

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

рівня вищої освіти «Магістр» на тему:

**Обґрунтування конструкційно-технологічних
параметрів обладнання для плющення кормового зерна**

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІ-3-24

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Іщенко Ростислав Сергійович

Керівник: _____ Івлєв Віталій Володимирович

Рецензент: _____ Леперда Володимир Юрійович

Дніпро 2025

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем
Рівень вищої освіти: «Магістр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«24» жовтня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Іщенко Ростиславу Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів обладнання для плющення кормового зерна

керівник роботи: Івлєв Віталій Володимирович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від
« 24 » жовтня 2025 року № 3182

2. Строк подання студентом роботи 12.12.2025 р.

2. Вихідні дані до роботи Аналіз стану питання процесів та обладнання для приготування комбікормів, плющарок. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз стану питання і завдання дослідження. 2. Теоретичне обґрунтування конструктивних параметрів гравітаційного сепаратора. 2. Дослідження процесу очищення фуражного зерна в лабораторних умовах. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5. Техніко-економічна оцінка сепаратора зерна. Загальні висновки. Бібліографічний список

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (2 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (3 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (3 аркуші, А4). 4. Охорона праці (1 аркуш, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуш, А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Івлєв В.В., доцент		
Нормоконтроль	Івлєв В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 24.10.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 01.10.2025 р.	
2	Теоретичний	до 20.10.2025 р.	
3	Експериментальний	до 09.11.2025р.	
4	Охорона праці	до 19.11.2025 р.	
5	Економічний	до 26.11.2025 р.	
6	Демонстраційна частина	до 30.11.2025р.	

Студент

_____ Іщенко Р.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ Івлєв В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Іщенко Р.С. Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів обладнання для плющення кормового зерна /Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2025.

У дипломній роботі розглянуто проблему підвищення ефективності підготовки фуражного зерна до плющення шляхом його очищення від дрібних і крупних домішок на універсальному гравітаційному сепараторі. Подано аналіз існуючих способів і технічних засобів сепарації зерна, досліджено фізико-механічні властивості пшениці, ячменю та вівса, що визначають умови гравітаційного розділення. Теоретично обґрунтовано конструктивно-технологічні параметри сепарувальних гребенок з комбінованими прутками та дугоподібних скатних дощок, визначено раціональні довжину, кут нахилу та кількість гребенок, а також допустиму подачу зернового матеріалу. За результатами лабораторних досліджень встановлено, що запропонований сепаратор забезпечує ефективне виділення домішок при подачі до 9–10 т/год та дозволяє зменшити питомі експлуатаційні витрати порівняно з базовими зразками обладнання. Окрему увагу приділено вимогам охорони праці та безпечної експлуатації технологічної лінії з урахуванням чинних українських та європейських норм.

Ключові слова: фуражне зерно, гравітаційний сепаратор, сепарація домішок, плющення зерна, сепарувальна гребінка, комбіновані прутки, ефективність очищення, охорона праці.

ЗМІСТ

Вступ	8
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	11
1.1 Види домішок та їх шкідливий вплив	11
1.2 Аналіз існуючих способів сепарування зерна	14
1.2.1 Очищення зерна повітряним потоком	14
1.2.2 Розділення зерна за розмірами на решетах	17
1.2.3 Розділення зерна за довжиною на трієрах	20
1.2.4 Розділення зерна за формою та станом поверхні	23
1.3 Висновки	26
2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ГРАВІТАЦІЙНОГО СЕПАРАТОРА	28
2.1 Технологія підготовки зерна до плющення	28
2.2 Теоретичне обґрунтування конструктивних параметрів сепарувальної гребінки	33
2.3 Теоретичне обґрунтування кута встановлення сепарувальної гребінки	37
2.4 Теоретичне обґрунтування радіуса заокруглення скатної дошки	43
2.5 Висновки	47
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА В ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ	48
3.1 Програма досліджень	48
3.2 Опис лабораторної установки	49
3.3 Методика проведення дослідів	51
3.4 Результати дослідження впливу довжини гребінки на ефективність виділення домішок	53

3.5	Результати дослідження впливу кута нахилу сепарувальної гребі нки на ефективність виділення домішок	55
3.6	Результати дослідження впливу кількості сепарувальних гребінок на ефективність виділення домішок	58
3.7	Висновки	60
4	ОХОРОНА ПРАЦІ	61
4.1	Загальні вимоги охорони праці при роботі з сепаратором зерна	61
4.2	Оцінка небезпечних факторів при роботі з розробленим сепара- тором зерна	62
4.3	Інструкція з охорони праці при роботі з універсальним гравіта- ційним сепаратором зерна	64
4.4	Висновки	66
5	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА СЕПАРАТОРА ЗЕРНА	68
5.1	Вихідні дані	68
5.2	Розрахунок показників економічної ефективності	69
5.3	Висновки	70
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	71
	БІБЛІОГРАФІЯ	72
	ДОДАТКИ	74

ВСТУП

Сучасний розвиток тваринництва неможливий без надійного забезпечення поголів'я високоякісними повноцінними кормами. Одним із головних компонентів раціонів більшості видів сільськогосподарських тварин і птиці є концентровані корми на основі зерна злакових і бобових культур. Якість фуражного зерна та ступінь його підготовки до згодовування безпосередньо впливають на засвоюваність поживних речовин, продуктивність тварин, стан їх здоров'я, а також на економічні показники роботи господарства.

Практика показує, що в процесі збирання, транспортування й зберігання зернова маса забруднюється органічними й мінеральними домішками, насінням бур'янів, металомагнітними включеннями, грудочками ґрунту, шматками асфальту та бетону тощо. Наявність таких домішок призводить до зниження поживної цінності комбікормів, підвищення ризику травмування та отруєння тварин, збільшення падежу молодняку, а також до передчасного зносу й пошкодження робочих органів технологічного обладнання. Особливо небезпечними є насіння отруйних рослин та тверді механічні домішки, що можуть спричинити поломку вальців плющилок і створити передумови для аварійних ситуацій.

Одним з найбільш ефективних способів обробки фуражного зерна є його плющення на вальцьових плющилках. Плющене зерно краще поїдається, менше пилить, на 15–20 % краще перетравлюється тваринами, що сприяє підвищенню надоїв, приростів живої маси та покращенню якості продукції тваринництва. Водночас обов'язковою передумовою ефективної роботи плющильної лінії є якісне очищення зерна від дрібних і крупних домішок. Тому вдосконалення технології підготовки фуражного зерна до плющення, зокрема за рахунок застосування раціональних схем і засобів очищення, є актуальним завданням галузі.

Існуючі зерноочисні машини, що ґрунтуються на використанні повітряних потоків, решіт, трієрів, густинних, магнітних та електричних методів, у більшості випадків мають складну конструкцію, потребують значних енерговитрат, ретельного налагодження під конкретну культуру, а при зміні виду зерна часто вимагають заміни робочих органів. Для малих і середніх фермерських господарств це означає зростання капітальних та експлуатаційних витрат, ускладнення технічного обслуговування й зменшення гнучкості виробництва. У цих умовах особливого значення набувають прості, малометалоємні та універсальні сепаратори, що працюють переважно за рахунок сил гравітації, не потребують власного приводу і здатні одночасно виділяти як дрібні, так і крупні домішки з зернової суміші.

Актуальність теми дипломної роботи зумовлена необхідністю підвищення ефективності підготовки фуражного зерна до плющення шляхом удосконалення процесу його очищення на основі гравітаційного розділення, зниження енергоємності технологічної лінії, підвищення надійності та довговічності обладнання, а також забезпечення вимог вітчизняного й європейського законодавства щодо безпечності кормів та охорони праці.

Метою дипломної роботи є підвищення ефективності процесу підготовки фуражного зерна до плющення шляхом його очищення від дрібних і крупних домішок на універсальному гравітаційному сепараторі та обґрунтування раціональних конструктивно-технологічних параметрів цього сепаратора.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються такі основні завдання:

- проаналізувати існуючі способи й технічні засоби очищення та сепарації зерна, визначити їх переваги й недоліки з позицій застосування в умовах фермерських і комбикормових господарств;
- дослідити фізико-механічні властивості фуражного зерна основних

культур (пшениці, ячменю, вівса), що впливають на процес гравітаційної сепарації (лінійні розміри, об'ємна маса, кути тертя, кут природного укосу, текучість);

– розробити конструктивно-технологічну схему лінії підготовки зерна до плющення з використанням універсального гравітаційного сепаратора;

– теоретично обґрунтувати конструктивні параметри сепарувальної гребінки з комбінованими прутками та дугоподібної скатної дошки, а також раціональні кути їхнього встановлення;

– провести лабораторні дослідження процесу очищення зернових сумішей на дослідній установці, визначити вплив довжини гребінки, кута її нахилу, кількості гребінок та подачі зернового матеріалу на ефективність виділення домішок;

– виконати техніко-економічну оцінку застосування універсального гравітаційного сепаратора в порівнянні з базовими зразками обладнання;

– проаналізувати умови охорони праці при експлуатації сепаратора та технологічної лінії в цілому з урахуванням вимог чинних українських і європейських нормативно-правових актів.

Об'єктом дослідження є процес очищення фуражного зерна від дрібних і крупних домішок у технологічній лінії його підготовки до плющення.

Предметом дослідження є конструктивно-технологічні параметри універсального гравітаційного сепаратора та їхній вплив на ефективність сепарації й техніко-економічні показники підготовки фуражного зерна.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Види домішок та їх шкідливий вплив

Якість комбікорму безпосередньо пов'язана зі станом сировини й насамперед зі ступенем очищення зерна. Ефективність сепарації на проміжних операціях плющення чи подрібнення впливає не тільки на якість готової продукції та повноту використання сировини, а й на завантаження та надійність роботи інших машин у лінії. Від стану та ефективності роботи очисного обладнання значною мірою залежить продуктивність усього комбікормового виробництва.

Прагнення підвищити експлуатаційні показники — продуктивність, надійність та якість розділення сипких матеріалів (зерна й зернопродуктів) — зумовило появу великої кількості способів сортування та конструкцій машин. Вони враховують складний характер взаємодії частинок матеріалу між собою та з робочими органами. У кожному конкретному випадку переслідується певна мета: зерноочисні сепаратори повинні видалити з зернової суміші домішки, що знижують якість готової продукції, ускладнюють зберігання, транспортування та подальшу переробку зерна.

До домішок, що можуть міститися в зерні, належать рештки вегетативної маси, насіння бур'янів, грудочки ґрунту, частки асфальту чи бетону з підлоги зерноскла, а також різні металеві включення у вигляді дрібних деталей машин або металевої стружки.

Уміст сторонніх домішок у зерні, призначеному для згодовування сільськогосподарським тваринам, жорстко регламентується державними стандартами. У них задаються гранично допустимі показники для зерна, що заготовляється для переробки на комбікорм.

Таблиця 1.1 – Обмежувальні норми для зерна, призначеного для переробки на комбікорм

Показник	Допустиме значення
Вологість, %, не більше	19,0
Натура, г/л	Не нормується
Смітна домішка, %, не більше	8,0
у тому числі мінеральна домішка	У межах загальної норми смітної домішки
у складі мінеральної домішки галька	1,0
Шкідлива домішка, %	1,0
Зерна культурних рослин, зіпсовані, %	У межах загальної норми смітної домішки
Овсюг	У межах загальної норми смітної домішки
Мертві шкідники (жуки), шт. у 1 кг, не більше	Не нормуються
Зернова домішка, %, не більше	15,0
у тому числі пророслі зерна	5,0
Насіння інших культурних рослин, віднесених до зернової	У межах загальної норми зернової домішки
у тому числі зерна ячменю та жита	У межах загальної норми зернової домішки
Дрібні зерна, %, не більше	Не нормуються

Залежно від складу та властивостей зернової маси, а також комплектації технологічної лінії, з неї можна вилучити щуплі й уражені зерна, органічні та

мінеральні домішки, насіння бур'янів, легкі частки, металомагнітні та немагнітні металеві включення й інші забруднювачі. Особливості зернової суміші визначають вибір обладнання та послідовність операцій очищення, яку встановлює технолог.

Особливо небажаною є присутність металевих домішок у сировині, проміжних продуктах і готових комбікормах з таких причин:

продукти переробки зерна використовуються переважно в харчових і кормових цілях;

металомагнітні частки здатні пошкоджувати робочі органи машин;

при їх ударній взаємодії з деталями обладнання можуть виникати іскри, що створює небезпеку пожежі чи вибуху.

Основними джерелами металомагнітних домішок у зернових сумішах є продукти зносу та руйнування робочих органів машин, а також металеві предмети, що потрапляють у зерно під час ремонту й експлуатації обладнання обслуговуючим персоналом.

Негативними є й наслідки присутності насіння бур'янів. Особливо небезпечними є насіння отруйних рослин. Такі домішки категорично неприпустимі у зерні, що призначене для годівлі тварин. До цієї групи належать, зокрема, куколь, насіння якого містить глікозид агроспермін із гірким смаком і наркотичною дією. Горчак (софора лисохвоста) є токсичною рослиною, отруйними є як насіння, так і надземні частини.

До шкідливої домішки відносять також насіння в'язеля, дурману, триходесми сірої, геліотропу, п'яного плевелу та інших отруйних бур'янів. Окремо виділяють домішки, пов'язані з грибковими захворюваннями культурних рослин (головня, спориня), а також паразитичних організмів тваринного походження, наприклад, угриці.

Насіння підмаренника чіпкого у зерні, призначеному для годівлі птиці, може спричиняти отруєння курей та підвищувати падіж молодняку.

Перелічені вище негативні чинники, пов'язані з наявністю сторонніх домішок, погіршують якість комбікорму, ускладнюють роботу комбікормових агрегатів і негативно позначаються на здоров'ї тварин. Це обґрунтовує необхідність ретельного очищення фуражного зерна від сторонніх включень перед його переробкою на корми для сільськогосподарських тварин.

1.2 Аналіз існуючих способів сепарування зерна

Вибір способу розділення зернової суміші та продуктів її переробки в значній мірі визначає й вибір обладнання, виходячи з необхідних ознак розділення та фінансових можливостей підприємства.

На практиці найбільшого поширення набули такі способи очищення та сортування зерна і насіння:

- очищення в повітряному потоці;
- розділення за розмірами на решетах;
- розділення за довжиною у триєрах;
- розділення за формою та станом поверхні;
- очищення та сортування за густиною;
- електричні методи розділення.

Конкретний спосіб очищення та сортування обирають залежно від фізико-механічних властивостей компонентів вихідної зернової маси та вимог до якості кінцевого продукту.

1.2.1. Очищення зерна повітряним потоком

Спосіб очищення насіння в повітряному потоці широко застосовують у різноманітних конструкціях зерноочисних машин. Він ґрунтується на різниці маси та аеродинамічних властивостей зерен і домішок.

Аеродинамічні властивості частинок (зерна та домішок) характеризуються їх «парусністю», яка визначається опором, що чинить кожна частинка руху повітряного потоку. Чим більша площа проєкції та менша маса частинки, тим вища її парусність і тим легше вона захоплюється повітряним потоком.

Розділення зернової суміші на фракції відбувається у повітряних каналах і камерах зерноочисних машин. Повітряні канали можуть бути:

вертикальні або похилі;

прямокутного чи циліндричного перерізу;

одинарні та подвійні.

Розрізняють канали:

нагнітального типу – робоча зона очищення розміщується у вихідній частині каналу вентилятора;

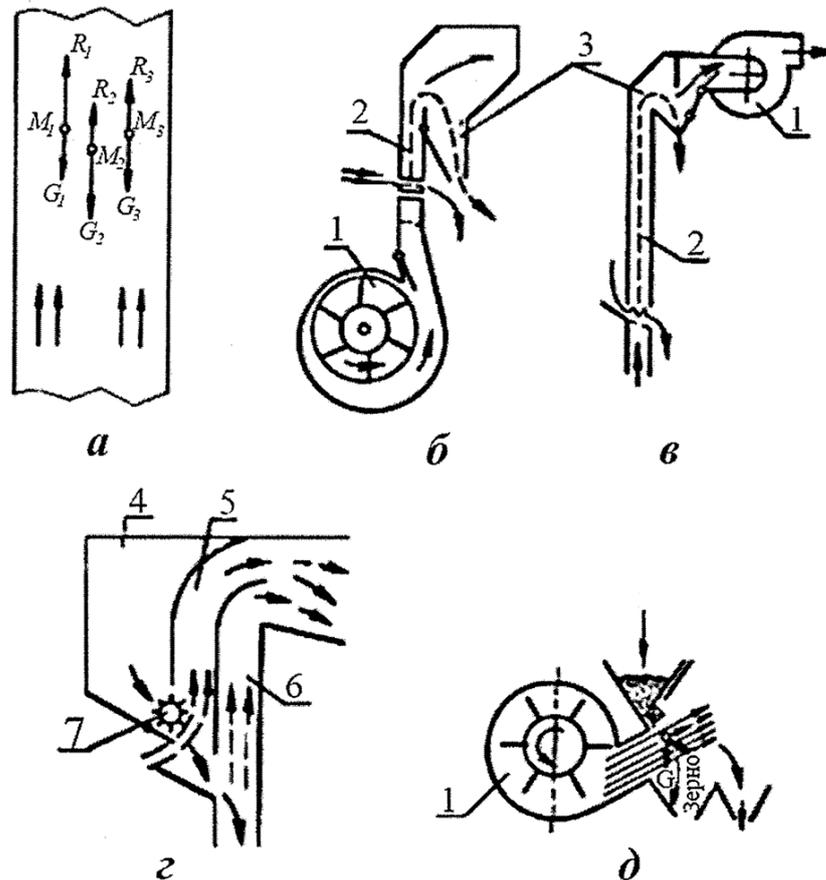
всмоктувального типу – робоча зона знаходиться у вхідній частині каналу вентилятора.

