5	10,5	13,0	7,2	7,0	11,5
3,0	6,8	11,8	5,9	6,9	8,6
3,5	4,6	10,0	5,0	7,3	5,6
4,0	3,4	7,7	4,7	8,2	2,3

Приведені дані показують, що травмування зерна зменшується зі збільшенням продуктивності шнека і мінімальне його ушкодження спостерігається при частоті обертання 240 хв⁻¹. При вологості зерна 11,9 % зі збільшенням числа пропусків через шнек травмування також збільшується. Зміна вологості з 21,9 до 11,9 % при частоті обертання шнека 240 хв⁻¹ викликає збільшення дроблення зерна в 2,85 разу. Це пояснюється тим, що сухе зерно крихкіше. Травмування зерна шнеком зростає і зі збільшенням довжини

переміщення. При переміщенні зерна пшениці оптимальна частота обертання шнека складає 155-280 хв⁻¹, причому менша частота обертання відповідає вологості 12-14 % і велика - 17-19 % [15].

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 % [18].

При переміщенні зерна шнеком травмування його залежить від частоти обертання шнека, його продуктивності, вологості зерна, числа пропусків через шнековий транспортер і багатьох інших чинників [18].

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» [15].

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.

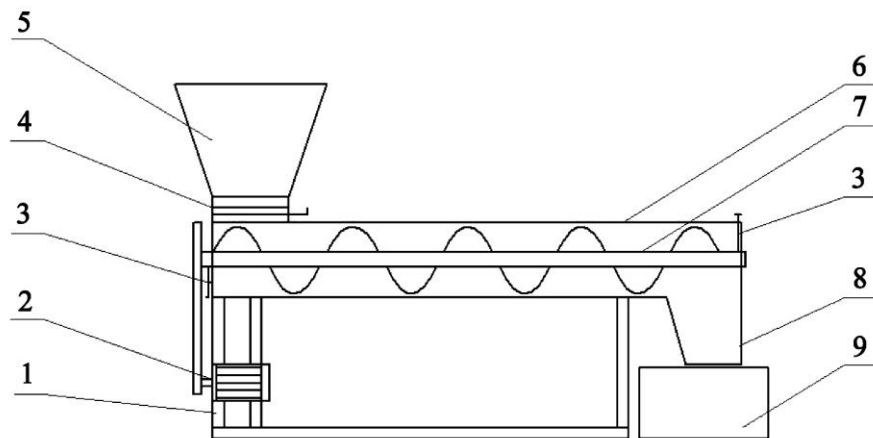


Рис. 1.7 Схема лабораторної установки:

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, T _{пр} , %
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.

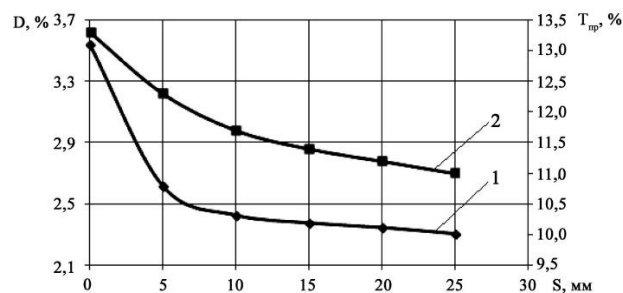


Рис. 1.8 Залежність ушкодження зерна від величини проміжку між витками шнека і кожухом (S , мм):

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

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

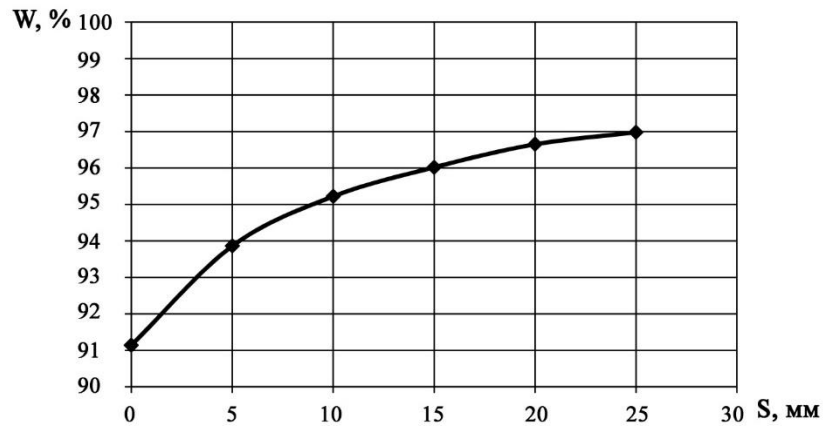


Рис. 1.9 Залежність схожості зерна (W , %) від величини зазору між витками шнека та кожухом (S , мм)

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 [18].

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 $n, \text{хв}^{-1}$	Ціле зерно %	Подрібнене зерно, %	Засмічувачі %	Схожість %	Мікротравмування, $T_{\text{пр}}, \%$
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.

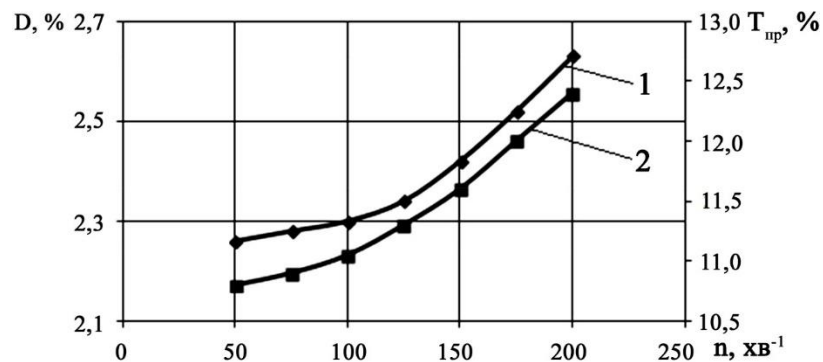


Рис. 1.10 Залежність дроблення і мікротравмування зерна від частоти обертання шнека ($n, \text{мін}^{-1}$):

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

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

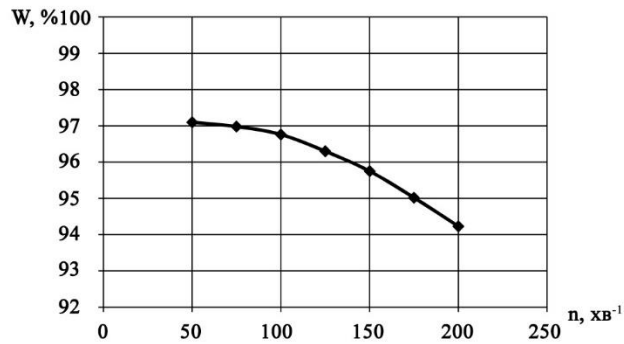


Рис. 1.11 Залежність схожості зерна (W , %) від частоти обертання шнека (n , хв^{-1})

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 вибирати не вище 150 хв^{-1} [18].

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.

1.4 Висновки по розділу

1. Використовувані в даний час приймально-розподільні пристрої мають низку суттєвих недоліків та вимагають подальшого вдосконалення. Кожен пристрій має свої переваги та недоліки, але найбільш вагомим недоліком у більшості пристроїв є наявність активних робочих органів, що травмують зерно. Тому найбільш перспективними для вдосконалення є приймально-розподільні пристрої гравітаційного типу.

2. Для тривалого зберігання насіння різних культур необхідно вчасно та якісно очищати зерно, щоб отримати високу схожість та врожайність, а також знизити відсоток засміченості полів.

3. Отримання високоякісного насіння в процесі післязбиральної обробки зерна можливе лише при мінімізації перепусток через транспортуючі органи та зерноочисні машини.

Отримані висновки дозволили сформулювати мету та завдання досліджень,

які представлені у вступі

РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗПОДІЛУ ЗЕРНОВОГО СТОВПА ПО ШИРИНІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЛЕГКО- РЕШІТНИХ ЗЕРНООЧИСНИХ МАШИН

2.1 Формування стовпа у бункері приймально-розподільного пристрою

Процес подання зернового матеріалу на робочі органи зерноочисної машини приймально-розподільним облаштуванням гравітаційного типу значною мірою визначається параметрами стовпа у бункері. При поданні зерна у бункер із зернопроводу воно потрапляє в певне місце дна і, у міру накопичення утворює конус із зернової маси з кутом природного укоосу, а в нижній частині зерно під тиском вищерозміщеного шару розподіляється відповідно до конфігурації днища приймально-розподільного пристрою [19].

Початкове місце подання зернового стовпа в приймально-розподільний пристрій значною мірою визначається кутом нахилу зернопроводу (кутом подання) відносно горизонту.

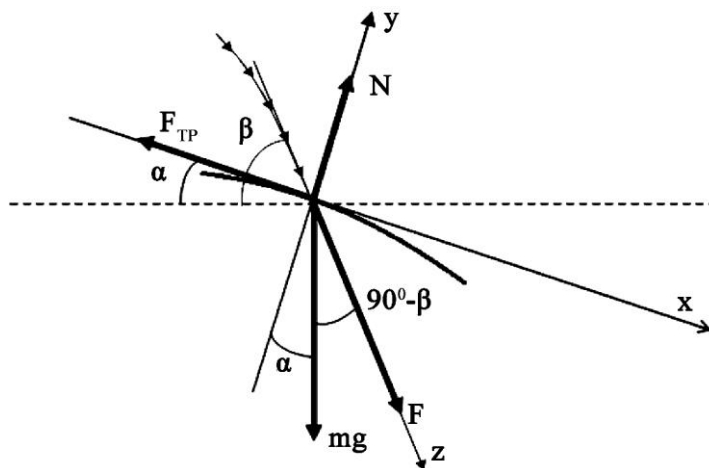


Рис. 2.1 Сили, що діють на частку у момент зіткнення її з формованою купою зерна

Розглянемо, як впливає кут подання матеріалу в приймально-розподільне облаштування зерноочисної машини на формування в ній стовпа зерна. На першому етапі розглянемо траєкторію польоту зернівок з подаючого патрубку в

приймально-розподільне облаштування зерноочисної машини і її вплив на формовану купу. Умовно приймаємо, що зернівка має форму кулі. На рис. 2.1 показана схема сил, що діють на частку у момент зіткнення її з поверхнею формованої стовпа зерна. При падінні часток на купу, зерна в приймально-розподільному пристрої стикаються з похилою поверхнею і ковзають по ній.

Для визначення кута зісковзування часток з похилої площини, спроектуємо сили на вісь x :

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

де m - маса частки (кг),

g - прискорення вільного падіння (м/с^2),

F - сила, з якою зерно діє на елемент стовпа при падінні (Н),

$F_{\text{тр}}$ - сила тертя (Н),

α - кут дотичної до стовпа з горизонтом ($^\circ$),

β - кут дотичної до траєкторії падіння частки з горизонтом ($^\circ$) [50, 150].

Враховуючи, що

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

$$F_{\text{тр}} = f \cdot N$$

де f - коефіцієнт тертя,

N - нормальна реакція (Н).

Отримуємо

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

Нормальну реакцію визначимо з рівняння проєкцій сил на вісь y :

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

Тоді рівняння (2.1) набере вигляду:

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

Розкриваючи дужки і застосовуючи елементарну тригонометричну тотожність отримуємо:

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

Розділивши отриману рівність на , отримаємо співвідношення:

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

З отриманої рівності визначимо $\operatorname{tg} \alpha$:

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

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

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

де ρ - щільність зерна (кг/м³), s - площа поперечного перерізу зерна (м²), r - радіус зерна (м), V - швидкість падіння зерна (м/с).

Враховуючи, що отримаємо

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

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

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 нахилу дотичній до траєкторії падіння в точці зустрічі частки з поверхнею. Так при кутах подання часток 65°, 70° спостерігається негативний кут тертя, тобто тертя відсутнє повністю. В цьому випадку частки рухаються за інерцією, істотно зміщуються в один бік, утворюючи при цьому не симетричне заповнення. При кутах подання 75°, 80° тангенс кута тертя має значення вище нуля, в цьому випадку тертя уповільнює

рух частки по поверхні, не даючи їй сильно зміщуватися убік від місця падіння. З представлених результатів видно, що кут тертя практично не залежить від кута подання при швидкості понад 1,5 м/с. У процесі, що розглядається нами, швидкість падіння часток знаходиться в діапазоні понад 1,5 м/с.

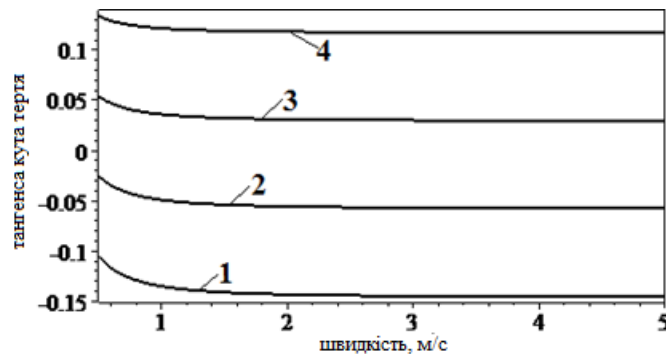


Рис. 2.2 Залежність тангенса кута тертя від швидкості падіння часток: 1 - кут подання часток 65°; 2 - кут подання часток 70°; 3 - кут подання часток 75°; 4 - кут подання часток 80°

На рис. 2.3 показана залежність тангенса кута тертя від кута нахилу дотичної до траєкторії падіння в точці зустрічі частки з поверхнею при $V=2$ м/с. Чисельна реалізація вказаного алгоритму представлена в додатку Г «Програма визначення тангенса кута тертя». З рис. видно, що зі збільшенням кута нахилу падіння частки тангенс кута тертя зменшується і при 73° звертається в 0. Таким чином, в зоні падіння часток на вершині стовпа повинна утворюватися практично горизонтальний майданчик, по якому частки переміщатимуться за рахунок горизонтальної складової швидкості падіння. Чим вище ця складова, тим більша асиметрія спостерігатиметься в розташуванні стовпа.

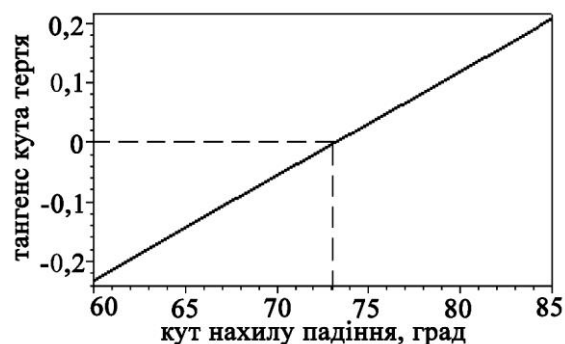


Рис. 2.3 Залежність тангенса кута тертя від кута нахилу дотичної до траєкторії падіння часток

Точніше визначення кута падіння, при якому тангенс кута тертя звертається в 0, може бути отримане прирівнюємо правій частині рівності (2.3) до нуля, що приводить до рівняння відносно кута β :

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

Розділивши на V^2 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 рівняння (2.4) набере вигляду

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

В результаті перетворень отримаємо

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

Визначення точки і швидкості падіння проводиться за допомогою чисельного рішення задачі Коші для квазілінійної системи звичайних диференціальних рівнянь другого порядку [50, 68]:

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

де k - коефіцієнт парусності.

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

Приймаючий бункер розбивається по ширині на досить велику кількість частин, в яких надалі накопичуватиметься кількість зерен, що поступає. Якщо різниця між висотою зернового стовпа перевищує кут природного укусу, то частка пересипається в сусідню частину розбиття бункера і видаляється з тієї, в

якій вона знаходилася. При цьому враховується, що кут природного укосу збільшується від нуля до цілком певного значення у міру віддалення частини розбиття від зони завантаження. Крім того, враховується той факт, що у міру наповнення бункера, міняються координати точки завантаження, кут попадання на верхню частину стовпа, швидкість і, як наслідок, її горизонтальна складова, що впливає на прояви асиметрії форми стовпа.

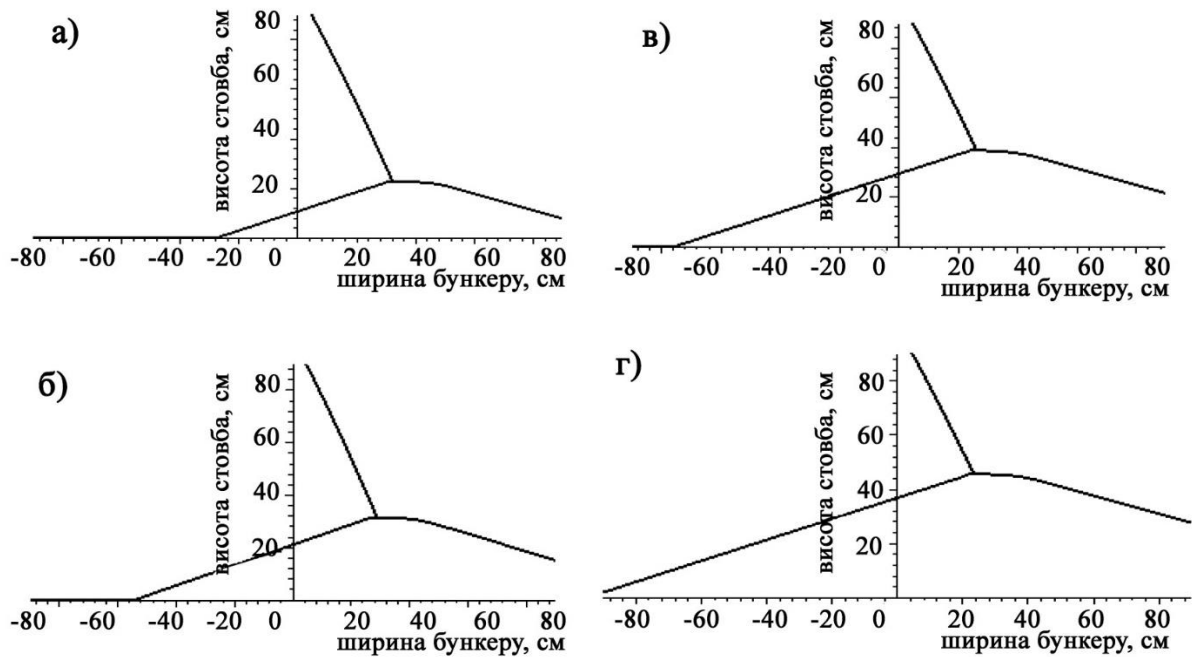


Рис. 2.4 Процес формування зернового стовпа у бункері на різній висоті:
 а) - висота стовпа 23 см; б) - висота стовпа 32 см; в) - висота стовпа 37 см;
 г) - висота стовпа 45 см

Етапи заповнення стовпа, з урахуванням запропонованого вище алгоритму відбиті на рис. 2.4. Вони є візуалізацією рішення системи рівнянь польоту спільно з вказаним вище порядком перерозподілу часток. Кут подання зернового матеріалу складає 70° , а ширина приймально-розподільного пристрою дорівнює 1,85 м.