На рис. 1.1 схематично показано: дії сил на частинки в вертикальному повітряному каналі; вертикальний канал нагнітального типу; вертикальний канал всмоктувального типу; подвійний вертикальний повітряний канал; похилый повітряний потік у камері зерноочисної машини.

Повітряним потоком із зернової маси видаляють половиу, м'якіну, мертвий сміт, частину насіння бур'янів, щупле та подрібнене зерно й інші легкі домішки. Захоплені повітрям домішки піднімаються каналом і потрапляють в осадову камеру.

У цій камері, за рахунок збільшення площі поперечного перерізу (орієнтовно у 2,5–3 рази порівняно з каналом), швидкість повітря різко знижується до приблизно 0,5–1 м/с, унаслідок чого значна частина домішок осідає. Для підвищення ефективності осадження в камерах установлюють перегородки,

що змінюють напрям руху повітряного потоку. При цьому виникають додаткові центробіжні сили, які сприяють осадженню частинок домішок. У добре спроектованій камері може осідати до 80 % вилучених домішок.



Основні елементи: 1 – вентилятор; 2, 5, 6 – повітряні канали; 3 – осадова камера; 4 – приймальна камера; 7 – живильний валок.

Рисунок 1.1 – Види повітряних каналів аеродинамічних зерноочисних машин.

Похилим повітряним потоком очищують зерно у веялках-сортувальних машинах та інших аналогічних агрегатах. Частинки зерна, що потрапляють у похилий повітряний потік, перебувають під дією сили повітряного потоку K

та сили ваги $G = mg$. Важчі частинки (повноцінне зерно), маючи меншу парусність, швидше випадають у приймач під дією сили тяжіння. Легкі домішки, що характеризуються більшою парусністю (велика площа поперечного перерізу при малій масі), уносяться повітряним потоком.

Для створення повітряного потоку в зерноочисних машинах застосовують, як правило, відцентрові пилові вентилятори.

Швидкість повітряного потоку в робочих зонах повітряних каналів регулюють за допомогою заслінок, змінюючи ефективний переріз вхідних або вихідних отворів вентилятора. Якість налаштування повітряного потоку оцінюють за складом відходів, що накопичуються в осадкових камерах:

у відходах, по можливості, не повинно бути повноцінного зерна;

у очищеному матеріалі не мають залишатися легкі домішки, які можуть бути вилучені повітряним потоком.

Такий підхід забезпечує раціональний режим аеродинамічного очищення й сприяє підвищенню якості підготовки зернової сировини до подальшої переробки.

1.2.2 Розділення зерна за розмірами на решетах

На решетах насіння та зерно розділяють на фракції за шириною та товщиною. Під товщиною розуміють найменший поперечний розмір зернини, під шириною — середній поперечний розмір.

Для розділення за різними ознаками застосовують решета з різною формою отворів:

- для розділення за шириною – решета з круглими отворами;
- для розділення за товщиною – решета з продовгуватими отворами.

Як показано на рисунку 1.2, а, через круглі отвори проходять лише ті зерна й домішки, ширина яких менша за діаметр отвору. Товщина та довжина зерна при цьому суттєвого впливу на процес не мають.

Для розділення за шириною підбирають такі решета, щоб крізь отвори проходили зерна другого сорту або домішки (прохід), а зерно першого сорту залишалося на поверхні решета і сходило з нього (схід).

Через прорізи продовгуватої форми (рис. 1.2, б) можуть проходити тільки ті частинки, товщина яких менша за ширину отвору. Ширина та довжина зернин при цьому істотного впливу на розподіл не мають – у такому разі здійснюють розділення саме за товщиною.

Решета з продовгуватими отворами добирають так, щоб:

- ширина отвору була меншою за товщину очищуваних зерен основної культури;
- і більшою за товщину частинок відокремлюваних домішок.

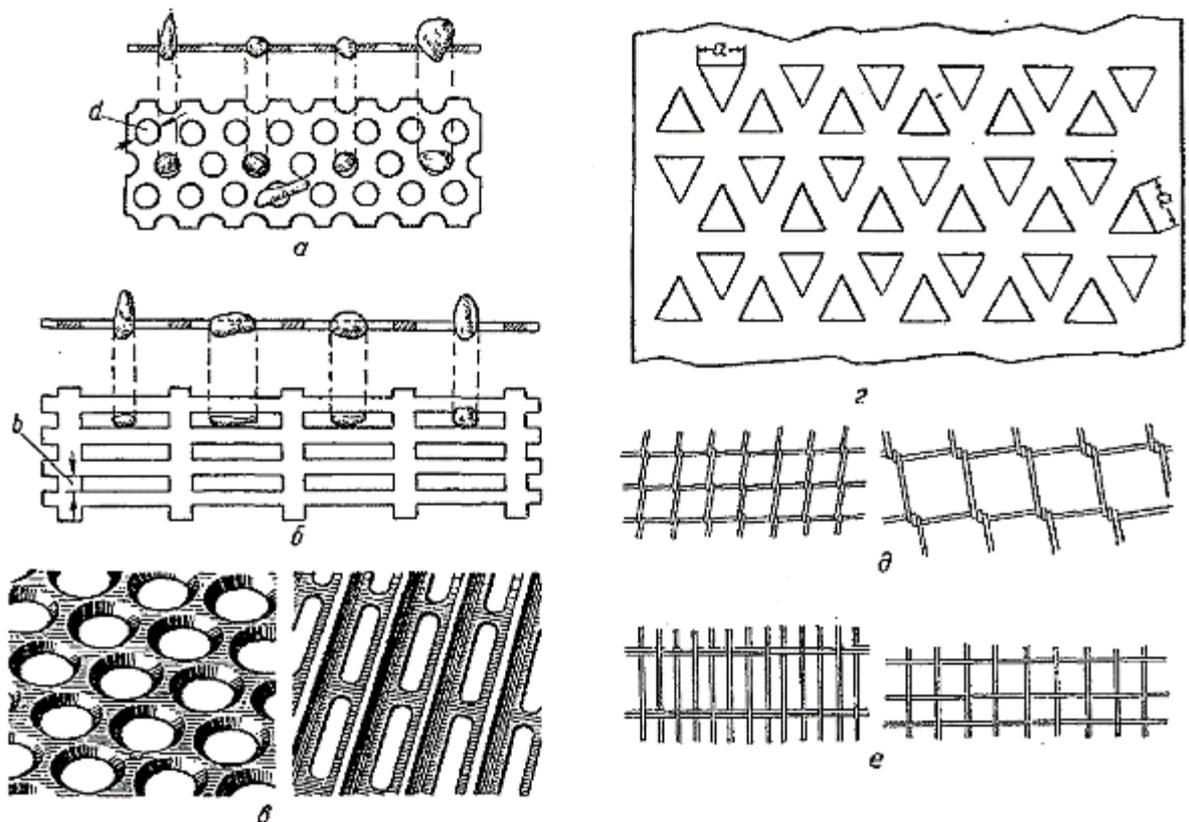
Під час роботи машини через отвори такого решета проходять головним чином домішки, тоді як повноцінне зерно сходить по поверхні решета (утворює «схід»).

На рисунку 1.2 наведено основні типи решіт.

Для підвищення здатності до просіювання розроблені також решета зі спеціальними отворами, у яких крайки відогнуті, що сприяє кращому переміщенню та самоочищенню отворів.

Для розділення насінневого матеріалу за формою частинок застосовують решета з трикутними отворами (рис. 1.2, г). На таких решетах, наприклад, із насипу пшениці виділяють насіння татарської гречки, стручки дикої редьки з гречки тощо.

У деяких зерноочисних машинах для виділення крупних та дрібних домішок застосовують плетені (рис. 1.2, д) та ткані (рис. 1.2, е) дротяні решета.



а – з круглими отворами; б – з продовгуватими отворами; в – з лункоподібними та гофрованими отворами для калібрування насіння кукурудзи; г – з трикутними отворами; д – плетені дротяні; е – ткані дротяні.

Рисунок 1.2 – Решета різних зерноочисних машин.

Залежно від призначення розрізняють такі основні типи решіт.

Колосові решета – призначені для виділення з маси зерна крупних домішок (частинок стебел, великих шматків сміття тощо). Отвори таких решіт підбирають так, щоб усе зерно разом із дрібними домішками проходило крізь отвори, а крупні частинки утворювали сід.

Сортувальні решета – використовують для розділення насіння основної культури за розміром. У цьому разі

- крупне насіння сходять з решета,
- дрібне насіння проходить крізь отвори.

Для сортування насіння зернових культур найчастіше застосовують решета з продовгуватими отворами, розміри яких підбирають для кожної культури експериментально.

Підсівні решета – служать для виділення дрібних домішок (мінеральні частинки, насіння бур'янів тощо). Для цього використовують решета:

- з круглими отворами діаметром приблизно 2...5 мм;
- з продовгуватими отворами шириною орієнтовно 2...2,6 мм.

У зерноочисних машинах решета встановлюють у спеціальних решітних станах. Конструкція машини може передбачати один, два або більше решітних станів, що дозволяє організувати багатоступеневе розділення зернової суміші за розмірами.

1.2.3 Розділення зерна за довжиною на трієрах

Для відокремлення від насіння основної культури коротких або довгих домішок застосовують трієри. Вони можуть виконуватися як окремі машини або як робочі органи в складі зерноочисних агрегатів. Найбільше поширення отримали циліндричні трієри, робочим органом яких є ячеювий (комірковий) циліндр.

На внутрішній поверхні такого циліндра формують (штамбуванням або фрезеруванням) комірки у вигляді кишеньоподібних заглиблень. Діаметр цих комірок задають більшим або меншим за довжину насіння, яке сортують.

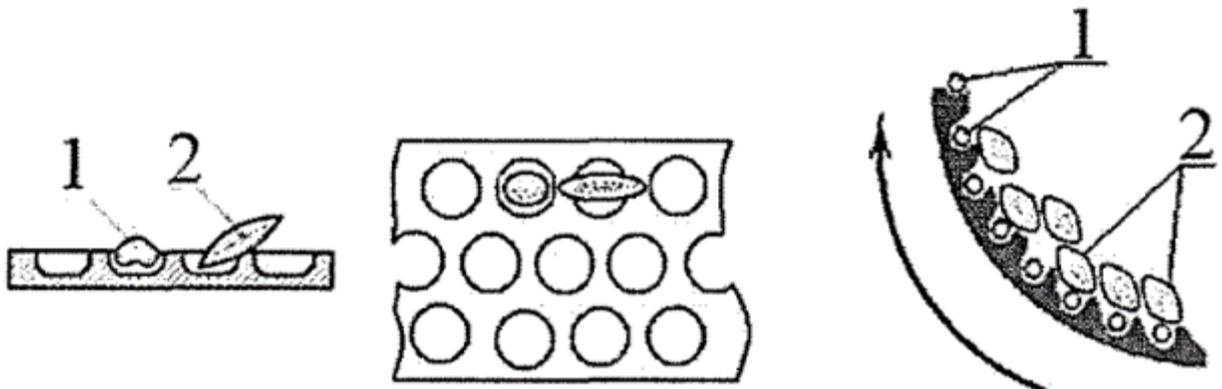
Розрізняють два основних типи трієрних циліндрів:

- якщо діаметр комірок менший за довжину зерен основної культури, циліндр призначений для відокремлення коротких домішок – його називають кукольним;

- якщо діаметр комірок більший за довжину основного зерна, циліндр використовують для виділення довгих домішок (наприклад, вівсюгу з пшениці) – такий циліндр називають овсюжним.

Всередині трієрного циліндра встановлено лоток зі шнеком, частота обертання якого, як правило, узгоджується з частотою обертання ячeyкового циліндра.

На рис. 1.3 схематично показано принцип розділення зерен ячeyковою поверхнею трієра.



1 – зерно, довжина якого менша за діаметр комірки (воно повністю вкладається в комірку); 2 – зерно, довжина якого більша за діаметр комірки (не вкладається й утриматися в комірці не може).

Рисунок 1.3 – Розділення зерен ячeyковою поверхнею трієра.

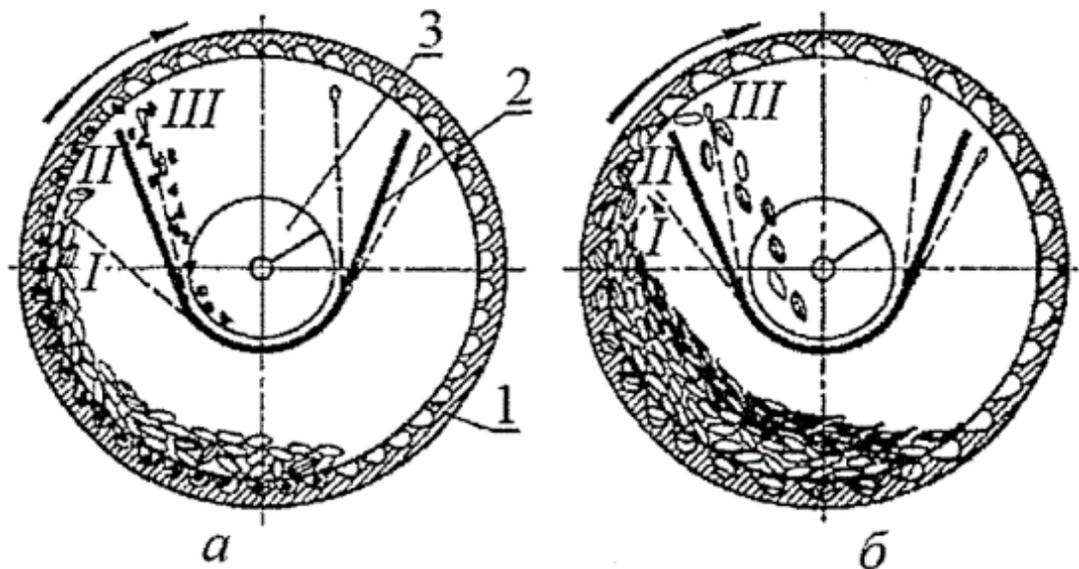
На рис. 1.4 умовно показано схему роботи кукульного (а) та овсюжного (б) трієрних циліндрів.

Початковий матеріал, надходячи в обертовий циліндр з одного торця, переміщується вздовж його осі тонким шаром по ячeyковій поверхні.

- У кукульному трієрі короткі зерна та домішки, довжина яких менша за діаметр комірок, захоплюються ними і піднімаються вгору. Досягнувши

зони над лотком, вони під дією сили тяжіння висипаються з комірок, потрапляють у лоток, а далі шнеком виводяться назовні. Довгі зерна основної культури, частково потрапляючи в комірки, не утримуються в них і випадають раніше, не дістаючи до лотка. Вони ковзають уздовж поверхні циліндра і виходять «сходом».

- В овсюжному трієрі ситуація протилежна: основне зерно є відносно коротким і потрапляє в комірки, після чого висипається в лоток і виноситься шнеком. Довгі домішки (наприклад, вівсюг у пшениці) не утримуються в комірках і йдуть сходом по поверхні циліндра.



1 – ячeyковий циліндр; 2 – лоток; 3 – шнек.

Рисунок 1.4 – Схема роботи куkільного (а) та овсюжного (б) трієрних циліндрів.

Положення лотка можна повертати, змінюючи зону випадіння зерна з комірок. Це дає змогу налаштувати процес так, щоб у лоток потрапляли лише насіння потрібної довжини, не допускаючи потрапляння довгих домішок.

1.2.4 Розділення зерна за формою та станом поверхні

Насіння різних культур суттєво відрізняється за:

- формою (плоскі, видовжені, кулясті, тригранні тощо);
- станом поверхні (гладка, шорстка, пориста, бугриста, ямчаста, вкрита плівками чи пушком).

Ці відмінності широко використовують при очищенні та сортуванні зернових сумішей. Зокрема, при русі по нахиленій поверхні коефіцієнт тертя для таких частинок різний, що дає змогу реалізувати фрикційні способи розділення.

На основі цього створені пристрої з нахиленими фрикційними поверхнями:

- фрикційні гірки;
- гвинтові сепаратори («змійки»);
- фрикційні трієри.

На рис. 1.5, а показано решето з трикутними отворами, що застосовується для виділення насіння бур'янів тригранної форми. На таких решетах, наприклад, із пшениці можна відділити зерна татарської гречки, а з тимофіївки – дрібні домішки на зразок щавлю тощо.

На гвинтових сепараторах («змійках», рис. 1.5, б) також здійснюють розділення частинок за формою. Зерно та домішки, що надходять на гвинтову поверхню, рухаються по ній по-різному:

- округлі зерна, перекочуючись, набувають більшої швидкості та, відповідно, більшої відцентрової сили, унаслідок чого викидаються через борт поверхні в лоток 1;
- більш плоскі частинки відхиляються від осі менше, рухаються повільніше й потрапляють у лоток 2.

Такі сепаратори можуть використовуватися, наприклад, для розділення виковівсяної суміші на овес і вику, а також для виділення гороху з маси вівса.

На рис. 1.5, в і г показані горки з поздовжнім та поперечним рухом полотна. На них частинки також розділяють за формою з урахуванням шорсткості їх поверхні:

- на горці з поздовжнім рухом полотна гладкі, округлі частинки скочуються донизу в лоток 1, а більш плоскі й шорсткі захоплюються полотном і висипаються в лоток 2;
- на горці з поперечним рухом полотна гладкі насінини рухаються до виходу 1, а шорсткі й плоскі – до виходу 2.
- Такі горки ефективні, зокрема, для очищення насіння буряків.

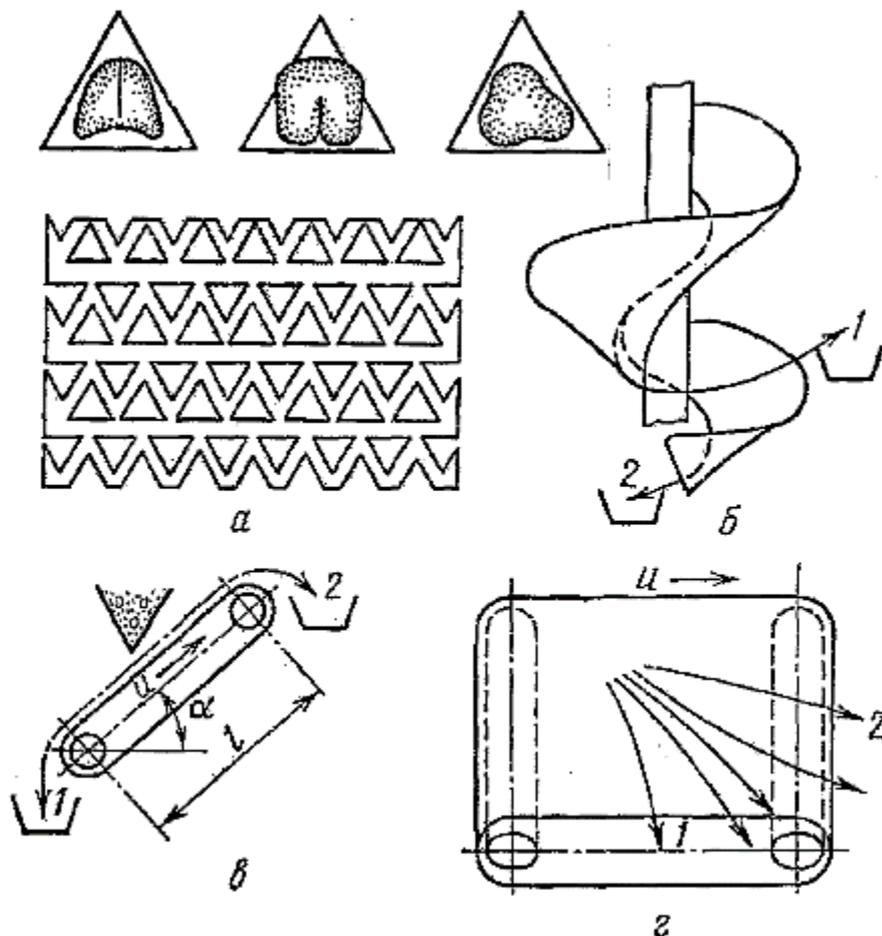


Рисунок 1.5 – Схеми пристроїв, що розділяють матеріал за формою та поверхнею частинок.

На рис. 1.6 показано пристрої, що розділяють зернові суміші переважно за станом поверхні:

- трієри з ворсистою поверхнею (рис. 1.6, а);
- електромагнітні сепаратори (рис. 1.6, б).

У трієрах з ворсистою поверхнею використовується властивість шорстких, «чіпких» насінин (наприклад, вівсюгу) чіплятися за нерівності. При роботі:

- насіння овсюгу захоплюється ворсистою поверхнею обертового циліндра 4;
- нерухома щітка 1, розташована всередині циліндра, зчищає ці насінини у жолоб 2;
- далі шнек 3 транспортує їх назовні.

Гладке насіння (основної культури) не затримується на ворсистій поверхні та сходить із циліндра, утворюючи основний потік. За аналогічним принципом працюють вальцьові горки з рифленою робочою поверхнею.

В електромагнітних сепараторах використано здатність шорстких насінин деяких культур обволікатися металевим порошком. Зернову суміш із доданим металевим порошком подають на поверхню циліндра 4, частина якого знаходиться в зоні магнітного поля, створюваного котушкою 5.

- Шорсткі насінини (повилика, плевел, подорожник та ін.), а також ушкоджене зерно, до якого прилипає порошок, утримуються на більшій частині окружності циліндра й потрапляють у лоток 6.
- Гладке насіння культурних рослин (наприклад, льону, конюшини) менше затримується й сходить у лоток 7.

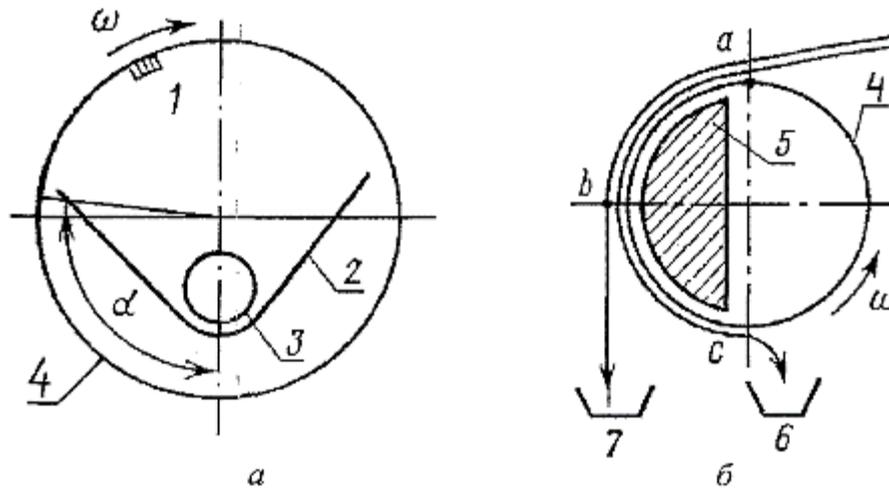


Рисунок 1.6 – Схеми пристроїв, що розділяють зернові суміші за станом поверхні.

1.3 Висновки

Концентровані корми є одним із основних джерел поживних речовин у раціонах годівлі сільськогосподарських тварин і птиці. Основу таких кормів становить зерно зернових і зернобобових культур. Кожен вид зерна має свій специфічний набір поживних речовин, тому для компенсації нестачі окремих елементів живлення доцільно змішувати різні види зерна. У результаті формують збалансований за поживністю комбикорм, який має відповідати зоотехнічним вимогам, зокрема щодо вмісту сторонніх домішок.

Обстеження ряду господарств показало, що у фуражному зерні містяться такі домішки, як рештки стебел сільськогосподарських культур і бур'янів, їх насіння, грудочки ґрунту, шматочки асфальту та бетону, пісок, металеві включення та інші забруднювачі. Наявність цих домішок негативно впливає на здоров'я та продуктивність сільськогосподарських тварин.

Аналіз існуючих способів очищення зерна свідчить, що одним із найбільш простих, відносно дешевих і зручних в експлуатації в умовах сільськогосподарських підприємств є гравітаційний спосіб сепарації.

Вивчення конструкцій сучасних гравітаційних сепараторів показує, що переважна їх більшість призначена для очищення лише одного виду зерна. Одночас для сільськогосподарських товаровиробників важливо, щоб очисна машина могла ефективно працювати з зерном різних культур без суттєвої переналадки або заміни робочих органів.

У зв'язку з наведеним, метою даної дипломної роботи є підвищення ефективності процесу підготовки плющеного фуражного зерна до згодовування сільськогосподарським тваринам шляхом його очищення від сторонніх домішок на універсальному гравітаційному сепараторі.

Для досягнення поставленої мети сформульовано такі завдання дослідження:

- розробити модель функціонування технологічної лінії приготування плющеного фуражного зерна для сільськогосподарських тварин із використанням універсального гравітаційного сепаратора для його очищення;
- розробити конструктивно-технологічну схему універсального гравітаційного сепаратора;
- теоретично й експериментально обґрунтувати основні параметри та режими роботи універсального гравітаційного сепаратора;
- провести техніко-економічну оцінку розробленого універсального гравітаційного сепаратора та оцінити ефективність його роботи.

2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ГРАВІТАЦІЙНОГО СЕПАРАТОРА

2.1. Технологія підготовки зерна до плющення

Технологія плющення фуражного зерна на вальцьових плющилках є однією з найефективніших і може бути використана як найвигідніший варіант у малих фермерських господарствах для приготування кормів різним видам сільськогосподарських тварин. Така технологія вже тривалий час застосовується в сільському господарстві розвинених країн.

Це зумовлено тим, що плющене зерно має низку переваг порівняно з подрібненим. Зокрема, за даними зоотехнічних досліджень, воно перетравлюється тваринами на 15–20 % краще, ніж неплющене. У результаті зростають надої молока й прирости живої маси молодняку великої рогатої худоби, поліпшуються якісні показники молока та м'яса завдяки кращому поїданню корму, відсутності пиління та зменшенню відходів у процесі годівлі.

Невід'ємною та важливою операцією в технології плющення фуражного зерна є попередня підготовка зернового матеріалу. Під час заготівлі, транспортування й зберігання до зернової маси потрапляють різноманітні домішки: насіння бур'янів, луска, солома, сторонні органічні включення, дрібні металеві частинки, грудочки ґрунту, асфальту, бетону тощо. Уміст таких домішок регламентується вимогами до якості кормів і не повинен перевищувати гранично допустимі норми, оскільки це погіршує якість кормів, впливає на здоров'я тварин, надої, приріст живої маси та надійність роботи технологічного обладнання. Наприклад, наявність у кормі насіння підмаренника чіпкого при годівлі птиці може призводити до падежу молодняку. Домішки з підвищеною твердістю викликають пошкодження робочої поверхні вальців плющилки.

Перед плющенням фуражне зерно, призначене для згодовування сільськогосподарським тваринам, має бути очищене від сторонніх домішок. Це обумовлено вимогами до допустимого вмісту в зерновому матеріалі насіння бур'янів, соломи, органічних та металоманітних домішок, грудочок ґрунту, асфальту, бетону. Крім того, у зерні можуть траплятися насіння отруйних рослин, що негативно впливають на здоров'я тварин і птиці.

Запропонована лінія підготовки зерна до згодовування сільськогосподарським тваринам включає два основних агрегати: універсальний гравітаційний сепаратор та вальцьову плющилку зерна.

На схемі технологічної лінії (рис. 2.1) передбачено такі операції. Зерно доставляють транспортним засобом 1 і вивантажують у бункер-накопичувач 2. Далі транспортер 3 подає зерно до приймального бункера гравітаційного сепаратора 4. Після відкриття заслінки 5 зернова маса надходить у сепаратор 6 для очищення. На виході із сепаратора очищене зерно захоплюється транспортером 7, який залежно від виду зерна розподіляє його між кількома бункерами-накопичувачами плющилки 8. Регулюючи положення заслінок бункерів, можна змінювати співвідношення видів зерна в комбікормі під час плющення.

На виході з бункерів плющилки встановлений магнітний уловлювач 9, що запобігає проходженню металоманітних частинок до вальців. Це забезпечує захист вальцьової плющилки 10 від механічних пошкоджень.

У запропонованій технології, з метою мінімізації витрат на очищення фуражного зерна, передбачається використання універсального гравітаційного сепаратора, принципова схема якого наведена на рисунку 2.2.

Запропонований універсальний гравітаційний сепаратор дає змогу здійснювати очищення будь-якого виду зернового матеріалу, що надходить на плющення, без заміни робочих органів.

Основними перевагами лінії підготовки зерна до згодовування є:

- низькі енерговитрати за високої ефективності завдяки використанню гравітаційного сепаратора як основного агрегата для очищення;
- зменшена тривалість технологічної операції очищення зерна;
- можливість очищення різних видів зерна на одному сепараторі без заміни робочих органів;
- зниження витрат на виробництво кормів у малих фермерських господарствах.

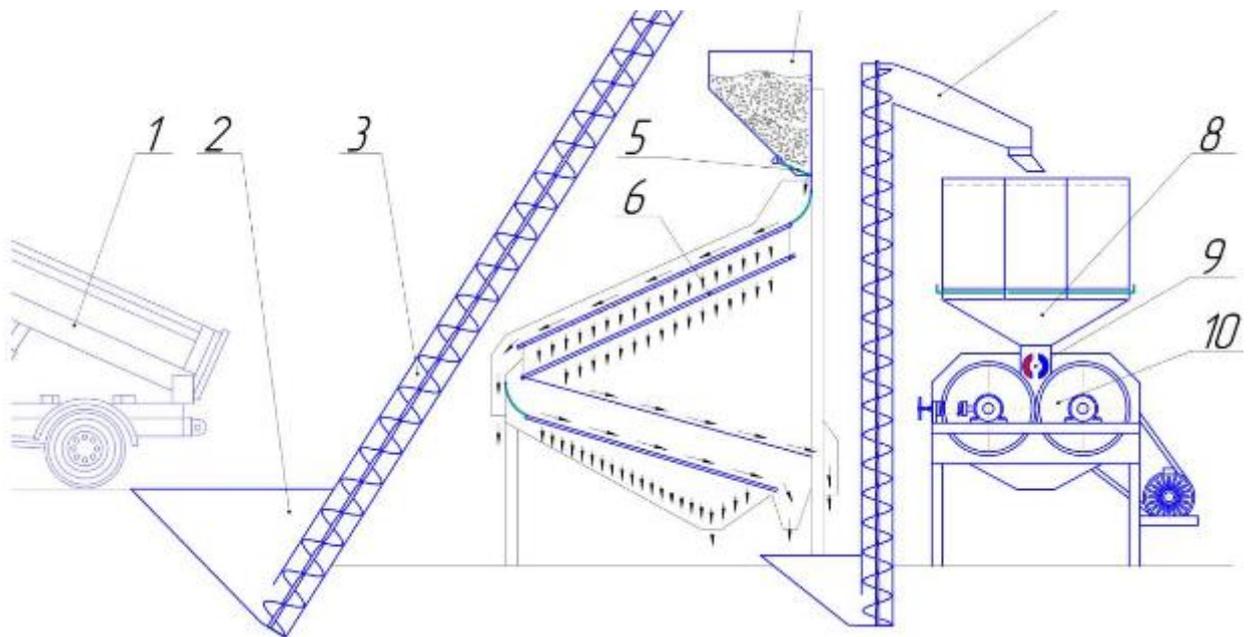
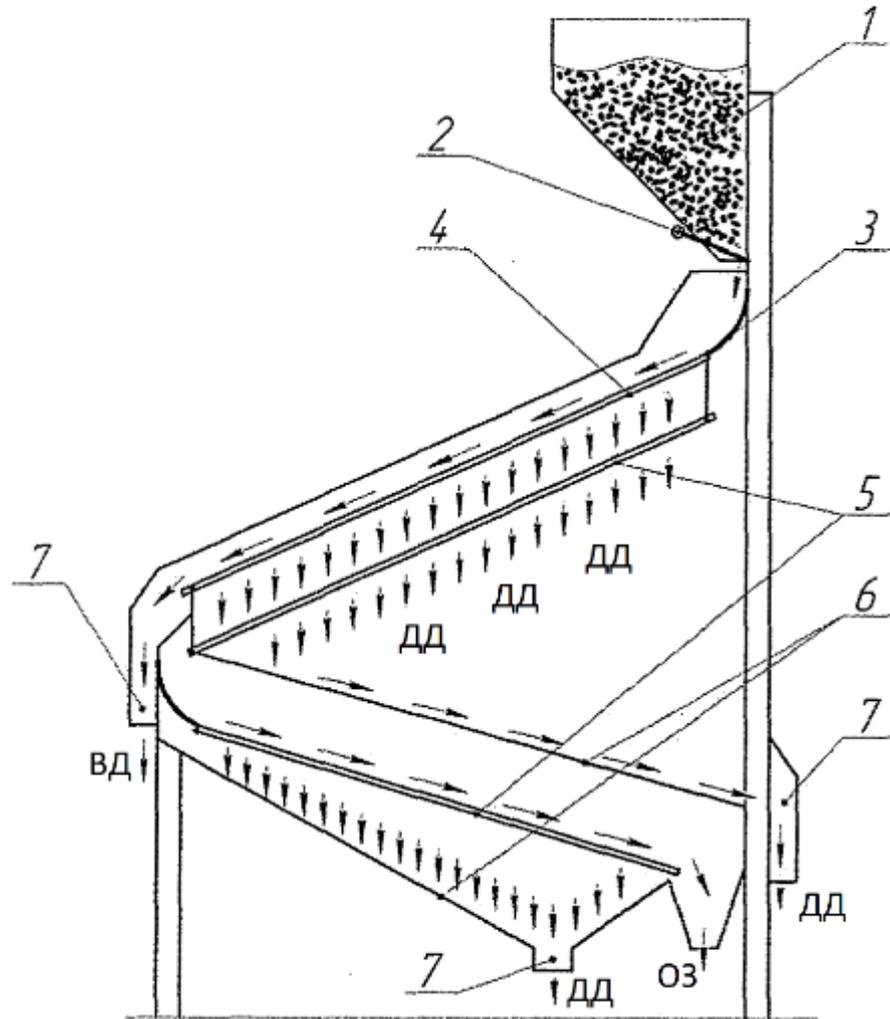