На рис. 2.4а показаний початковий етап формування зернового стовпа. Зернова купа формується у бункері приймально-розподільного облаштування зерноочисної машини зі зміщенням відносно центру його (місця введення зерна) на 32 см Внаслідок чого, праву частину бункера заповнюється зерном, а ліва

частина бункера практично не заповнена. На рис. 2.4б показаний черговий етап заповнення бункера, коли на правій його частині висота зернового стовпа стає більше. При цьому на лівій частині є вільний простір, що становить 30 см. Вершина стовпа зміщена від центру бункера на 29 см. На наступному етапі (рис. 2.4в) показаний процес формування стовпа на висоті 37 см. Вершина стовпа наближається до центру бункера і знаходиться на відстані 26 см. Проте при такій висоті ще залишається незаповнена зона в лівій частині бункера, а в правій частині бункера формується шар зерна, що має несуттєву різницю між вершиною стовпа і правою стінкою бункера. На рис. 2.4г показаний черговий етап заповнення бункера, коли на лівій його частині висота зернового стовпа стає більше нуля, тобто незаповнені зони відсутні. Вершина стовпа розташована на відстані 23 см від центру бункера приймально-розподільного пристрою. При цьому на правій частині відбувається вертикальне заповнення і складає 31 см. На лівій і на правій частинах відбувається вертикальне несиметричне заповнення.

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

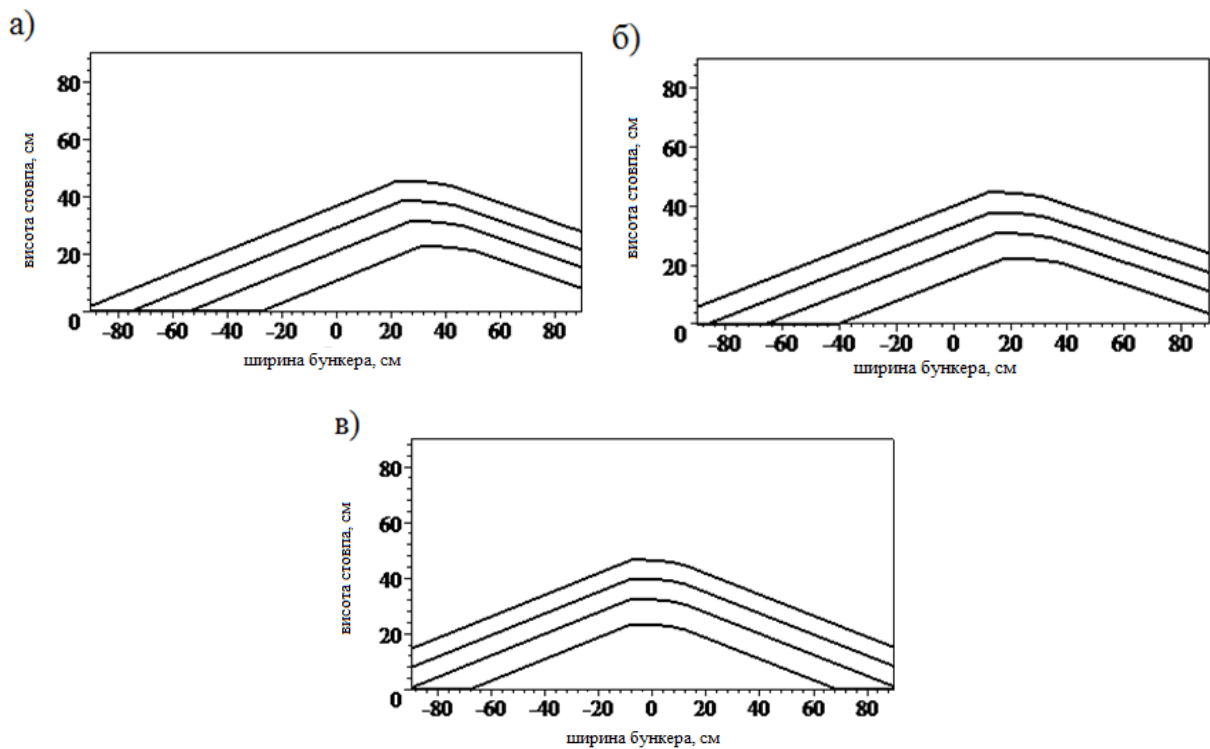


Рис. 2.5 Процес формування стовпа у бункері:
 а) при вугіллі подання 70° ; б) при вугіллі подання 80° ; в) при вугіллі подання 90°

З рис. 2.5а видно, що при вугіллі подання 70° основна частина стовпа зосереджуються в правій частині бункера приймально-розподільного облаштування зерноочисної машини. Це пояснюється тим, що зернівки поступають із завантажувального патрубку, мають істотну швидкість руху. За рахунок сил інерції і відсутності тангенса кута тертя зернівки істотно зміщуються в праву сторону бункера, утворюючи при цьому асиметричний конус. При збільшенні кута подання до 80° купа зміщується до центру (рис. 2.5б), а при вертикальному поданні (кут дорівнює 90°) у бункері формується симетрична купа (рис. 2.5в).

Для забезпечення симетричної стовпа у бункері приймально-розподільного пристрою при похилому поданні необхідно зміщувати місце введення зерна у бункер. При вугіллі нахилу подання 70° зміщення повинне складати 25.27 см, а при вугіллі подання матеріалу 80° зміщення повинне складати 12.14 см

2.2 Вплив характеру заповнення бункера на розподіл тиску в зерновому шарі

Процес витікання сипких матеріалів з бункерів складений і досі складає предмет дослідження. Витікання сипких сумішей залежить від фізико-механічних властивостей, стану поверхонь часток матеріалу і бункера, геометричних розмірів, форми бункера і отвору. У роботі бункера розрізняють наступні етапи: заповнення; початок витікання, яке відповідає перехідному періоду; витікання, що встановилося, при постійному і змінному рівні; вивантаження. Найбільший інтерес представляє процес витікання, що встановилося, який має два вигляду, - нормальний і гідравлічний. За певних умов можливий змішаний вид витікання. При нормальному витіканні (рис. 2.6, а і б) рух матеріалу відбувається в межах певного каналу, розташованого над вихідним отвором. Увесь інший матеріал при цьому залишається в спокої. Цей вид витікання спостерігається у більше зв'язних матеріалів [24].

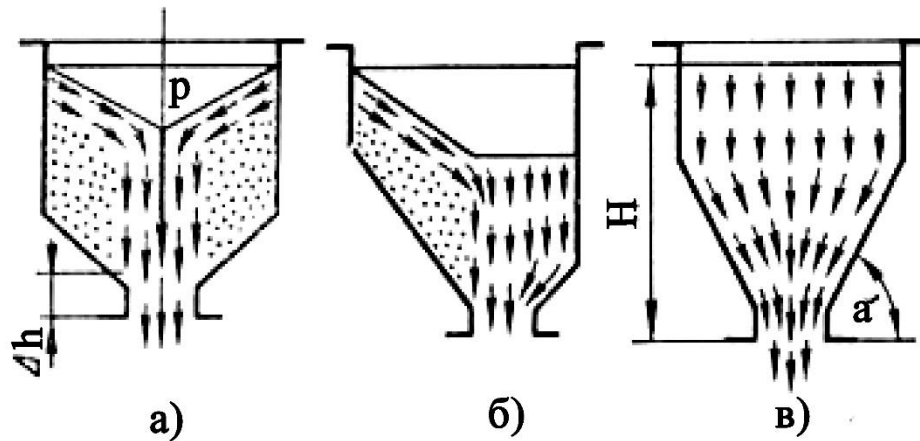


Рис. 2.6 Схеми витікання з бункерів:
а, б – нормальне витікання; в – гідравлічне витікання

При гідравлічному витіканні (рис. 2.6в) увесь матеріал, який знаходиться у бункері, приходить в рух при початку вивантаження. Витікання через дозуючу щілину відбувається за рахунок обвалення матеріалу в зоні над вихідним отвором; цю зону називають об'ємом обвалення. Такий вид витікання можливий для матеріалів з малим коефіцієнтом внутрішнього тертя при вугіллі нахилу бічних стінок бункера, на 5...10 % більшому кута природного укосу вантажу. Нормальна експлуатація бункерів досягається правильним вибором геометричних параметрів: кута нахилу стінок, розмірів вихідного отвору [28].

Сипке тіло - сукупність повітря і часток твердого тіла. Зв'язок між частками, орієнтація їх в просторі визначаються силами тертя і тяжкості [24].

Сипкі тіла за своїми властивостями займають проміжне положення між твердими і рідкими тілами. Сипкі тіла так само, як і рідкі, при приміщенні їх в жолоб набувають його форми, а при нахилі жолоба течуть [24].