Рисунок 2.1 – Схема технологічної лінії очищення та плющення фуражного зерна. 1 – транспортування зерна автотранспортним засобом; 2 – бункер-накопичувач; 3 – транспортер; 4 – приймальний бункер універсального гравітаційного сепаратора; 5 – заслінка бункера гравітаційного сепаратора; 6 – універсальний гравітаційний сепаратор; 7 – транспортер; 8 – бункери-накопичувачі плющилки; 9 – магнітний уловлювач; 10 – вальцюва плющилка зерна.

Схема універсального гравітаційного сепаратора (рис. 2.2) містить: бункер 1 із заслінкою 2 для регулювання подачі зернового матеріалу, скатну дошку 3, сепарувальну гребінку 4 для відокремлення крупних домішок, сепару-

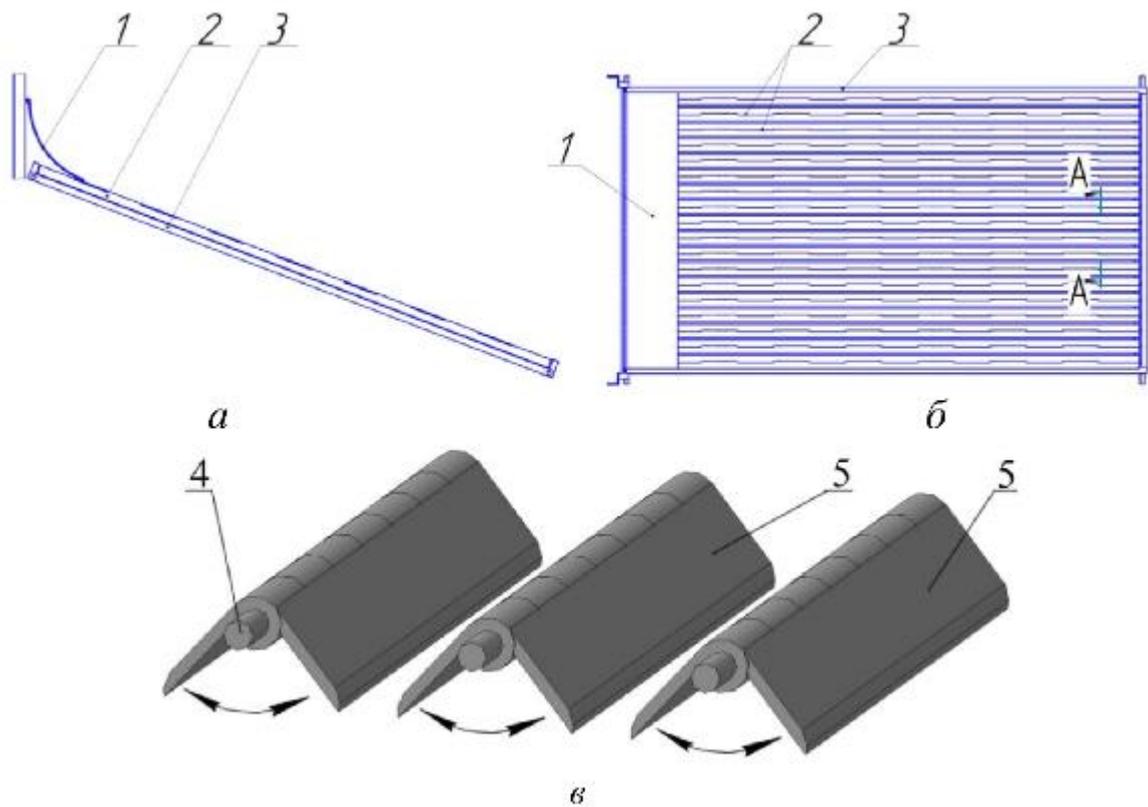
вальні гребінки 5 для відокремлення дрібних домішок, розташовані послідовно, скатні дошки 6 та відвідні канали 7 для видалення виділених домішок. Умовні позначення: МП – дрібні домішки; КП – крупні домішки; ОЗ – очищене зерно.



Умовні позначення: ДД – дрібні домішки; ВД – великі домішки; ОЗ – очищене зерно.

Рисунок 2.2 – Схема універсального гравітаційного сепаратора: 1 – бункер; 2 – заслінка; 3 – скатна дошка; 4 – сепарувальна гребінка для виділення крупних домішок; 5 – сепарувальні гребінки для виділення дрібних домішок; 6 – скатні дошки; 7 – відвідні канали.

Унікальність цього сепаратора полягає в конструкції сепарувальних гребінок. Кожна з них складається з кількох десятків комбінованих прутків (рис. 2.3), розташованих уздовж напрямку руху зернового матеріалу. Кожен комбінований пруток утворений двома пластинами 1, шарнірно закріпленими на осі 2. За допомогою механізму регулювання, повертаючи пластини навколо осі, встановлюють заданий щілинний зазор між пластинами сусідніх прутків, необхідний для виділення певних фракцій. Така конструкція дає змогу швидко підготувати сепаратор до роботи з будь-яким видом зерна без заміни робочих органів.



а – вигляд збоку; б – вигляд згори; в – прутки сепарувальної гребінки;
 1 – дугоподібна скатна дошка; 2 – комбіновані прутки; 3 – рамка гребінки; 4 – вісь прутка; 5 – пластини.

Рисунок 2.3 – Схема сепарувальної гребінки з комбінованими прутками.

Крім того, кожна сепарувальна гребінка оснащена дугоподібною скатною дошкою (рис. 2.4). Це дає змогу уникнути відскоку частинок матеріалу

під час руху з бункера та при переході з однієї гребінки на іншу. Така конструкція забезпечує сталій контакт зернової маси з поверхнею сепарувальних гребінок уздовж всієї їх довжини та істотно зменшує забивання щілин, оскільки зерно взаємодіє з гребінками по дотичній.

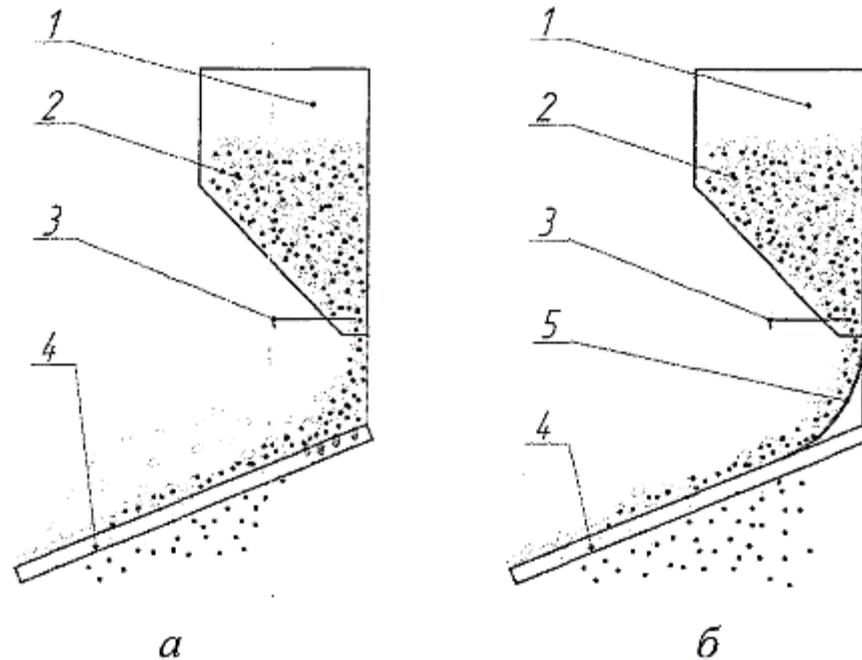


Рисунок 2.4 – Варіанти подачі зернового матеріалу на сепарувальну гребінку: а – без скатної дошки; б – із застосуванням дугоподібної скатної дошки; 1 – бункер-накопичувач; 2 – зернова маса; 3 – заслінка; 4 – сепарувальна гребінка; 5 – дугоподібна скатна дошка.

2.2 Теоретичне обґрунтування конструктивних параметрів сепарувальної гребінки

Параметри сепарувальної гребінки безпосередньо впливають на продуктивність усього сепаратора, тому їх необхідно теоретично обґрунтувати.

Як вихідні умови прийнято, що подача зернового матеріалу не перевищує 12 т/год, що забезпечує задоволення потреб малих і середніх фермерських господарств. Робоча ширина сепаратора становить 450 мм. За таких параметрів подача зерна на сепарувальну гребінку відповідає п'яти елементарним шарам зерна пшениці або ячменю чи трьом елементарним шарам зерна гороху. За цих умов за 1 с на гребінку подається в середньому близько 3,3 кг зернового матеріалу (залежно від культури).

Для забезпечення жорсткості прутків сепарувальної гребінки та стабільності щілинного зазору по всій їх довжині, із запасом міцності 15 %, добіром були прийняті такі розміри: діаметр (товщина) осі прутка $\delta = 3$ мм, ширина пластин $b = 12$ мм, матеріал пластин – сталь Ст3, товщина пластин – 2 мм. Схема прутків сепарувальної гребінки наведена на рисунку 2.5.

Під час обґрунтування взаємного розташування прутків у гребінці необхідно враховувати умову забезпечення максимальної площі живого перерізу, що визначає пропускну здатність сепарувальної гребінки за заданих габаритів. Оскільки універсальний гравітаційний сепаратор планується використовувати для різних видів зерна, які відрізняються за розмірами, потрібно забезпечити можливість регулювання щілинного зазору між прутками A у межах від 4 мм (для пшениці) до 7 мм (для гороху).

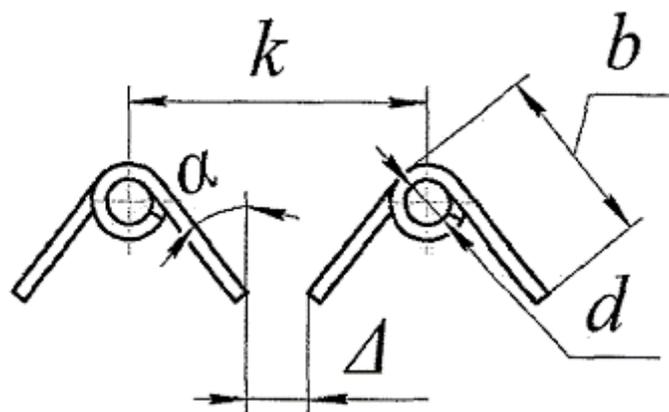


Рисунок 2.5 – Схема прутків сепарувальної гребінки.

Для надійного просіювання зернового матеріалу між прутками сепарувальної гребінки кут нахилу пластин прутків α має бути меншим за 50° . Враховуючи ширину пластини прутка $b = 12$ мм, кут нахилу пластини $\alpha = 50^\circ$ та мінімальну ширину щілинного зазору між сусідніми прутками $A = 4$ мм, відстань між осями прутків k можна визначити з геометричного співвідношення:

$$k = 2b \sin \alpha + A \quad (2.1)$$

де k – відстань між осями сусідніх прутків, мм;

b – ширина пластини прутка, мм;

α – кут нахилу пластини;

A – ширина щілинного зазору між прутками, мм.

Наведена форма співвідношення відтворена за геометричним змістом і може бути уточнена за оригінальним джерелом.

Підставивши числові значення параметрів, отримуємо $k \approx 21$ мм. За такого значення відстані між осями кількість прутків у сепарувальній гребінці, з урахуванням габаритів рамки, становить 17 шт., а кількість щілинних зазорів – 16.

За прийнятої максимальної подачі зернового матеріалу $Q = 12$ т/год, для забезпечення повного просіювання пшениці через сепарувальну гребінку необхідно мати певну площу живого перерізу S_{Π} . Ця площа визначається за залежністю, що враховує подачу зерна та його текучість:

$$S_{\Pi} = Q \cdot K_{\tau}, \quad (2.2)$$

де S_{Π} – площа живого перерізу, мм²;

Q – подача зернового матеріалу, г/с;

K – коефіцієнт текучості зернової маси.

Точний аналітичний вигляд функції $f(\cdot)$ приймається згідно з методикою, наведеною в оригінальній роботі.

За результатами фізико-механічних досліджень при вологості зерна в діапазоні 10–18 % коефіцієнт текучості змінюється для пшениці від 7,4 до 9,6, для ячменю – від 8,6 до 9,7, для вівса – від 15,7 до 16,3 (у прийнятих одиницях виміру). Виходячи з цього, для повного проходження зернового матеріалу через сепарувальну гребінку при подачі 12 т/год необхідно забезпечити площу живого перерізу: для пшениці та ячменю близько 32 400 мм², для вівса – близько 54 000 мм².

Знаючи необхідну ширину щілинних зазорів A між прутками сепарувальної гребінки, їх кількість n , а також потрібну площу живого перерізу $F_{ж.с.}$, можна визначити робочу довжину гребінки:

$$l = \frac{S_{n.}}{nA}, \quad (2.3)$$

де l – довжина сепарувальної гребінки, мм;

n – кількість щілинних зазорів між сусідніми прутками;

A – ширина щілинного зазору, мм.

Розрахунки показують, що при подачі зернового матеріалу 12 т/год необхідна довжина сепарувальної гребінки для просіювання пшениці й ячменю становить $l \approx 506,25$ мм, а для вівса – $l \approx 1125$ мм.

Однак зерновий матеріал надходить на сепарувальну гребінку з певною початковою швидкістю та, рухаючись по її поверхні, прискорюється. Тому фактичний шлях, який проходить зерно до повного просіювання, залежить від швидкості його руху. Остання визначається багатьма чинниками: вологістю матеріалу, коефіцієнтом тертя зерна по матеріалу гребінки, ступенем засміченості, кутом нахилу гребінки, початковою швидкістю входження потоку тощо.

У зв'язку з цим остаточну необхідну довжину сепарувальної гребінки доцільно уточнювати експериментально в процесі лабораторних досліджень. Як максимальну прийнято довжину 1200 мм.

2.3 Теоретичне обґрунтування кута встановлення сепарувальної гребінки

Зернова сировина характеризується різноманіттям форм окремих частинок. Умовно всі частинки можна поділити на дві основні групи: а) частинки, довжина яких співмірна з їх шириною та товщиною (горох, просо, кукурудза тощо); б) частинки, довжина яких істотно перевищує інші лінійні розміри (пшениця, ячмінь, овес та ін.).

Для вивчення законів руху зернових частинок по дугоподібній скатній дошці та сепарувальній гребінці частинки першого типу доцільно моделювати кулею, а другого – еліпсоїдом, довжина якого перевищує діаметр поперечного перерізу. Оскільки більшість зернового матеріалу, що підлягає плющенню, належить до другої групи, надалі розглядаємо рух частинок еліпсоїдної форми.

Через складність повного опису динамічного стану зернової маси на дугоподібній скатній дошці та сепарувальній гребінці, для спрощення аналізу й отримання наочної картини процесу приймемо такі допущення:

- частинки моделюються однорідним еліпсоїдом, який ковзає поверхнею без обертання, причому його найбільша вісь збігається з напрямком руху;
- опором повітря знехтуємо;
- взаємодія між окремими частинками не враховується;
- пружні властивості частинок не роблять істотного впливу на процес руху.

Процес руху зернини по нахиленій сепарувальній гребінці можна змоделювати як рух частинки еліпсоїдної форми по нахиленому жолобу (рис. 2.6).

Розглянемо рух частинки, яка має форму еліпсоїда, по направляючому жолобу, утвореному двома площинами довжиною l , розташованими під кутом 2α одна до одної. Кут нахилу жолоба до горизонту дорівнює β . Вага частинки $G = m g$, коефіцієнт тертя ковзання частинки об площини жолоба – μ , коефіцієнт зчеплення – $\mu_{зч}$.

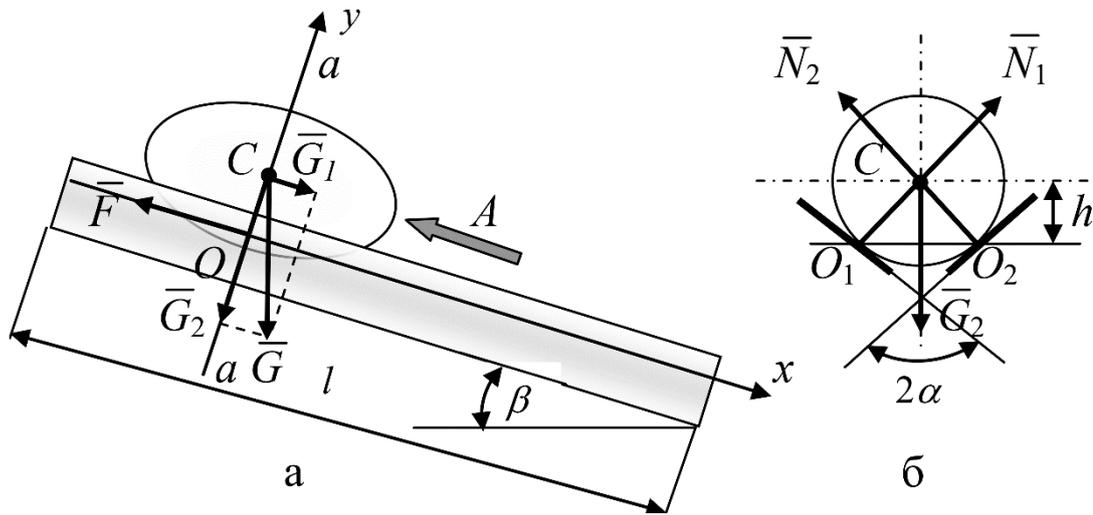


Рисунок 2.6 – Схема руху частинки та сил, що діють на неї

Складова ваги, що притискає частинку до жолоба, дорівнює $G_{\perp} = G \cos \beta$, а складова, що прагне зрушити її вздовж жолоба, – $G_{\parallel} = G \sin \beta$. Складова G_{\perp} урівноважується реакціями площин жолоба N_1 та N_2 , перпендикулярними до цих площин (рис. 2.7).

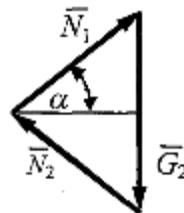


Рисунок 3.7 – Схема сил

Із умови симетрії $N_1 = N_2 = N$. Із схеми сил (рис. 2.7) можна записати реакцію опорних площин у вигляді:

$$N = \frac{G \cos \beta}{2 \sin \alpha}, \quad (2.4)$$

Кожна із сил тертя, що діють на частинку з боку обох площин жолоба в точках їх дотику, становить:

$$F_1 = f N = f \frac{G \cos \beta}{2 \sin \alpha}, \quad (2.5)$$

Їх рівнодійна сила тертя, спрямована вздовж жолоба, дорівнює:

$$F = 2F_1 = f \frac{G \cos \beta}{\sin \alpha}, \quad (2.6)$$

І сила ваги G , і сила тертя F лежать в одній поздовжній площині, тому подальший розгляд можна вести як для поступального руху матеріальної точки масою m .

Із формули (2.6) видно, що зі зменшенням кута α реакції опор і сила тертя зростають, що може призвести до заклинювання частинки. Це станеться, якщо складова ваги G_{\parallel} виявиться меншою за силу тертя F , тобто при умові:

$$G \sin \beta < F, \quad (2.7)$$

Звідси, підставляючи вираз (2.6) та скорочуючи на $m g \cos \beta$, отримаємо критерій можливого заклинювання частинки:

$$\tan \beta < \frac{f}{\sin \alpha}, \quad (2.8)$$

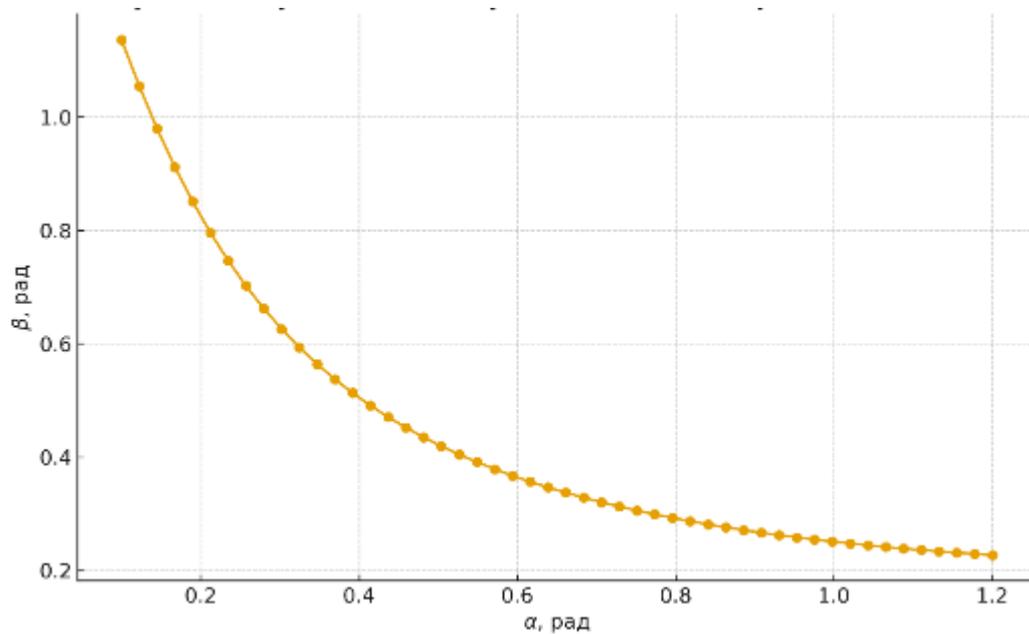
Для забезпечення ковзання частинки по жолобу кут його нахилу β має задовольняти протилежну нерівність:

$$\beta > \arctan\left(\frac{f}{\sin \alpha}\right), \quad (2.9)$$

Графічна залежність $\beta = f(\alpha)$ для різних значень коефіцієнта зчеплення μ показана на рисунку 2.8. Для забезпечення ковзання частинок слід вибрати такі сполучення кутів α та β , що відповідають точкам, розташованим вище відповідної кривої.

Розглянемо далі динаміку руху частинки по жолобу. Диференціальне рівняння поступального руху (ковзання) вздовж жолоба, відповідно до схеми сил на рисунку 2.6, має вигляд:

$$m\ddot{x} = G \sin \beta - F, \quad (2.10)$$



α – кут нахилу пластин прутків; β – кут нахилу сепарувальної гребінки.

Рисунок 2.8 – Залежність можливості ковзання частинки від кута нахилу жолоба та кута між стінками, що утворюють жолоб

Підставляючи в (2.10) вираз (2.6) для F та ділячи на m , одержимо:

$$\ddot{x} = g \sin \beta - f g \frac{\cos \beta}{\sin \alpha}, \quad (2.11)$$

Прийнявши позначення $a = g (\sin \beta - \mu \cos \beta / \sin \alpha)$, отримаємо для прискорення частинки уздовж жолоба $x'' = a$. Двократне інтегрування за початкових умов $t = 0, x = 0, v = v_0$ дає залежності для швидкості й переміщення:

$$\dot{x} = \left(g \sin \beta - f g \frac{\cos \beta}{\sin \alpha} \right) t + v_0, \quad (2.12)$$

$$x = \frac{1}{2} \left(g \sin \beta - f g \frac{\cos \beta}{\sin \alpha} \right) t^2 + v_0 t, \quad (2.13)$$

Початкова швидкість v_0 частинка набуває при сході з дугоподібної скатної дошки, що передує жолобу. Час проходження частинкою жолоба довжиною l визначається з рівняння

$$\frac{1}{2} a t_p^2 + v_0 t_p - l = 0, \quad (2.14)$$

з якого, розв'язуючи квадратне рівняння відносно t , отримуємо:

$$t_p = \frac{-v_0 + \sqrt{v_0^2 + 2al}}{a}, \quad (2.15)$$

Швидкість сходу частинки з жолоба можна знайти з кінематичного співвідношення:

$$v_2 = v_0 + a t_p = \sqrt{v_0^2 + 2al}, \quad (2.16)$$

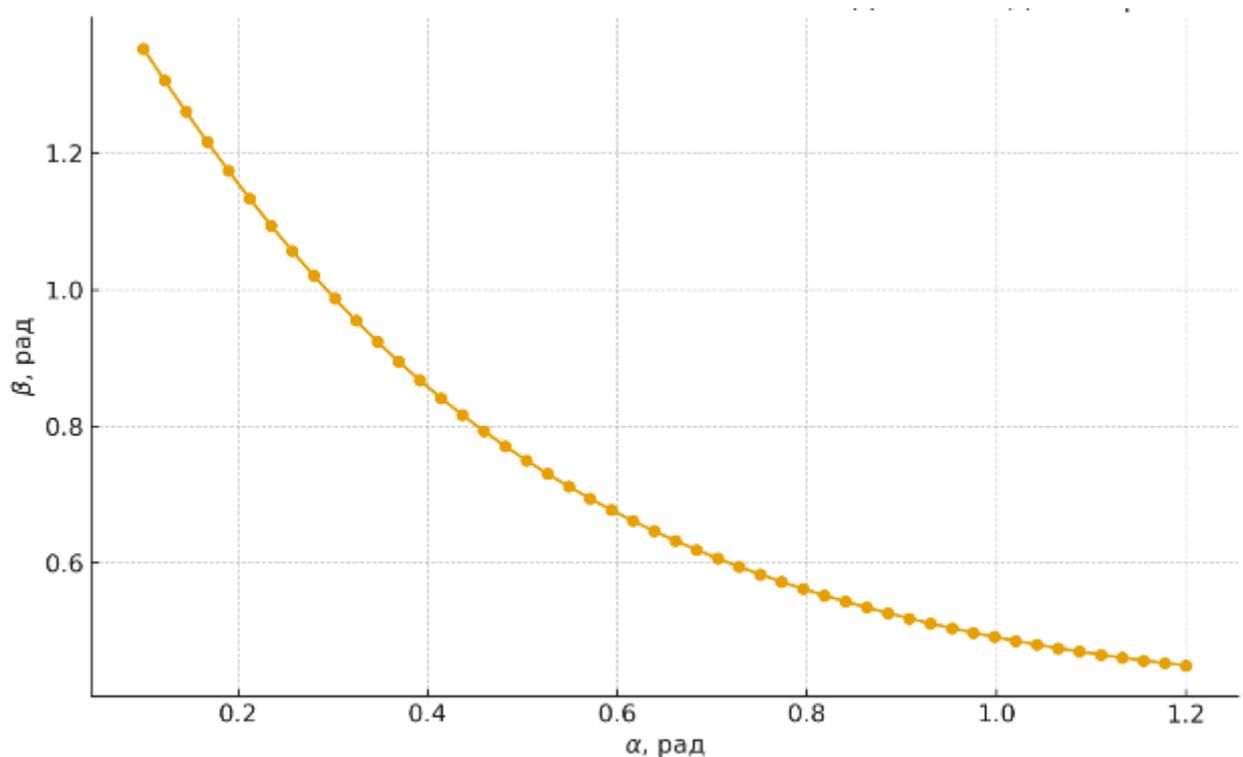
Умова, за якої частинка ковзає з постійною швидкістю ($a = 0$), впливає з (2.11):

$$g \sin \beta - f g \frac{\cos \beta}{\sin \alpha} = 0, \quad (2.17)$$

Звідси знаходимо кут нахилу жолоба, за якого відсутнє прискорення частинки:

$$\tan \beta = \frac{f}{\sin \alpha} \Rightarrow \beta = \arctan\left(\frac{f}{\sin \alpha}\right), \quad (2.18)$$

тобто $\beta = \arctg(\mu / \sin \alpha)$. Для значень коефіцієнта тертя ковзання $\mu = 0,45$ (приблизний коефіцієнт тертя пшениці по сталі) залежності між кутами α та β , що забезпечують рух із сталою швидкістю, подано на рисунку 2.9. У цьому випадку швидкість ковзання частинки по жолобу дорівнює початковій: $v = v_0$.



α – кут нахилу пластин прутків; β – кут нахилу сепарувальної гребінки.

Рисунок 2.9 – Залежність ковзання частинки з постійною швидкістю від кута нахилу сепарувальної гребінки та кута розкриття пластин прутків.

Робота сили тертя при ковзанні частинки на шляху l визначається як добуток модуля сили тертя на пройдений шлях:

$$A = Fl = f \frac{G \cos \beta}{\sin \alpha} l, \quad (2.19)$$

де A – робота сили тертя, Дж;

F – рівнодійна сила тертя;

l – довжина ділянки ковзання частинки по жолобу.

2.4 Теоретичне обґрунтування радіуса заокруглення скатної дошки

Розглянемо рух зернового матеріалу по дугоподібній скатній дошці. Через складність повного опису динамічного стану зернової маси на дугоподібній скатній дошці та сепарувальній гребінці, для отримання наочної картини процесу, зручної для подальших розрахунків, прийmemo такі допущення:

- частинки зерна моделюються однорідним еліпсоїдом, який ковзає по поверхні без урахування обертання;
- опором повітря знехтуємо;
- взаємодія між окремими частинками не враховується;
- пружні властивості частинок не чинять суттєвого впливу на процес руху.

Частинка матеріалу з бункера рухається під дією сили тяжіння вертикально вниз і потрапляє на сепарувальну гребінку, нахилену під кутом β до горизонту, з деякою швидкістю v_0 . Щоб уникнути удару частинки об сепарувальну гребінку, її відскоку або заклинювання між прутками, перед гребінкою встановлюють дугоподібну скатну дошку (рис. 2.10). Її розміщують так, щоб забезпечити входження та сход зернового матеріалу по дотичній: у верхній точці – до траєкторії падіння, а в нижній – під тим самим кутом β , що й сепарувальна гребінка. Потрібно визначити геометричні параметри скатної дошки, а

також кінематичні та енергетичні показники руху частинки по її направляючій.

Розглянемо динаміку руху частинки по гладкій поверхні скатної дошки у вигляді дуги кола радіуса R . У загальному випадку на частинку, що ковзає по криволінійній поверхні, діють такі сили:

- сила ваги $G = m g$;
- нормальна реакція поверхні N ;
- сила тертя ковзання $T = \mu N$ (μ – коефіцієнт тертя ковзання);
- відцентрова сила інерції $F_{ц} = m v^2 / R$, де R – радіус кривизни дугоподібної скатної дошки.