Для аналізу рівномірного розподілу зернового стовпа приймально-розподільним пристроєм по усій ширині робочої частини зерноочисної машини, необхідно з'ясувати, як впливають сили, що діють у бункері, на витікання матеріалу через дозуючу щілину.

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 [26, 34].

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

Розглянемо зернову купу, що знаходиться у бункері приймально-розподільного пристрою заввишки Δz , завдовжки b і шириною h . На елемент зернової маси діють наступні сили: сила тяжіння F_1 ; сила тиску зернового стовпа знизу і згори F_2, F_3 ; сила тертя F_{mp} (рис. 2.7) [14].

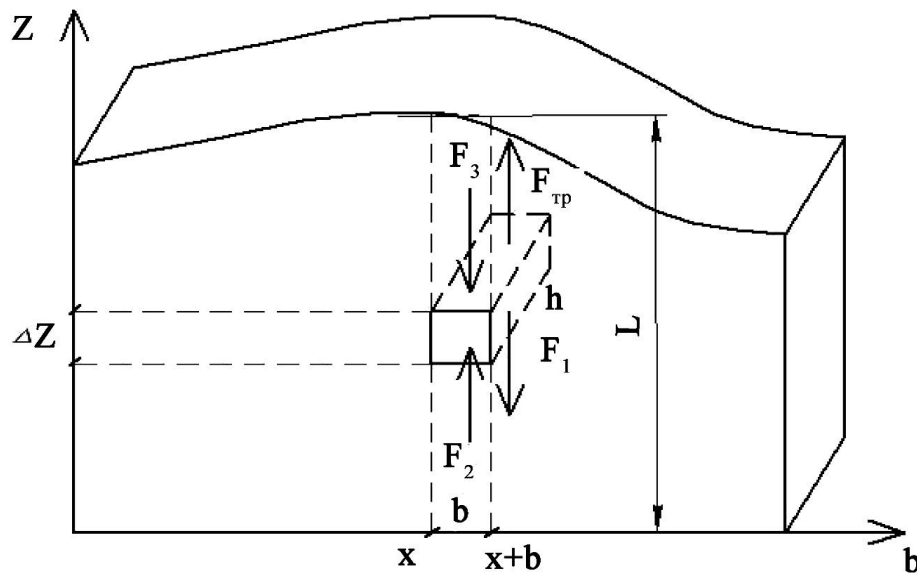


Рис. 2.7 Схема сил що діють на елемент зернового стовпа що знаходиться в приймально-розподільному пристрої.

Силу тяжкості, що діє на елемент зернового стовпа, визначається за відомим виразом

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

де m - маса елемента зернового стовпа (кг); g - прискорення вільного падіння (m/c^2).

Маса елемента зернового стовпа визначається по формулі

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

де ρ - щільність матеріалу ($кг/м^3$); ΔV - об'єм елемента зернового стовпа ($м^3$).

Об'єм елемента зернового стовпа у свою чергу, визначається вираженням

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

Тоді маса елемента зернового стовпа рівна

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

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

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

Сила тертя в шарі зернового стовпа визначається по формулі

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

де k - коефіцієнт внутрішнього тертя;

N - нормальна реакція (Н).

Нормальну реакцію можна розрахувати по формулі

$$N = P_{бок} \cdot S$$

де $P_{бок}$ - бічний тиск елемента зернового стовпа (Па);

S - площа бічної поверхні, виділеного елемента зернового стовпа (m^2).

Площа бічної поверхні рівна (рис. 2.7)

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

Бічний тиск (рис. 2.8) визначимо як середнє арифметичне бічних тисків на верхню і нижню частині виділеного елемента

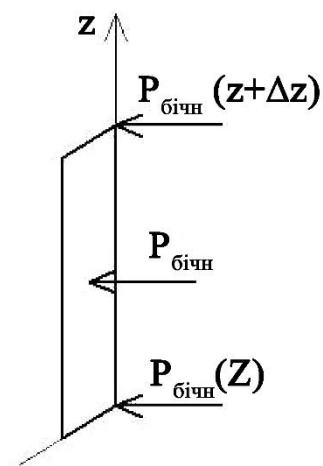


Рис. 2.8 Дія бічного тиску в приймально-розподільному пристрої на елемент зернового стовпа

Після деяких перетворень і з урахуванням того, що бічний тиск діє з двох сторін, вираження (2.10) набере наступного вигляду (2.11)

Окрім сили тяжіння і бічного тиску на виділений зерновий елемент діють сили вертикального тиску в шарі $-F_2, F_3$, які визначаються з виразів

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

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

де $P(z)$ – вертикальний тиск в точці z (Па);

$P(z + \Delta z)$ – вертикальний тиск в точці (Па).

Після визначення усіх сил, що діють на виділений зерновий елемент стовпа, складемо рівняння рівноваги

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

З урахуванням виразів (2.9), (2.11), (2.12), (2.13), рівняння рівноваги прикмет вид:

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

Бічний тиск в точці z можна представити у вигляді вираження

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

де ζ - коефіцієнт бічного тиску сипкого матеріалу [121].

Коефіцієнт бічного тиску визначається по формулі

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

де φ - внутрішній кут тертя.

Коефіцієнт бічного тиску сипкого матеріалу для зерна приблизно дорівнює 0,44 [23].

Внутрішній кут тертя характеризується кутом природного укусу, величина якого багато в чому залежить від вологості зерна. Для насіння зернових культур: $\varphi = 0,4.0,6$ [20].

Запишемо рівняння (2.14) з урахуванням вираження (2.15) і отримаємо

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

Розділимо рівняння (2.16) на $b \cdot \Delta z$, отримаємо

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

Розглянемо рівняння (2.17) при $\Delta z \rightarrow 0$, отримаємо лінійне диференціальне рівняння 1-го порядку відносно вертикального тиску $P(z)$

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

Розглянемо отримане рівняння з урахуванням граничної умови

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

де L - середня висота стовпа зернового стовпа на ділянці $[x; x+b]$ (м) (рис. 2.2).

Гранична умова (2.19) означає, що на верхній межі стовпа тиск рано нулю.

Для вирішення диференціального рівняння представимо бічний тиск у вигляді твору

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

де $u(z)$, $v(z)$ - невідомі функції, причому функція $v(z)$ може бути вибрана довільно [46].

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

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

Отримане вираження дозволяє визначити тиск, що діє на елемент зернового стовпа у вертикальному стовпі при різній висоті шару.

Підставивши в отримане рівняння початкові дані, визначимо чисельні значення тиску в шарі. Графічні залежності тиску на елемент зернової маси в шарі при різній висоті стовпа у бункері представлені на рис. 2.9.

Результати проведених теоретичних досліджень показують, що у верхньому шарі стовпа тиск, що діє на зернівки, дорівнює нулю і зростає до нижніх шарів. При більшій висоті стовпа у бункері тиск в шарі наростає більше інтенсивно, ніж при малій висоті. Так для висоти стовпа 1,4 м найбільш інтенсивно тиск змінюється у верхніх шарах і, починаючи з шару приблизно 0,8 м, змінюється трохи, тобто практично стабілізується. Це можна пояснити зміною дії внутрішніх сил і передусім сил + і (рис. 2.7). Для висот стовпа 1,2; 1,0 і 0,8 м стабілізація тиску настає в нижчих шарах. Так при висоті стовпа 1,2 м тиск практично стабілізується в шарі 0,6 м, а при висоті 0,8 тільки в шарі 0,2 м.

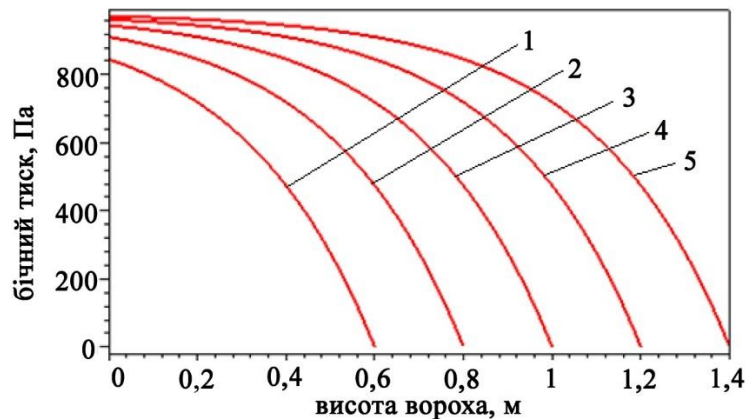


Рис. 2.9 Зміна тиску на зернівки у бункері приймальний- розподільного пристрою по висоті шару зернового стовпа: 1 - висота стовпа у бункері 0,6 м; 2 - висота стовпа у бункері 0,8 м; 3 - висота стовпа у бункері 1 м; 4 - висота стовпа у бункері 1,2 м; 5 - висота стовпа у бункері 1,4 м.

При висоті стовпа у бункері 0,6 м і менш стабілізація тиску в шарі не настає, тому висоту стовпа 0,6 м можна вважати мінімальними для рівномірного витікання матеріалу через дозуючу щілину приймально-розподільного пристрою [14].

За допомогою програми визначимо бічний тиск у фіксованому шарі при різній висоті завантаження зерна у бункері. На рис. 2.10 представлена залежність тиску у фіксованому шарі зернового стовпа від висоти матеріалу у бункері.