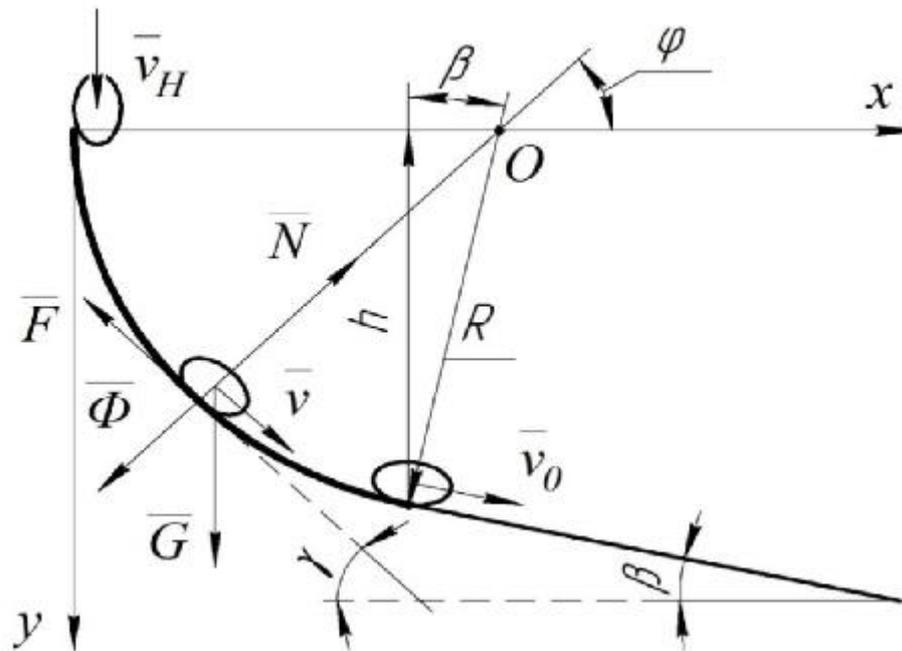


Рисунок 3.10 – Схема руху частинки по дугоподібній скатній дошці

Розглянемо спочатку ідеалізований випадок, коли направляюча крива ретельно відполірована, і тертям можна знехтувати. У цьому разі необхідно визначити радіус R , який забезпечить виконання зазначених вище умов руху.

Задачу розв'яжемо, використавши теорему про зміну кінетичної енергії. У загальному вигляді вона має вигляд:

$$\frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = \sum A_i, \quad (2.20)$$

де v – поточна швидкість частинки; v_n – її початкова швидкість при вході на криволінійну скатну дошку; A_i – робота i -ї сили, що діє на частинку.

У розглядуваному випадку (гладка поверхня) роботу виконує лише сила ваги, причому, завдяки консервативності гравітаційного поля, її робота дорівнює $A_G = G y = m g y$, де y – вертикальне переміщення частинки (рис. 2.10). Відцентрова сила інерції роботи не виконує, оскільки в кожен момент часу перпендикулярна до напрямку переміщення.

З урахуванням сказаного теорема (2.20) набуває вигляду:

$$\frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = Gy = mgy, \quad (2.21)$$

Із рисунка 2.10 видно, що $y = R \sin \varphi$, де φ – поточна кутова координата частинки відносно верхньої точки дуги. Підставляючи цей вираз у (2.21) та скорочуючи на m , одержимо формулу для швидкості частинки на будь-якій ділянці дуги:

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2gR \sin \varphi}, \quad (2.22)$$

Початкову швидкість v_n частинка набуває при вільному падінні з бункера до точки входу на скатну дошку. За відсутності опору повітря вона визначається стандартною формулою:

$$v_0 = \sqrt{2gh_1}, \quad (2.23)$$

де h_1 – висота падіння частинки від виходу з бункера до точки торкання скатної дошки.

Тоді, з урахуванням (2.23), вираз (2.22) можна записати так:

$$v = \sqrt{2g(h_1 + R \sin \varphi)}, \quad (2.24)$$

Нехай у нижній точці дуги ($\varphi = \beta/2$) частинка повинна мати задану кінцеву швидкість $v = v_0$, узгоджену зі швидкістю руху по сепарувальній гребінці, нахиленій під кутом β до горизонту. Тоді з (2.22) при $\varphi = \beta/2$ отримаємо вираз для радіуса заокруглення скатної дошки:

$$R = \frac{v^2 - v_0^2}{2g \cos \beta}, \quad (2.25)$$

Підставивши, наприклад, $v_0 = 1,5$ м/с, $v_n = 0,5$ м/с та $\beta = \pi/6$ (30°), одержимо $R \approx 0,118$ м, або близько 118 мм.

Нормальну реакцію N дугоподібної поверхні на частинку визначимо, проектуючи сили на напрямок радіуса (перпендикуляр до траєкторії). У такому разі виконується рівняння:

$$N = G \sin \varphi + \frac{mv^2}{R} = m \left(g \sin \varphi + \frac{v_0^2 + 2gR \sin \varphi}{R} \right), \quad (2.26)$$

звідки $N = G \cos \varphi + m v^2 / R$. Підставивши в (2.26) залежність (2.22) для v^2 , можна обчислити тиск частинки на направляючу у будь-якій точці дуги. Максимальне значення нормальної реакції досягається в зоні сходу з направляючої і для прийнятих параметрів становить близько 0,156 Н, що не призводить до руйнування або надмірної деформації зерна й забезпечує сприятливі умови подальшого просіювання через сепарувальну гребінку.

Розглянутий випадок є найбільш бажаним як з погляду мінімізації деформації частинки (через відсутність значного тертя), так і за витратами енергії на її переміщення по скатній дошці.

2.5 Висновки

1. Встановлено, що лінія плющення фуражного зерна повинна містити бункер-накопичувач, транспортер, гравітаційний сепаратор, шнековий транспортер і вальцьову плющилку. При цьому гравітаційний сепаратор має забезпечувати очищення будь-якого виду фуражного зерна завдяки застосуванню сепарувальних гребінок з комбінованими прутками, виконаними у вигляді двох пластин, закріплених на осі.

2. Показано, що продуктивність сепаратора залежить від площі живого перерізу сепарувальної гребінки, коефіцієнта текучості зернового матеріалу, кількості та довжини прутків у гребінці, ширини щілинних зазорів між ними, а також від кута розкриття пластин прутків і кута нахилу гребінки.

2. Довжину сепарувальної гребінки доцільно вибирати з урахуванням коефіцієнта текучості зернового матеріалу, геометричних розмірів комбінованих прутків і ширини щілинного зазору між ними.

4. Швидкість руху зернового матеріалу по гребінці залежить від початкової швидкості подачі матеріалу з бункера, кута нахилу сепарувальної гребінки, а також кута нахилу пластин прутків.

5. Встановлено, що перед кожною сепарувальною гребінкою слід установлювати скатну дошку у формі дуги кола для запобігання забиванню щілинних зазорів і відскакуванню зерна від гребінки. Радіус заокруглення дугоподібної скатної дошки визначається кутом нахилу сепарувальної гребінки, а також початковою швидкістю надходження зернового матеріалу на неї та швидкістю сходу з неї.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА В ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ

3.1 Програма досліджень

Запропонована технологічна лінія підготовки зерна до згодовування об'єднує в одному комплексі чотири основні вузли, які за потреби можуть працювати і як окремі агрегати: універсальний гравітаційний сепаратор, бункер-дозатор, вальцьову плющилку та шнековий транспортер.

Попередні експериментальні дослідження процесу сепарації зернових сумішей на гравітаційному сепараторі показали, що такий апарат забезпечує високу ефективність одночасного вилучення як дрібних, так і крупних домішок. Це дає можливість розглядати його як зерноочисну машину, здатну в ході однієї операції очищення видаляти обидві групи домішок без додаткових витрат енергії на привід додаткових робочих органів.

Фізико-механічні характеристики зернового матеріалу (різні види зернових культур) істотно змінюються під дією багатьох чинників, які в реальних виробничих умовах практично неможливо стабілізувати чи оперативно регулювати.

У зв'язку з цим, перш ніж переходити до виробничих випробувань, необхідно експериментально обґрунтувати конструкцію й параметри робочих органів універсального гравітаційного сепаратора, а також визначити раціональні значення його конструктивно-кінематичних і технологічних параметрів.

У межах поставленої мети програма лабораторних досліджень передбачає виконання таких завдань:

встановити вплив ширини щілини бункера-дозатора на його продуктивність для зерна різних культур;

дослідити залежність ефективності виділення домішок від довжини сепарувальної гребінки;

визначити вплив кута нахилу сепарувальної гребінки на ступінь очищення зернового матеріалу;

оцінити, як кількість сепарувальних гребінок позначається на ефективності відокремлення домішок;

дослідити вплив подачі зернового матеріалу на якість очищення;

визначити оптимальне поєднання конструктивно-кінематичних і технологічних параметрів універсального гравітаційного сепаратора.

3.2 Опис лабораторної установки

Для реалізації зазначеної програми було спроектовано й виготовлено лабораторну установку, принципова схема якої наведена на рисунку 3.1.

Конструктивно установка складається зі зварної рами 1, на якій змонтовано бункер-дозатор 2 із дозувальною заслінкою 3. Безпосередньо під бункером, на цій же рамі, шарнірно закріплена дугоподібна скатна дошка 4. Конструкція бункера 2 дає змогу змінювати його положення за висотою відносно дугоподібної дошки, що дозволяє регулювати умови подачі потоку зерна.

Під дугоподібною скатною дошкою 4 розташовано перший ступінь сепарації – ярус сепарувальних гребінок, який включає сепарувальну гребінку 5 для виділення сходової (крупної) фракції та сепарувальну гребінку 6 для виділення проходової (дрібної) фракції. Щоб зменшити загальну висоту установки, ці гребінки розташовані каскадно – одна під одною.

Першою за ходом руху зернового потоку працює гребінка 5, яка відбирає крупні домішки. Це дозволяє в подальшому підвищити ефективність вилучення дрібних і важковідділюваних домішок на наступних ступенях. Кінець

гребінки 5 спрямований у вікно відвідного каналу 7, куди надходять виділені приміші.

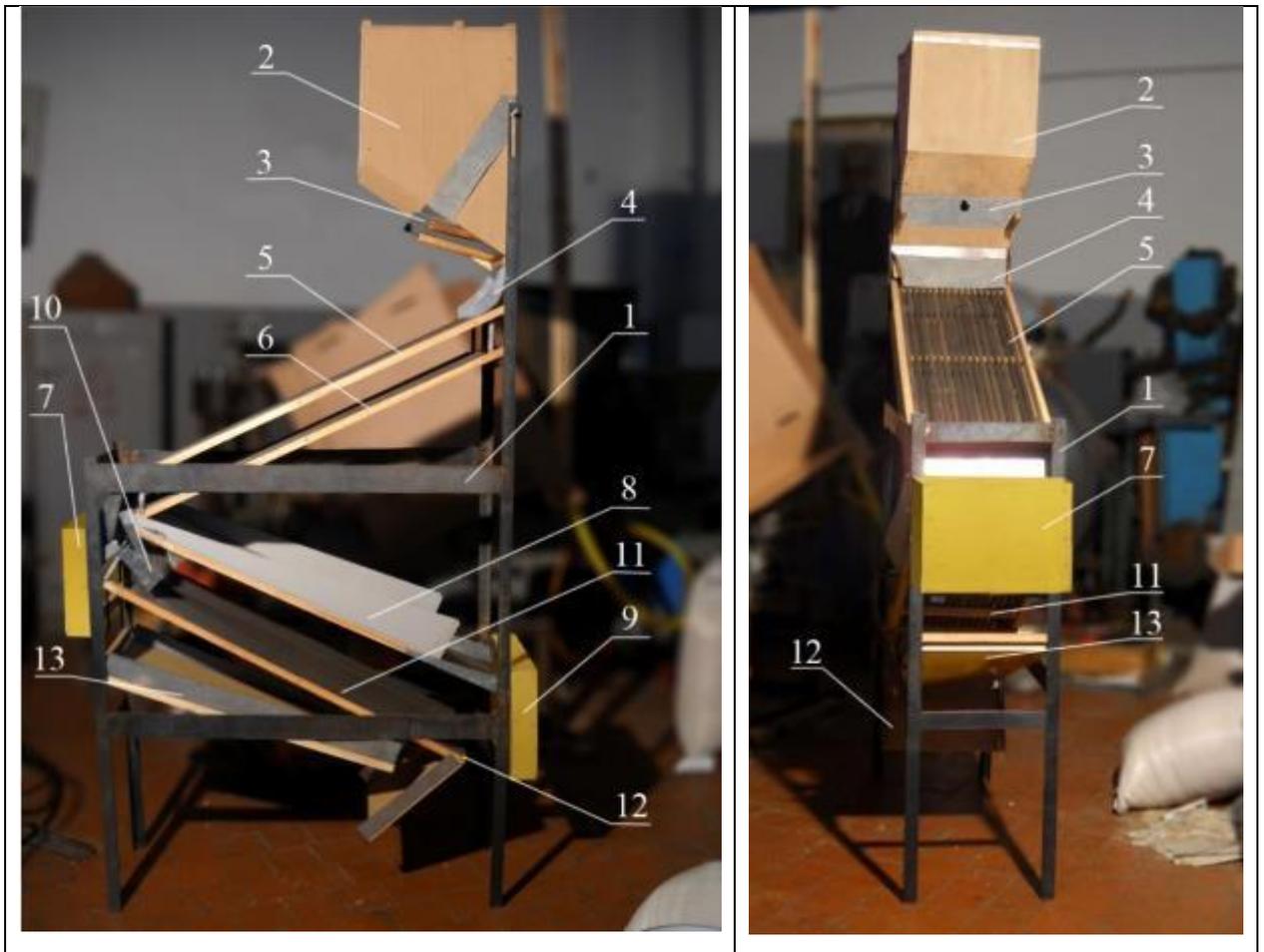


Рисунок 3.1 – Схема лабораторної установки: а – вигляд збоку (корпус знято); б – вигляд спереду; 1 – зварна рама; 2 – бункер-дозатор; 3 – дозувальна заслінка; 4, 10 – дугоподібні скатні дошки; 5 – сепарувальна гребінка для виділення крупних домішок; 6, 11 – сепарувальні гребінки для виділення дрібних домішок; 7, 9 – відвідні канали; 8, 13 – скатна дошка; 12 – канал збору очищеного зерна

Під сепарувальною гребінкою 6 закріплена скатна дошка 8, що має нахил у бік відвідного каналу 9 і забезпечує відведення прохідової фракції. На

початку другої сепарувальної гребінки 11 встановлена дугоподібна скатна дошка 10, яка забезпечує плавний перехід (пересипання) зернового потоку на наступну ступінь. Гребінка 11 розташована в напрямку, протилежному загальному руху потоку, а її вихід спрямовано в канал 12 для збору очищеного зерна. Для відведення домішок, виділених на нижній гребінці 11, під нею змонтовано скатну дошку 13.

Ключовою конструктивною особливістю універсального гравітаційного сепаратора є будова сепарувальних гребінок, насамперед прутків (рис. 4.2). Кожен пруток складається з двох пластин 1, шарнірно закріплених на осі 2. Зміною взаємного положення цих пластин досягається регулювання ширини щілинного зазору між прутками, що дає можливість працювати з різними видами зернових культур, які відрізняються розмірами зернівок.

3.3 Методика проведення дослідів

Для проведення експериментів використовували лабораторну установку, спрощена принципова схема якої подана на рисунку 3.2.

Позначення на схемі:

- 1 – бункер-дозатор;
- 2 – заслінка;
- 3 – дугоподібна скатна дошка;
- 4 – сепарувальна гребінка;
- 5 – пробовідбірники;
- 6 – ємність для збору очищеного зерна.