З рис. видно, що в зерновому шарі на висоті 0,7 м діючий тиск на зернівки змінюється у великих межах, так при висоті шару у бункері 1,2-1,4 м тиск у фіксованому шарі майже однаковий. Це сприятиме рівномірному витіканню зернового стовпа з дозуючої щілини. При висотах стовпа від 0,6 до 1,2 м тиск в шарі міняється істотно. Для малих висот стовпа тиск у фіксованому шарі відсутній повністю або має маленьке значення, оскільки на верхніх межах шару дії сил F_2 і F_3 мінімальні.

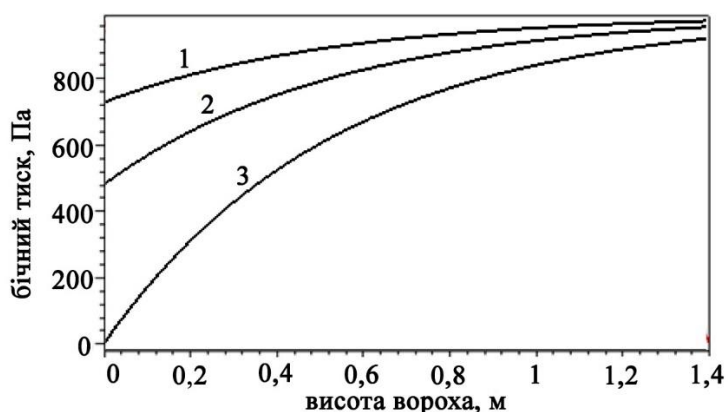


Рис 2.10 - Зміна тиску у фіксованому шарі зернового стовпа від висоти матеріалу у бункері: 1 – шар зерна на висоті 0,2 м; 2 - шар зерна на висоті 0,4 м; 3 - шар зерна на висоті 0,6 м

В зерновому фіксованому шарі 0,2 проявляється вирівнювання тисків для різних висот стовпа. При висоті стовпа 0,6 і 1,4 м різниця тисків в шарах несуттєва, що впливатиме в малому ступені на витікання матеріалу. У фіксованому зерновому шарі 0,4 і 0,6 м при великій висоті стовпа тиск на зернівки практично однаковий, а при малих висотах спостерігається істотна різниця тиску в шарі, що приведе до нерівномірного витікання матеріалу через дозуючу щілину.

З цього виходить, що необхідно створити максимальну висоту зернового стовпа у бункері для вирівнювання тиску в нижніх шарах (близьких до дозуючої щілини), при цьому необхідно враховувати і обмежуватися габаритними розмірами бункера. Це забезпечить рівномірне витікання зернового матеріалу з дозуючої щілини по усій ширині решітного стану.

Проведений аналіз дозволяє зробити висновок, що для рівномірного розподілу матеріалу через дозуючу щілину по її довжині, тобто по ширині решітного стану зерноочисної машини, необхідно у бункері підтримувати певну висоту стовпа, яка не має бути менше 0,6 м. Такої умови можна дотриматися тільки за рахунок узгодження продуктивності, що подає норії і зерноочисної машини. Для цього необхідно на зерноочисній машині передбачити систему автоматичної підтримки заданої висоти шару.

2.3 Висновки по розділу

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.

4. Для забезпечення рівномірного розподілу матеріалу через дозуючу щілину приймально-розподільного пристрою по її довжині у бункері необхідно підтримувати висоту стовпа не менше 0,6 м.

РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма експериментальних досліджень

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.

Схема експериментальної установки представлена на рис. 3.1.

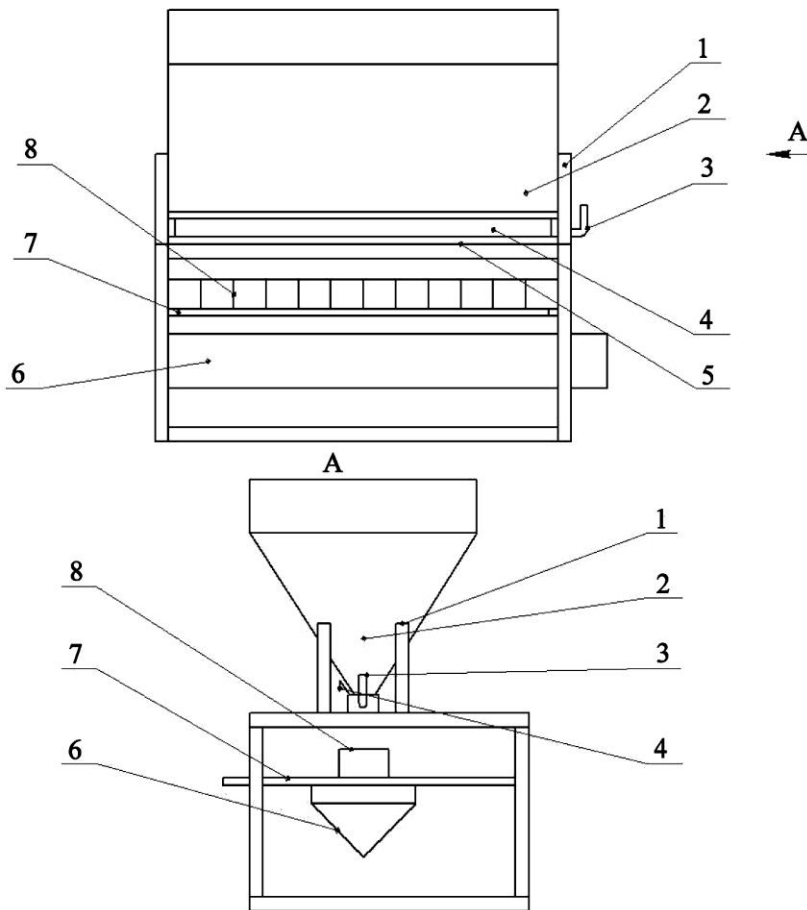


Рис. 3.1 Схема лабораторної установки:

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

Експериментальна установка включає раму 1, на якій встановлений завантажувальний бункер 2. У нижній частині завантажувального бункера 2 розташована дозуюча щілина 5 з регулювальною заслінкою 4, величина відкриття якої змінюється за допомогою регулятора заслінки 3. 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.

Загальний вигляд експериментальної установки представлений на рис. 3.2.



Рис. 3.2 Загальний вигляд лабораторної установки

Загальний вигляд пробовідбірника представлений на рис. 3.3.

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.



Рис. 3.3 - Загальний вигляд пробовідбірника

Робота представленої експериментальної установки здійснюється

наступним чином: вихідну зернову купу завантажували через живильний зернопровід в завантажувальний бункер 2 (Рис. 3.1). 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

Експериментальні дослідження проводили на основі відомих методів планування експерименту та обробки дослідних даних, розроблених авторами [20, 24, 26]. Вибір необхідного числа повторностей дослідів для отримання достовірних результатів проводили на підставі пошукових експериментів за відомою методикою [26].

3.3.1 Методика визначення складу вороху

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.

3.3.2 Методика визначення вологості зерна

Для визначення вологості вихідного вороху, використовували вологомір Wile - 65, представлений рис. 3.4. Вологомір є мікропроцесорним електронним приладом, що забезпечує безпосередній висновок відсоткового вмісту води на електронний цифровий дисплей. 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.



Рис. 3.4 – Вологомір «WILE-65»:
1 - кришка камери; 2 - цифровий дисплей; 3 - кнопки управління

3.3.3 Методика визначення склоподібності та вмісту клейковини

Для визначення склоподібності та вмісту клейковини застосовували фотоелектричний діафаноскоп (Рис. 3.5). 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 [34]



Рис. 3.5 Діафаноскоп фотоелектричний

Для аналізу відбирали нормально розвинені зерна, виключивши щупле і дроблене зерно, а також бур'яни, мертві та зернові домішки [39]. 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.

3.3.4 Методика визначення параметрів купу в бункері при його заповненні

На зерноочисних агрегатах зерно в машини подається з норій самопливними зернопроводами. Залежно від розміщення машин у технологічній лінії напрям подачі зерна до приймально-розподільних пристроїв зерноочисних машин здійснюється по-різному, який може змінюватися від вертикального до граничного похилого, що визначається коефіцієнтом тертя зерна за матеріалом зернопроводу. Найчастіше подача зерна в машини здійснюється по похилим самопливам при кутах нахилу до вертикалі близько 20° . Від напряму подачі зерна до бункеру приймально-розподільного пристрою значною мірою буде змінюватися його заповнення за обсягом.

Дослідження заповнення бункера проводили при кутах подачі зерна 50 , 60 , 70 , 80 і 90° до горизонту, при цьому здійснювали завантаження по центру бункера. Потім досліджували заповнення при зміщенні місця подачі зерна на 15 і 30 см від центру бункера, кут подачі матеріалу змінювали від 50 до 90° . Для оцінки заповнення бункера зерном на торцевих стінках та у центрі бічних стінок бункера встановлювали вимірювальні лінійки для фіксування висоти шару. Для виміру висоти шару проміжних точок використовували лінійку з нанесеною на ній вимірювальною шкалою.

При проведенні дослідів бункер експериментальної установки заповнювали зерновим купою пшениці трубопроводами, які встановлювали під кутом 50 , 60 , 70 , 80 і 90° . При формуванні в бункері конусоподібного вороху фіксували висоту вороха по краях бункера, у центрі бункера (по вершині вороху) та у проміжних точках.

Отримані дані записувалися в журнал експериментальних досліджень та використовувалися для аналізу процесу заповнення бункера приймально-розподільного пристрою.

3.3.5 Методика визначення розподілу зерна за шириною робочої машини

Характер заповнення бункера приймально-розподільного пристрою гравітаційного типу вплив істотно спливає зерна через дозуючу щілину.

Рівномірність закінчення зерна через дозуючу щілину досліджували на установці при продуктивності 5, 10, 15 та 20 т/год.

При проведенні дослідів у приймально-розподільний пристрій експериментальної установки по зернопроводу засипали зернову купу пшениці і формували задану купу в бункері. Далі відчиняли заслінку на величину, необхідну для заданої продуктивності. У цей момент на 5 секунд під потік зерна підводили пробовідбірник, встановлений на рухомій каретці. Зерно, зібране в кожній ємності пробовідбірника, зважували на електронних терезах JW-1 з точністю 1 г і записували в журнал експериментальних досліджень. Досвід проводили у триразовій повторності.

3.3.6 Методика визначення пошкодження зерна

Тип приймально-розподільного пристрою істотно впливає не тільки на рівномірність подачі зерна по ширині решітного стану, але і на пошкодження зерна. Найбільше пошкодження зерна відзначається у приймально-розподільчих пристроїв примусового типу, до яких слід віднести шнекові.

Для оцінки рівня ушкодження зерна під час проведення експериментальних досліджень відбирали зразки зерна. З відібраних зразків виділяли по три навішування масою 40-50 г., які розбирали на дошках розбірних: на ціле, дроблене зерно і домішки. Дані заносили до журналу експериментальних досліджень, які обробляли з використанням методів математичної статистики з визначенням середніх значень та середніх квадратичних відхилень.

Для визначення мікротравмування зерна з добірних зразків відбирали три проби по 100 зерен кожна. Відібрані зерна поміщали в посудину, в яку заливали 0,5% розчин барвника (індигокарміну) і помішували протягом 3-5 хвилин. Температура барвника в цей момент дорівнювала 45 °С. Після цього зливали барвник, потім ретельно промивали насіння водою і розкладали на фільтрувальний папір для просушування. Після просихання насіння розбирали за видами травм, для цього використовували лупу 10-кратного збільшення та

виділяли зерна з:

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

З огляду на те, що кожен вид травм надає різний негативний вплив на лабораторну схожість насіння, розраховували єдиний узагальнений показник травмування $T_{пр}$ (де всі види травм призводили до пошкодження зародка) за формулою

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

де $G_1 \dots G_6$ – процентний вміст зерна з вибитим зародком, пошкодженим зародком, пошкодженою оболонкою зародка, пошкодженою оболонкою зародка та ендосперму, пошкодженим ендоспермом, пошкодженою оболонкою ендосперму.

Для визначення лабораторної схожості відбирали по чотири проби по 100 насінин у кожній. Насіння пророщували в термостаті, визначали енергію проростання та лабораторну схожість. В результаті аналізу підраховували середнє значення схожості всіх проаналізованих проб.

3.3.7 Методика обробки експериментальних даних

Для обробки результатів експериментальних досліджень скористалися стандартними методами математичної статистики [20, 26, 28]. 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.

При масових вимірах однієї величини оцінку її проводили по середньому арифметичному, а помилку досвіду визначали середнім квадратичним відхиленням.

Оцінку збіжності розрахункових і експериментальних даних робили за величиною максимального і середнього відносного відхилень експериментальних значень від розрахункових по формулах [29]:

$$\delta_{cp} = \frac{1}{n_m} \sum \frac{|y_{расч_i} - y_i|}{y_{расч_i}} \quad (3.3)$$

де n_m – кількість точок порівняння,

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

Для обробки результатів експерименту застосовували ЕОМ з використанням пакетів програм Mathcad, Statistica 10 та ін.

РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Склад бункерної 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 Формування зернового вороху в бункері приймально- розподільного пристрою

4.2.1 Заповнення бункера приймально-розподільного пристрою при подачі зерна по центру

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.

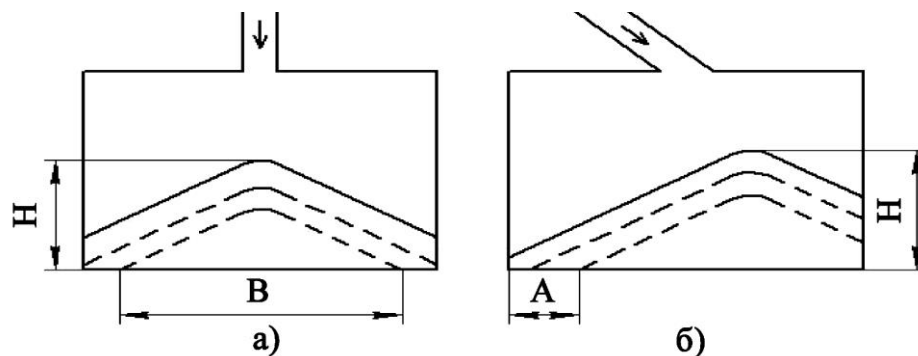


Рис. 4.1 Заповнення бункера приймально-розподільного пристрою: а) вертикальне розташування зернопровода; б) похиле розташування зернопровода; H - висота стовпа; B - основа стовпа; A - вільна зона живлячої щілини

В цьому випадку потік зерна від норії поступає в приймальний- розподільне облаштування зерноочисних машин по зернопроводу, з бічним нахилом (рис. 4.1б) [13].

У зерноочисних агрегатах з однією технологічною лінією подання зерна в приймально-розподільний пристрій здійснюється по зернопроводу без бічного нахилу (рис. 4.1а) [13, 16, 17].

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

Для підтвердження правильності теоретичних передумов по заповненню бункера приймально-розподільного облаштування гравітаційного типу нами були проведені дослідження процесу накопичення зерна у бункері зі зміною його висоти.

На першому етапі досліджували заповнення бункера при поданні зерна по центру.

Для проведення експериментів було вибрано пристрій, що є бункером з передньою і задньою похилими стінками висотою 1 м і шириною 1,85 м. У нижній частині бункера розташована дозуюча щілина по усій його ширині. Схема і принцип роботи лабораторної установки викладений в розділі 3.2.

На малюнку 4.2 представлені теоретичні та експериментальні криві формування зернового вороху в бункері гравітаційного приймально-розподільного пристрою зерночисної машини

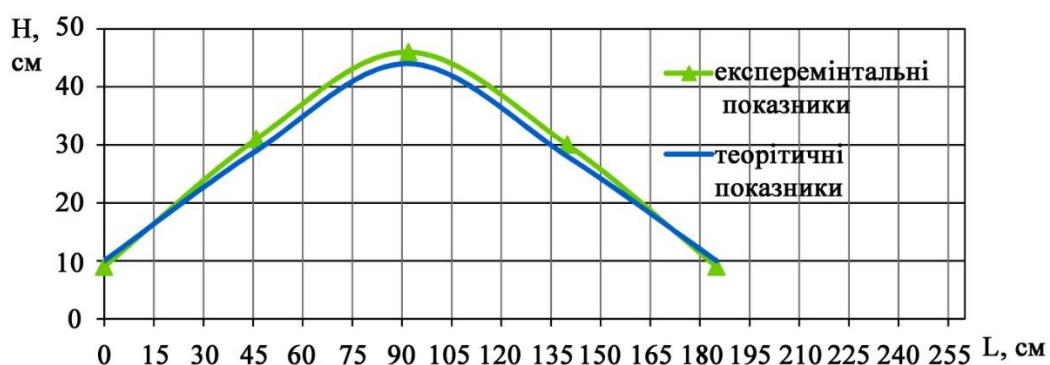


Рис. 4.2 Формування зернового стовпа у бункері гравітаційного приймально-розподільного пристрою:

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

З рис. 4.2 видно, що характер заповнення по ширині бункера приймально-розподільного облаштування зерночисної машини, отриманий за допомогою експериментальних даних, підтверджує теоретичну залежність, представлену в главі 2. Незначні розбіжності пояснюються тим, що в експериментальних дослідженнях на лабораторній установці 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.

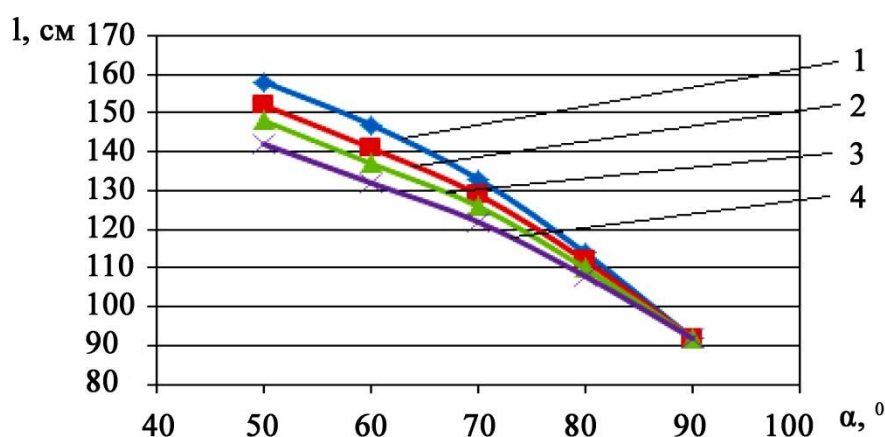


Рис. 4.3 Залежність розташування вершини стовпа (l, см) у бункері від кута нахилу подаючого патрубку (α, °) при поданні зерна по центру:

- 1 – висота стовпа (по вершині конуса Н) 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 придбає 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. Зі збільшенням висоти стовпа у бункері вершини зміщуватимуться у бік центру.