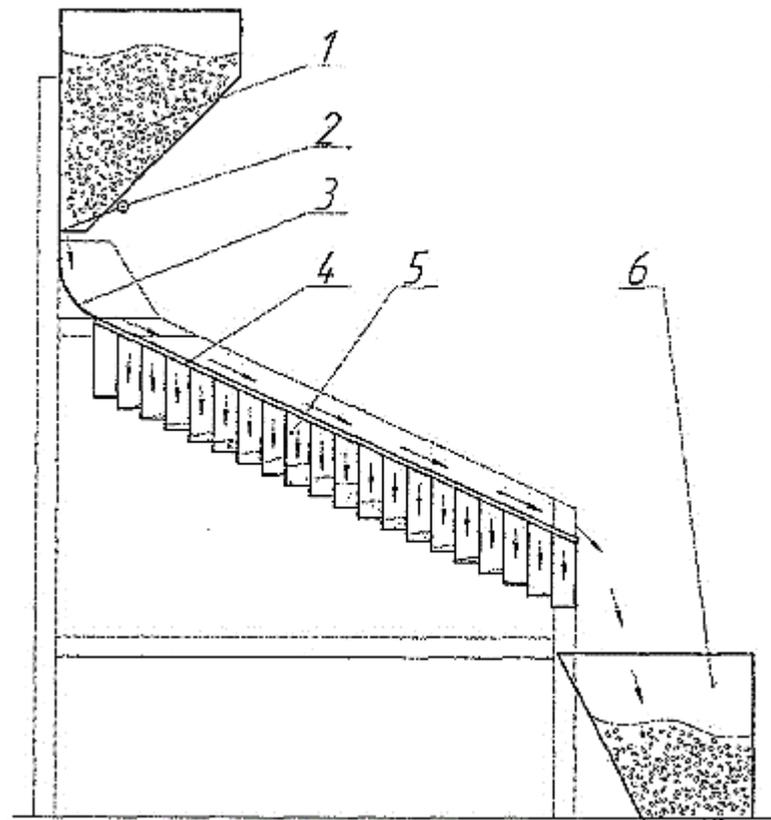


Рисунок 3.2 – Схема лабораторної установки.

Послідовність виконання одного досліду була такою.

Налаштування режимів.

Встановлювали задані значення досліджуваних параметрів:

– кількість сепарувальних гребінок n і величину щілинного зазору між їх прутками;

– подачу зернового матеріалу Q ;

– кут нахилу сепарувальних гребінок α ;

– довжину гребінок.

Підготовка дослідного матеріалу.

Попередньо очищене зерно змішували з розрахованою кількістю домішок до отримання однорідної суміші, після чого завантажували її в бункер-дозатор 1.

Пуск і стабілізація потоку.

Заслінку 2 відкривали на встановлену величину й одночасно вмикали секундомір. Потік зерна спочатку надходив на дугоподібну скатну дошку 3, а потім – на сепарувальну гребінку 4. На гребінці основне зерно виходило сходом, а дрібні приміші проходили крізь щілини. Через 5 с від початку досліду, коли витрата та структура потоку стабілізувалися, під гребінку 4 встановлювали пробовідбірники 5.

Відбір проб.

Проби відбирали протягом 20 с. Після закінчення цього часу заслінку 2 бункера-дозатора 1 закривали, припиняючи подачу зерна.

Аналіз проб.

Вміст кожного пробовідбірника зважували та вручну розділяли на основне зерно й домішки. Для кожної проби визначали масову частку основного зерна та примішок. Отримані дані фіксували в журналі експериментальних досліджень для подальшої математичної обробки та оцінки ефективності процесу очищення.

3.4 Результати дослідження впливу довжини гребінки на ефективність виділення домішок

Отримані під час лабораторних досліджень дані наведено в додатку Ж. На рисунках 3.3–3.5 подано графічні залежності ефективності виділення домішок η від довжини сепарувальної гребінки I для пшениці, ячменю та вівса відповідно.

Аналіз експериментальних результатів показав, що зі збільшенням довжини сепарувальної гребінки ефективність вилучення дрібних домішок із зернового матеріалу зростає для всіх досліджуваних культур. Для пшениці інтенсивне підвищення ефективності спостерігається до довжини гребінки близько

80 см, після чого подальше її збільшення призводить до зниження ефективності очищення. Для ячменю та вівса ефективність виділення домішок зростає до довжини гребінки близько 100 см, а далі також починає зменшуватися.

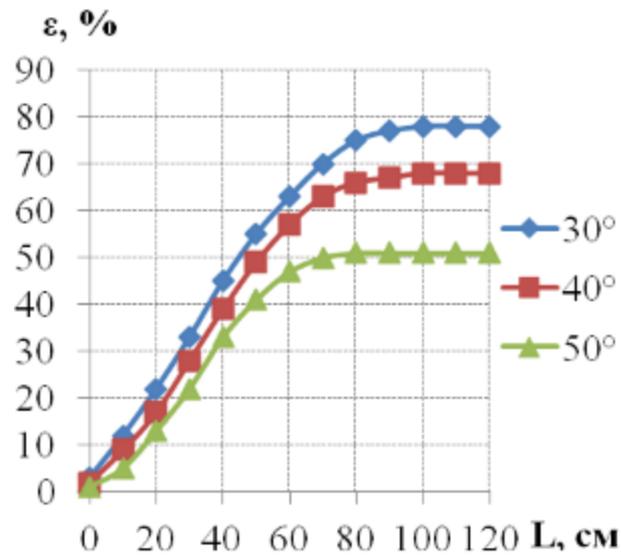


Рисунок 3.3 – Графічна залежність ефективності виділення домішок η від довжини гребінки l для пшениці за різних кутів нахилу сепарувальної гребінки.

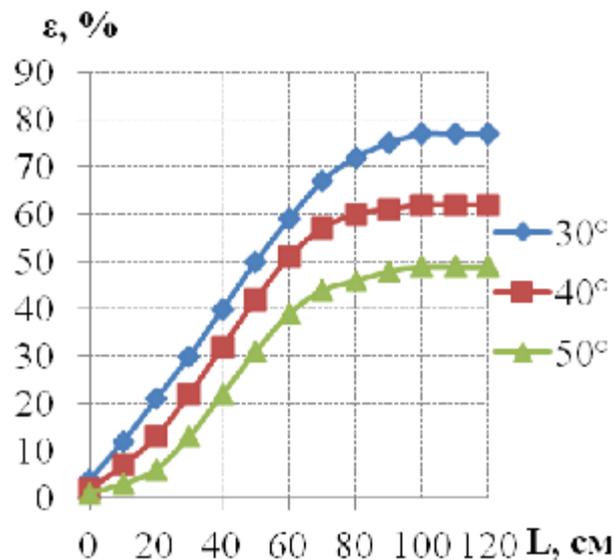


Рисунок 3.4 – Графічна залежність ефективності виділення домішок η від довжини гребінки l для ячменю за різних кутів нахилу сепарувальної гребінки.

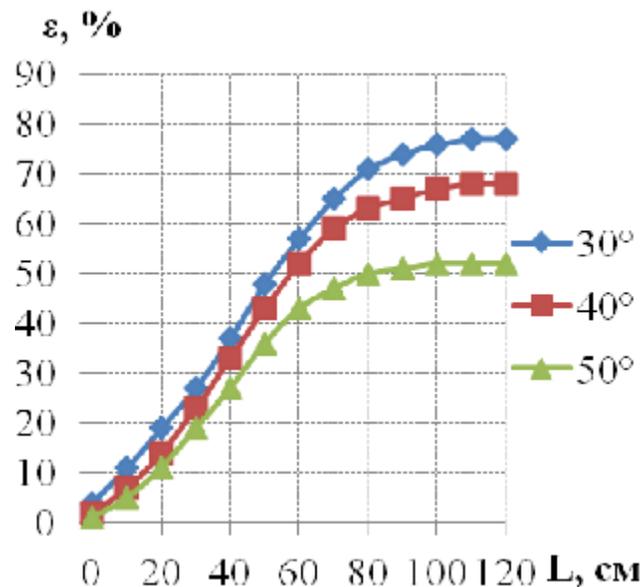


Рисунок 3.5 – Графічна залежність ефективності виділення домішок η від довжини гребінки l для вівса за різних кутів нахилу сепарувальної гребінки.

Це пояснюється тим, що зі збільшенням довжини гребінки швидкість руху зернового шару зростає, у результаті чого час взаємодії зернового матеріалу із сепарувальною поверхнею скорочується, а ймовірність проходження дрібних частинок крізь щілини зменшується. Водночас зі зменшенням кута нахилу сепарувальної гребінки до горизонту ефективність виділення дрібних домішок зростає, оскільки збільшується тривалість перебування зерна на робочій поверхні.

3.5 Результати дослідження впливу кута нахилу сепарувальної гребінки на ефективність виділення домішок

На рисунках 3.6–3.8 подано графічні залежності ефективності виділення домішок η від кута нахилу сепарувальної гребінки β для пшениці, ячменю та вівса. Опрацювання експериментальних даних показало, що зі збільшенням

кута нахилу гребінок відносно горизонтальної площини ефективність очищення зернового матеріалу від домішок зменшується.

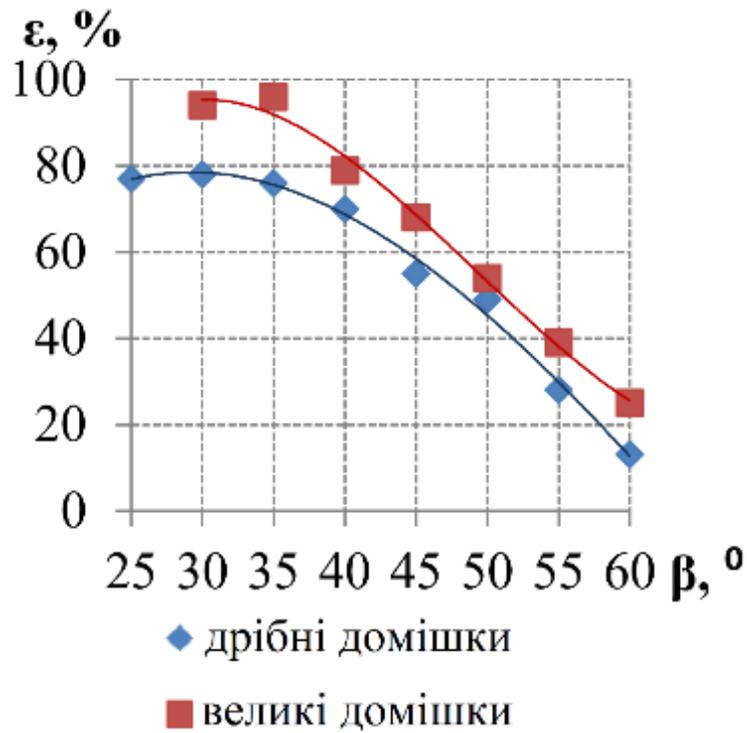


Рисунок 3.6 – Графічна залежність ефективності виділення домішок η від кута нахилу сепарувальної гребінки β для пшениці.

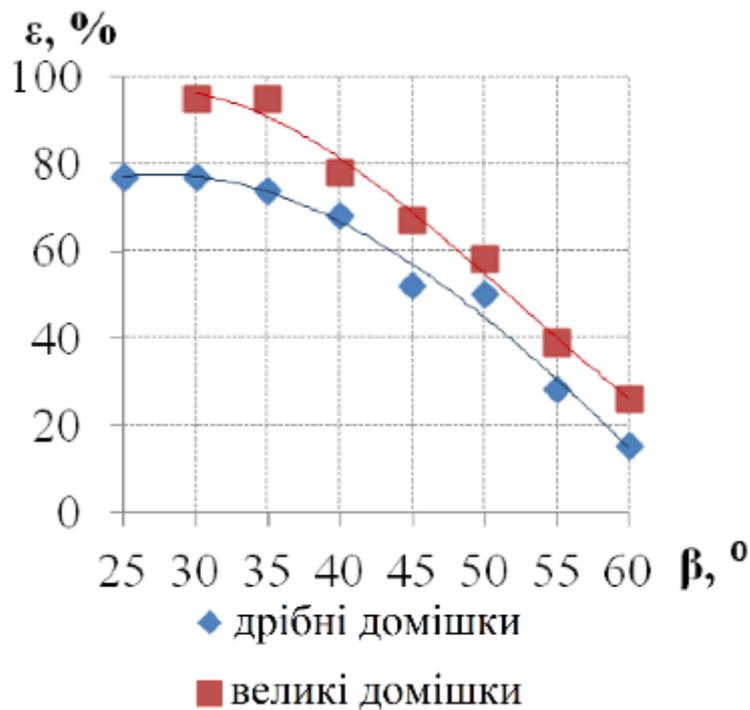


Рисунок 3.7 – Графічна залежність ефективності виділення домішок η від кута нахилу сепарувальної гребінки β для ячменю.

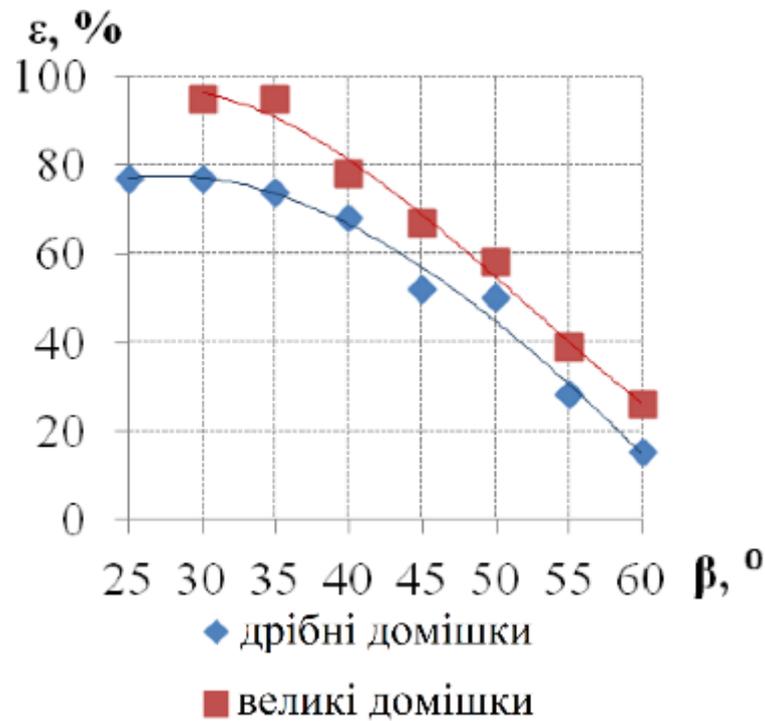


Рисунок 3.8 – Графічна залежність ефективності виділення домішок η від кута нахилу сепарувальної гребінки β для вівса

Зокрема, при зростанні кута β від 35° до 45° ефективність виділення як дрібних, так і крупних домішок помітно падає, а за значень кута нахилу менше 45° ефективність очищення становить менше 60 %. Подальше збільшення кута β супроводжується різким зниженням ефективності видалення домішок.

Причиною цього є те, що зі збільшенням кута нахилу сепарувальних гребінок швидкість руху зернової маси зростає, час контакту зернового шару з гребінками зменшується, а отже, скорочується тривалість дії сепарувального поля. Матеріал рухається по гребінці з рівноприскореним характером, що зменшує можливість проходження домішок крізь щілини.

Найбільших значень ефективності вилучення як дрібних, так і крупних домішок вдається досягти в діапазоні кутів нахилу гребінки від 28° до 35° . При кутах менше 30° очищення від крупних домішок є малоефективним. Це

пов'язано з тим, що крупні включення мають більший коефіцієнт тертя порівняно з основним зерном і суттєво більші розміри, унаслідок чого вони схильні забивати щілини між прутками.

З аналізу графічних залежностей також видно, що ефективність виділення крупних домішок практично однакова для всіх досліджуваних культур і перевищує 95 % у разі, коли кут нахилу гребінки становить 30–35°. Це свідчить про те, що для очищення зернового матеріалу від крупних домішок достатньо використання однієї сепарувальної гребінки відповідного призначення.

3.6 Результати дослідження впливу кількості сепарувальних гребінок на ефективність виділення домішок

Результати експериментів щодо впливу кількості сепарувальних гребінок на ефективність виділення дрібних домішок для пшениці, ячменю та вівса наведено на рисунках 3.9.

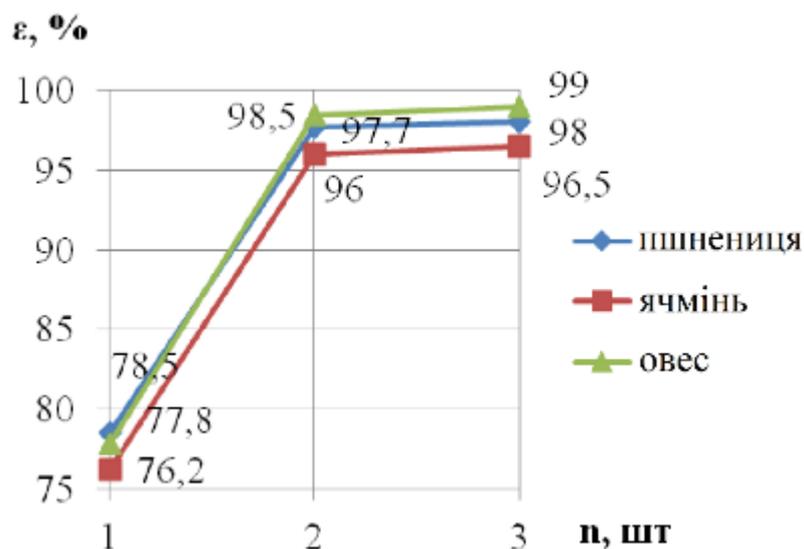


Рисунок 3.9 – Графічна залежність ефективності виділення дрібних домішок ϵ від кількості сепарувальних гребінок n для пшениці, ячменю та вівса

Аналіз отриманих результатів показав, що збільшення кількості сепарувальних гребінок із однієї до двох приводить до відчутного зростання ефективності виділення дрібних домішок. Зокрема, на першій гребінці вдається вилучити понад 76 % дрібних включень, а друга майже повністю доочищує матеріал від решти домішок. Третя гребінка забезпечує лише незначне додаткове вилучення домішок, яке не компенсує збільшення висоти та матеріаломісткості конструкції. Тому з практичної точки зору доцільно застосовувати дві сепарувальні гребінки для виділення дрібних домішок.