Кут подання матеріалу 90° є найкращим, при якому забезпечується більше рівномірне заповнення бункера. Проте у виробничих умовах забезпечити його не завжди представляється можливим.

З представлених даних видно, що для рівномірного завантаження бункера при введенні зернового матеріалу по центру бункера подавати матеріал виходить тільки з вертикального трубопроводу або з відхиленням від вертикалі в межах $10...15^\circ$. Оскільки при центральному завантаженні матеріалу у бункер кут подання 90° є оптимальним, були проведені дослідження для виявлення висоти стовпа, при якій настане повне заповнення дозуючої щілини.

Залежність ширини основи стовпа у бункері від висоти шару в ній при центральному поданні матеріалу під кутом 90° представлена на рис. 4.4.

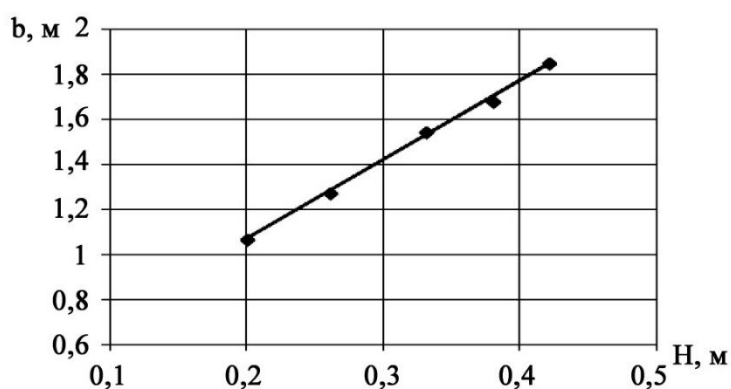


Рис. 4.4 Залежність ширини основи стовпа у бункері від його висоти: b - ширина основи стовпа, м; H - висота стовпа (по вершині конуса), м

З рис. 4.4 видно, що чим більше висоти стовпа у бункері, тим велику ширину він заповнює (рис. 4.1а), тобто ширина основи стовпа росте прямо пропорційно його висоті. Отримані дані експериментальних досліджень показали, що повне заповнення бункера по ширині відбувається при висоті стовпа 0,42 м.

Подальше збільшення висоти шару дозволяє формувати товщину шару у країв бункера, що гарантує більше рівномірне завантаження решета по ширині зерноочисної машини. Остаточну необхідну висоту шару зерна у бункері можна обґрунтувати вивчивши витікання його через дозуючу щілину і визначивши рівномірність подання на решітний стан.

Найчастіше в потоковій лінії встановлюють дві паралельні зерноочисні машини, що призводить до похилого подання матеріалу. Кут нахилу подаючого патрубку складає частенько приблизно 70° . У цьому випадку утворюється вільна зона дозуючої щілини, тобто частина бункера не заповнена матеріалом (рис. 4.1б). Для цього побудована залежність зміни вільної зони у бункері приймально-розподільного облаштування гравітаційного типу від висоти шару зерна при вугіллі поданню матеріалу 70° . Дані представлені на рис. 4.5.

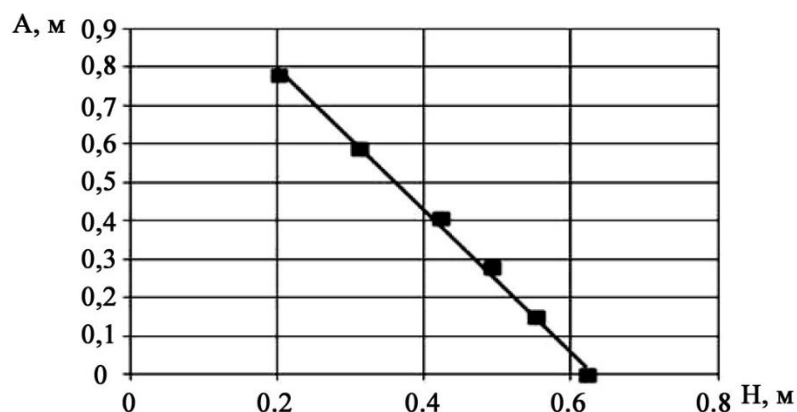


Рис. 4.5 Залежність вільної зони дозуючої щілини бункера від висоти стовпа при вугіллі поданню матеріалу 70° : А - вільна зона живлячої щілини бункера, м; Н - висота стовпа (по вершині конуса), м

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.

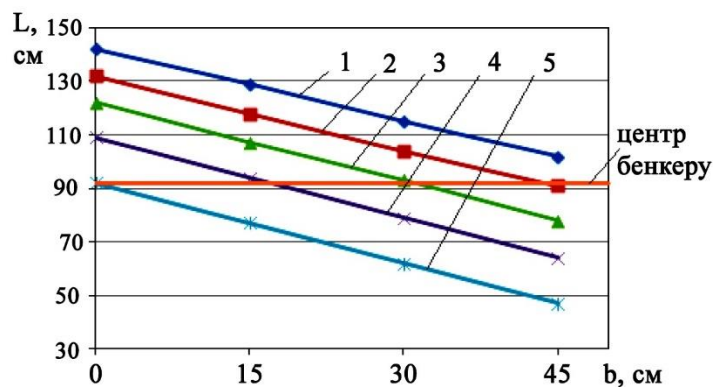


Рис. 4.6 Залежність зміщення вершини стовпа (L, см) від місця подання зерна у бункер (b, см): 1 - кут подання матеріалу (α) 50°; 2 - кут подання матеріалу 60°; 3 - кут подання матеріалу 70°; 4 - кут подання матеріалу 80°; 5 - кут подання матеріалу 90°

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 від центру бункера. Проте при зміщенні місця подання зерна на 45 см від центру бункера 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 від центру бункера, 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 від центру бункера 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.

Для рівномірного заповнення приймально-розподільного облаштування зерноочисної машини необхідно підібрати місце введення зерна і кут нахилу подаючого зернопровода так, щоб вершина зернового стовпа розташовувалася в центрі бункера. На рис. 4.7 представлена залежність зміщення місця введення зерна у бункер від кута нахилу зернопровода.

Використовуючи цю залежність, можна підібрати оптимальне розташування місця введення матеріалу залежно від кута нахилу зернопровода. Так, наприклад, для $\alpha=70^\circ$ місце введення зерна необхідно змістити приблизно на 30 см від центру бункера.

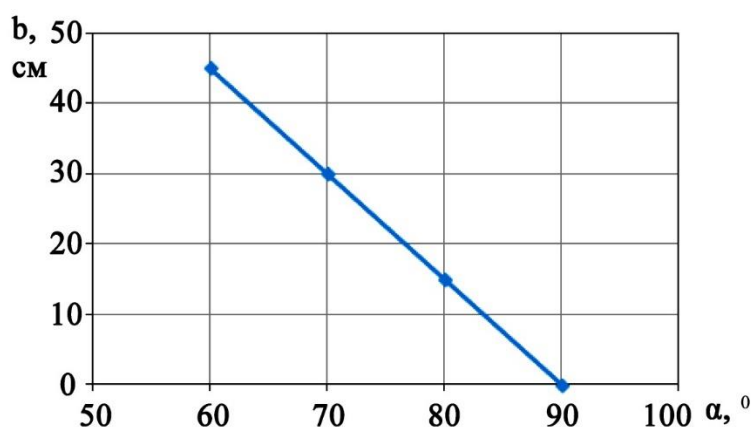


Рис. 4.7 Залежність зміщення місця введення зерна (b , см) у бункер від кута нахилу зернопровода (α , $^\circ$)

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, прийнятно-розподільний бункер зерноочисної машини.

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

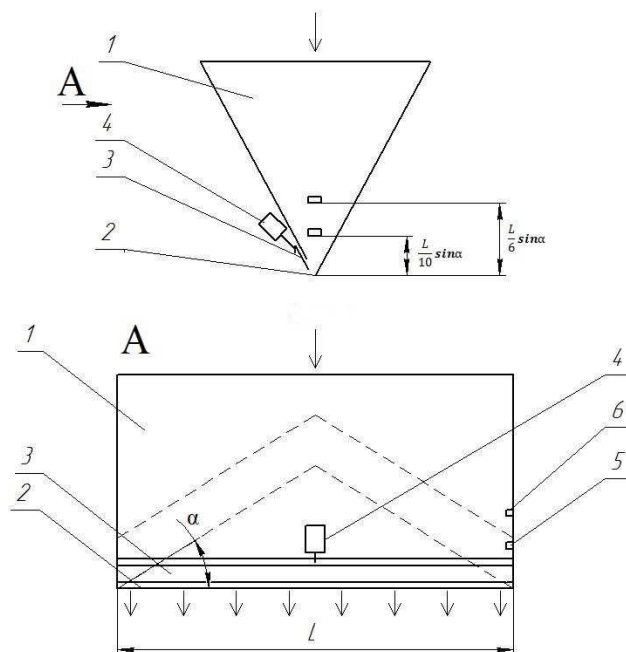


Рис. 4.8 Приймально-розподільний бункер зерноочисної машини:
1 - бункер; 2 - вивантажне вікно; 3 - заслінка; 4 - привід заслінки; 5 - датчик нижнього рівня матеріалу; 6 - датчик верхнього рівня матеріалу

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.

Прийнятно-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 [32].

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.

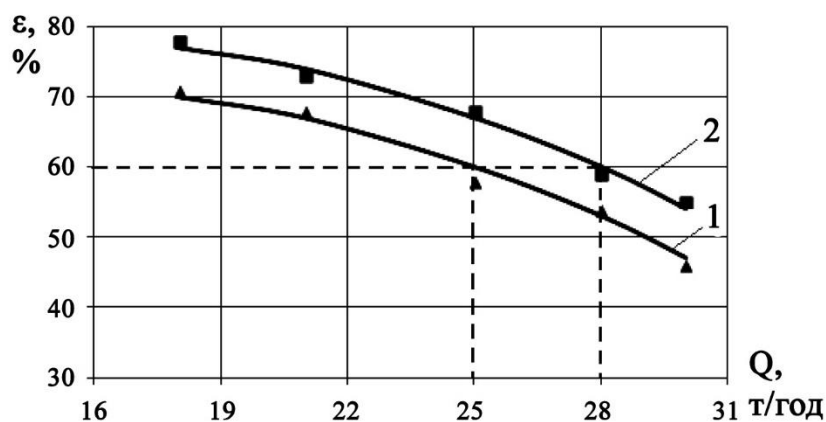


Рис. 4.9 Залежність продуктивності зерноочисної машини від повноти виділення домішок: 1 - базова машина; 2 - експериментальна машина; Q - продуктивність зерноочисної машини, т/ч; ε - повнота виділення домішок, %

Аналіз даних, представлених на рис. 4.14 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 %.

4.4 Висновки по розділу

Аналізуючи представлені дослідження, можна зробити наступні висновки:

1. Дослідженнями встановлено, що рівномірне заповнення бункера зерною купою по ширині забезпечується при вертикальному поданні по центру бункера. При поданні зерна по похилому зернопроводу відзначається зміщення стовпа до однієї з бічних стінок бункера.

2. Для забезпечення симетричного розташування зернового стовпа при поданні його по похилому зернопроводу необхідно змінювати місце подання зерна у бункер. Так при поданні зерна по зернопроводу під кутом 80° необхідне зміщення місця завантаження повинне складати 15 см, при поданні під кутом 70° необхідне зміщення складає вже 30 см. Зменшення кута нахилу зернопроводу до 60° необхідне зміщення збільшується до 45 см.

3. Повне заповнення бункера по ширині, при центральному завантаженні матеріалу під кутом подання зернопроводу 90° до горизонту, відбувається при висоті стовпа 0,42 м, а заповнення основи бункера (живлячій щілині) при поданні матеріалу під кутом 70° до горизонту відбувається на висоті стовпа 0,62 м. Подальше збільшення висоти шару дозволяє формувати товщину шару у країв бункера, що гарантує більше рівномірне завантаження решета по

ширині зерноочисної машини.

4. Дослідженнями встановлено, що рівномірність завантаження решіт зерноочисної машини значною мірою залежить від висоти шару зерна у бункері приймально-розподільного пристрою, тому мінімальна висота шару зерна в приймально-розподільному пристрої при вертикальному поданні у бункер повинна відповідати не менше 45.48 см При похилому поданні зерна по центру бункера під кутом 70° висоту шару необхідно збільшити до рівня не менше 63.70 см

5. 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 %.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

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.

3. Теоретично виявлено, що у бункері необхідно підтримувати висоту зернового стовпа не менше 0,6 м для забезпечення рівномірного розподілу матеріалу через дозуючу щілину приймально-розподільного пристрою по її довжині. Рівномірне заповнення бункера зерною купою по ширині забезпечується при вертикальному поданні по центру бункера. При похилому поданні відзначається зміщення зернового стовпа до однієї з бічних стінок бункера.

4. Необхідно змінювати місце подання зерна у бункер для отримання симетричної стовпа при похилому поданні зерна. При центральному поданні зерна по зернопроводу під кутом 80° необхідне зміщення місця завантаження повинне складати 15 см від центру бункера, при поданні під кутом 70° необхідне зміщення складає 30 см. Зменшення кута нахилу зернопровода до 60° приводить до необхідного зміщення на 45 см. Повне заповнення бункера по ширині дозуючої щілини при центральному завантаженні матеріалу відбувається на висоті стовпа 0,42 м під кутом нахилу зернопровода 90° до горизонту і на висоті стовпа 0,62 м під кутом нахил зернопровода 70° до горизонт.

5. Експериментально встановлено, що рівномірність завантаження по ширині робочих органів легко-решітних зерноочисних машин значною мірою залежить від висоти шару зерна у бункері. Мінімальна висота шару зерна у бункері приймально-розподільного пристрою при вертикальному введенні матеріалу повинна складати не менше 45.48 см. При похилому поданні зерна по центру бункера під кутом 70° висоту шару необхідно збільшити до рівня не менше 63 см.

6. 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 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабіцкий Л. Ф., Булгаков В.М., Войтюк Д. Р., Рябец В. І. Основи наукових досліджень. Навчальний посібник для студентів факультетів механізації сільського господарства. Київ: Видавництво НАУ, 1999. 228 с.
2. Станкевич Г.М. Страхова Т.В., Атаназевич В.І. Сушіння зерна. Київ, 1997. 352 с.
3. ГОСТ 28293-89. Зерносушилки шахтные. Показатели энергопотребления. Москва, 1990. 4 с.
4. Pichler H.J. Sorptionisothermen fur Getreide und Raps. Landtechn. Forsch. 1956. Bd. 6, No 2. P. 47.
5. Калетник Г.М., Войтюк В.Д., Бондар С.М. та ін. Управління інженерною діяльністю виробничих і сервісних підприємств АПК. Київ, 2010. 448 с.
6. 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.
7. Назаренко І. І., Берник І. М. Основи проектування і конструювання машин та обладнання переробних виробництв. навчальний посібник. Затверджено міністерством освіти і науки, молоді та спорту України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Видавництво «Аграр Медіа Груп», К: 2013. 544 с.
8. Babic M. Influence of basic wheat grain physical properties onto hydrodinamical regimes. AgEng. Madrid 23. September 1996, Paper 96F-067.
9. Bohnet M. Mechanische Verfahrenstechnik. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, 2004. 270 s.
10. 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.
11. Mitt. Biol. Bundensamst. Land-und Forstwirt. Berlin; Dahlem, 1986. M.232. S.134.

12. 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.
13. Vandura 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.
14. Хиппель, А. Диэлектрики и волны. М.: Наука, 1990. 360 с
15. Зозуляк І. А. Обґрунтування конструкції вібромашини для сушіння гранульованих і зернистих матеріалів. *Східно-європейський журнал передових технологій*. 2014. №1/7(67). С.15-19
16. 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.
17. 10. Бурдо О.Г. Электротехнологии адресной доставки энергии при обработке пищевого сырья. «*Электронная обработка материалов*» №3 (53) 2017. С. 64-72
18. Котов Б. І., Спирін 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
19. Спирін 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
20. 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.
21. Рогов И. А., Некрутман С. В. Сверхвысокочастотный нагрев пищевых продуктов. М.: Агропромиздат, 1986. 351 с.
22. Пазюк В. М. Теплонасосні сушильні установки в процесах сушіння зерна. *Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК»*. 2016. №2 (94). С.53-57

23. 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

24. Сажин Б. С. Основы техники сушки. М. : Химия, 1984. 320 с.

25. Пазюк В. М., Пазюк О. Д. Енергозберігаючі режими сушіння насінневого зерна та реалізація їх у вібраційній зерносушарці. *Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях»*. 2016. №3 (83). С.202-206

26. 27. 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.

27. 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.

28. 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

29. Бандура В. М., Кірієнко О. О. Розвиток інфрачервоної техніки для обробки зерна. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2015. №3(92). С.53-58.

30. 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.

31. 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

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

33. Солона О. В., Купчук І. М. Теорія механізмів і машин. Курсове проектування. Навчальний посібник. 2-ге вид., допов. і перероб. Вінниця: ВНАУ, 2019. 249 с.
34. Солона О. В., Купчук І.М. Практикум з теорії механізмів і машин: навч. посіб. Вінниця: ВНАУ, ТОВ “Друк”. 2020. 252 с.
35. Калетнік Г. М., Черниш О .М., Березовий М. Г. Використання сучасних методів механіки для сільського господарства. Збірник наукових праць ВНАУ: Вінниця, 2011.Т1 (65). С.8-18.
36. Гунько І .В., Спирін А.В., Холоднюк О.В. Надійність систем та обґрунтування інженерних рішень. Вінниця : ВДАУ, 2006. 76 с.
37. Любін М. В. Механізація транспортуючих робіт. Ч. I : Транспортуючі машини з тяговим органом . Вінниця: ВДАУ, 2004. 217 с.
38. Любін М. В. Механізація транспортуючих робіт. Ч. II : Транспортуючі машини без тягового органу . Вінниця: ВНАУ, 2010. 230 с.
39. Любін М. В., Гунько І. В. Конвеєри з гнучким тяговим елементом: навч. посіб; М-во освіти і науки, юлоді та спорту України, ВНАУ. Київ: Хай-Тек Прес, 2012. 269 с.
40. 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.
41. 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.