Окремі дослідження впливу кількості гребінок на ефективність виділення крупних домішок не проводили, оскільки в попередніх дослідках встановлено, що однієї спеціальної гребінки достатньо для видалення понад 96 % крупних включень.

Графічну залежність ефективності виділення домішок η від подачі зерна Q для пшениці, ячменю та вівса показано на рисунку 3.10.

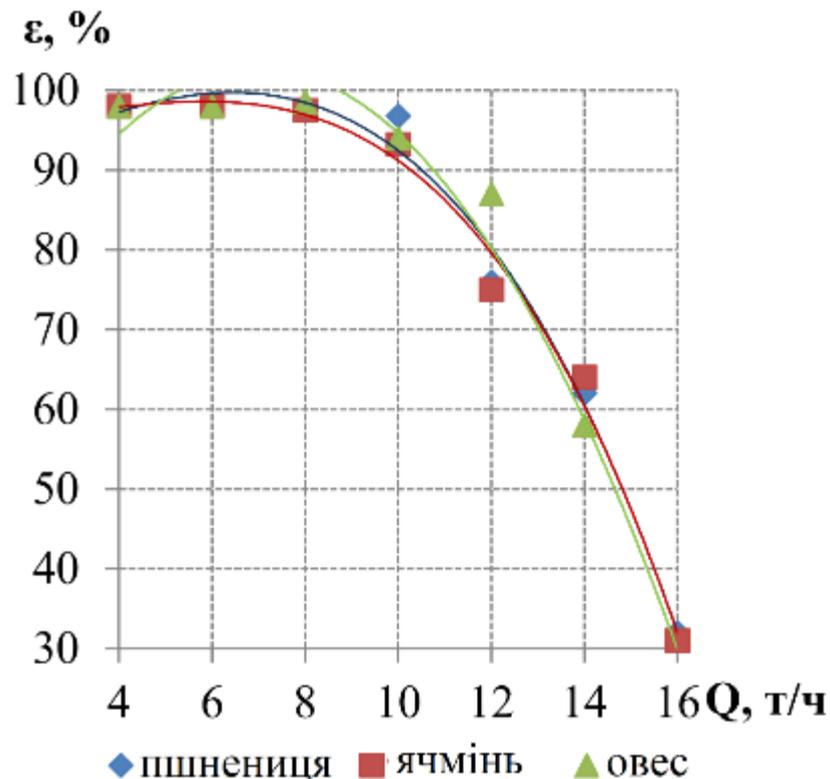


Рисунок 3.10 – Графік залежності ефективності виділення домішок η від подачі зернового матеріалу Q .

Експериментальні дані свідчать, що зі збільшенням подачі зерна до 10 т/год для пшениці ефективність очищення від дрібних і крупних домішок залишається максимальною, а для ячменю та вівса оптимальні значення подачі становлять близько 9 т/год. При подальшому підвищенні подачі – від 10 до 16 т/год для пшениці та понад 9 т/год для ячменю й вівса – ефективність видалення як дрібних, так і крупних домішок різко знижується.

Зменшення ефективності очищення за підвищених значень подачі зернового матеріалу пояснюється тим, що при формуванні більш товстого шару зерна дрібні частинки домішок не встигають пройти крізь масу продукту до щілин між прутками й разом із основним зерном потрапляють у канал для очищеного продукту.

3.7 Висновки

За результатами лабораторних досліджень встановлено, що для забезпечення продуктивності гравітаційного сепаратора 10 т/год на пшениці та 9 т/год на ячмені й вівсі його параметри мають бути такими: довжина сепарувальної гребінки 1000 мм, ширина 450 мм, кількість прутків у гребінці 17 шт.; щілинний зазор між прутками сепарувальних гребінок для виділення дрібних домішок становить для пшениці 2,5 мм, для ячменю та вівса – по 2,0 мм, а для виділення крупних домішок – відповідно 4,0 мм для пшениці, 3,5 мм для ячменю та 3,0 мм для вівса; кут нахилу сепарувальних гребінок прийнято 30° для пшениці й ячменю та 28° для вівса.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні вимоги охорони праці при роботі з сепаратором зерна

Організація безпечної роботи з універсальним гравітаційним сепаратором зерна на фермі або комбікормовій ділянці має ґрунтуватися на вимогах Закону України «Про охорону праці», Кодексу законів про працю України, Закону України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування» та пов'язаних підзаконних актів (галузеві НПАОП, Типове положення про навчання та перевірку знань з питань охорони праці тощо).

Для технологічного обладнання діють також вимоги Технічного регламенту безпеки машин, гармонізованого з Директивою 2006/42/ЕС «Про машини» та відповідними стандартами безпеки машин, зокрема ДСТУ EN ISO 12100 «Безпечність машин. Загальні принципи проектування. Оцінювання ризику та зниження ризику».

На рівні ЄС базові вимоги до безпеки та гігієни праці визначені Рамковою Директивою 89/391/ЕЕС, яка встановлює обов'язок роботодавця забезпечити безпечні й здорові умови праці, провести оцінку професійних ризиків, організувати навчання, інструктажі та забезпечити персонал засобами індивідуального захисту.

При експлуатації обладнання враховуються також вимоги Директиви 2009/104/ЕС щодо мінімальних вимог безпеки при використанні працівниками робочого обладнання.

Усі працівники, які обслуговують гравітаційний сепаратор, транспортери та плющилку, повинні пройти вступний та первинний інструктажі з охорони праці, навчання безпечним методам роботи, а також, у разі потреби, періодичні перевірки знань згідно з чинними нормативними документами. До

роботи допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли попередній медичний огляд та не мають протипоказань до роботи в умовах підвищеної запиленості, шуму й вібрації.

Роботодавець зобов'язаний забезпечити: наявність огорожень рухомих частин (прутків гребінок, валів, ланцюгових і стрічкових транспортерів, приводів), надійну електробезпеку обладнання (заземлення, справні автоматичні вимикачі, захист від випадкового пуску), наявність аварійних вимикачів та попереджувальних знаків. З урахуванням запиленості зернопереробних ділянок повинні бути передбачені системи місцевої аспірації й загальної вентиляції, що знижують концентрацію пилу до значень, які не перевищують гранично допустимі.

Оскільки в зерноочисних установках можливе утворення вибухонебезпечних пилоповітряних сумішей, при проектуванні та експлуатації лінії слід керуватися вимогами директив АТЕХ 1999/92/ЕС (мінімальні вимоги до безпеки працівників, які можуть зазнавати впливу вибухонебезпечних атмосфер) та 2014/34/EU (обладнання і захисні системи для вибухонебезпечних атмосфер), що передбачають запобігання утворенню вибухонебезпечного середовища, усунення джерел займання та мінімізацію наслідків можливого вибуху.

4.2 Оцінка небезпечних факторів при роботі з розробленим сепаратором зерна

При роботі з універсальним гравітаційним сепаратором до основних небезпечних і шкідливих виробничих факторів належать: рухомі й обертові частини обладнання (прутки гребінок, привідні вали, шківни, ланцюги й стрічки транспортерів), підвищений рівень пилу в повітрі робочої зони, підвищений

рівень шуму й вібрації, можливість ураження електричним струмом, травмування при ручному переміщенні мішків або контейнерів із зерном, а також ризик пожежі або вибуху зернового пилу.

Механічні небезпеки реалізуються при випадковому контакті працівника з рухомими частинами або при попаданні одягу в щілини між прутками, валиками чи приводами. Для їх мінімізації сепаратор повинен мати суцільні й сітчасті огороження в зоні подачі й вивантаження, а також блокування, що унеможливають доступ до небезпечних зон при працюючому приводі. Конструкція комбінованих прутків і дугоподібних скатних дощок має забезпечувати самоплив руху зернової маси без потреби в ручних втручаннях у робочу зону.

Зерновий пил при завантаженні бункера-дозатора, падінні зерна зі скатних дощок, на виході з гребенок та транспортерів є чинником, що впливає на дихальні шляхи, може викликати алергічні реакції та, за певних умов, утворювати вибухонебезпечні суміші. З огляду на вимоги директиви 1999/92/ЕС роботодавець повинен виконати оцінку ризику вибуху, класифікувати зони за ступенем небезпеки, передбачити ефективну аспірацію, регулярне прибирання пилу, заземлення металевих частин, застосування вибухобезпечного електрообладнання в небезпечних зонах та заборону відкритого вогню й іскроутворюючих інструментів.

Шум і вібрація, що виникають під час роботи плющилки, транспортерів і сепаратора, можуть призводити до перевтоми, зниження слуху, порушення функцій опорно-рухового апарату. Тому необхідно контролювати рівні шуму і вібрації, за потреби застосовувати шумопоглинальні кожухи й огороження, регламентувати тривалість перебування працівника в шумних зонах та використовувати засоби індивідуального захисту слуху відповідно до європейських вимог щодо дії фізичних факторів (серія директив про шум та вібрацію як фізичні агенти).

До електричних небезпек належать можливі пошкодження ізоляції кабелів, порушення цілісності заземлення, використання несправних розподільчих пристроїв, робота з увімкненим обладнанням під час ремонту. Для їх запобігання електрообладнання має відповідати вимогам ПУЕ, бути захищеним від пилу, мати надійне заземлення, а всі ремонтні та налагоджувальні роботи проводяться лише при повному знятті напруги й блокуванні випадкового включення.

Ергономічні ризики проявляються при ручному переміщенні важких мішків із зерном, роботі у вимушених позах, недостатній освітленості робочих зон. Їх знижують за рахунок застосування механізованих засобів підймання й транспортування (транспортери, елеватори, візки), раціонального планування робочих місць, забезпечення нормованого освітлення й перерв для відпочинку.

У підрозділі «Оцінка небезпечних факторів» результати якісного аналізу можуть бути доповнені кількісною оцінкою (матриця «ймовірність — тяжкість наслідків»), що дозволяє обґрунтувати вибір пріоритетних заходів щодо зниження ризику до прийняттого рівня відповідно до підходів, закладених у

4.3 Інструкція з охорони праці при роботі з універсальним гравітаційним сепаратором зерна

Інструкція з охорони праці для оператора гравітаційного сепаратора розробляється на підставі Закону України «Про охорону праці», Типового положення про розробку інструкцій з охорони праці, галузевих правил безпеки для сільськогосподарських підприємств, а також вимог Технічного регламенту безпеки машин та відповідних європейських директив щодо використання робочого обладнання.

Загальні положення інструкції визначають, що оператор відноситься до категорії працівників, які працюють з механізованим технологічним обладнанням підвищеної небезпеки. Він повинен знати будову і принцип роботи сепаратора, правила пуску та зупинки, порядок дій у нештатних ситуаціях, правила користування засобами індивідуального захисту, а також мати навички надання першої домедичної допомоги потерпілим від нещасних випадків. До роботи допускають осіб, що пройшли навчання й перевірку знань з охорони праці, інструктаж з пожежної безпеки та з електробезпеки не нижче II групи з відповідного обладнання.

Перед початком роботи оператор зобов'язаний оглянути робоче місце, перевірити справність огорожень, дугоподібних скатних дощок, гребенок, блокувань, цілісність електрокабелів, заземлення, наявність і читабельність попереджувальних знаків. Не допускається робота при знятих огороженнях, наявності сторонніх предметів у бункері, протіканні підшипників чи редукторів, підвищеному шумі, вібрації або запаху гару. Перевіряється роботи аспірації та вентиляції, чистота підлоги, відсутність розсипаного зерна, яке може спричинити послизання.

Під час роботи оператор повинен знаходитися лише в безпечних зонах, не підніматися на бункер або раму без потреби, не торкатися рухомих частин, не очищати щілини між прутками та скатні дошки руками чи металевими предметами при працюючому обладнанні. Забороняється проводити будь-які ремонтні або регулювальні операції до повної зупинки приводу, відключення живлення і вивішування попереджувального плаката «Не вмикати — працюють люди». При підвищеній запиленості оператор користується респіратором, при тривалій роботі у шумі — засобами захисту слуху. Категорично забороняється паління, використання відкритого вогню або іскроутворюючого інструменту поблизу сепаратора й силосів із зерном, що відповідає вимогам протипожежної та вибухопожежної безпеки для пилових середовищ.

Після закінчення роботи оператор повинен припинити подачу зерна, дочекатися повного проходження матеріалу через гребенки, зупинити привід сепаратора, відключити електроживлення, перекрити подачу у бункер, виконати очищення доступних поверхонь від налиплого матеріалу, не заходячи в небезпечні зони. Всі виявлені під час зміни несправності фіксуються в журналі, повідомляються керівнику робіт та, за необхідності, службі охорони праці. При виникненні аварійних ситуацій (заклинювання прутків, вихід з ладу приводу, запалювання пилу, травмування працівника) дії оператора мають відповідати вимогам розділу інструкції «Порядок дій в аварійних ситуаціях»: негайна зупинка обладнання, виклик відповідальних осіб, надання першої домедичної допомоги, повідомлення керівництва.

Інструкція переглядається не рідше одного разу на 3–5 років або при зміні конструкції сепаратора, технологічного процесу, впровадженні нового обладнання, внесенні змін до законодавчих та нормативно-правових актів з охорони праці.

4.4 Висновки

Система забезпечення безпеки праці при експлуатації універсального гравітаційного сепаратора зерна повинна базуватися на поєднанні вимог національного законодавства України у сфері охорони праці, галузевих нормативів та гармонізованих європейських директив і стандартів, що регламентують безпечне проектування машин, користування робочим обладнанням та запобігання впливу небезпечних виробничих факторів.

Розроблена конструкція сепаратора (комбіновані прутки з регульованими щілинами, дугоподібні скатні дошки, можливість очистки різних культур без заміни робочих органів) дозволяє не лише підвищити технологічну ефективність процесу сепарації, а й зменшити ризики травмування за рахунок

мінімізації ручних втручань у зону руху зернового потоку. При цьому забезпечення безвідмовної роботи огорожень, блокувань, систем аспірації, заземлення та електрозахисту, а також дотримання працівниками вимог інструкції з охорони праці є ключовою умовою запобігання нещасним випадкам, профзахворюванням і аваріям.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА СЕПАРАТОРА ЗЕРНА

5.1 Вихідні дані

Результати проведених теоретичних та експериментальних досліджень процесу сепарації зерна різних культур на універсальному гравітаційному сепараторі свідчать про достатню ефективність його застосування для очищення зерна від крупних і дрібних домішок на етапі підготовки до плющення. За один прохід зернового матеріалу через гравітаційний сепаратор забезпечується одночасне виділення як крупних, так і дрібних домішок.

Нижче наведено техніко-економічну оцінку використання універсального гравітаційного сепаратора для очищення фуражного зерна від дрібних і крупних домішок за продуктивності 10 т/год. Для порівняння прийнято гравітаційний сепаратор ЗГ-25 з продуктивністю на пшениці, ячмені та вівсі до 12 т/год. Стислу технічну характеристику порівнюваних сепараторів подано в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Порівняльні характеристики сепараторів

Показник	Одиниця вимірювання	Запропонований універсальний гравітаційний сепаратор	Базовий сепаратор ЗГ-25
Продуктивність	т/год	10	12
Ціна машини	грн.	120000	650000
Балансова вартість машини	грн.	144000	780000
Встановлена потужність	кВт	–	3
Кількість персоналу	осіб	1	1
Маса машини	кг	68	350
Питома металоемність	кг/т·год	6,8	29,2

5.2 Розрахунок показників економічної ефективності

За даними порівняльного розрахунку встановлено, що при близькій продуктивності (10 т/год у запропонованого універсального гравітаційного сепаратора проти 12 т/год у базового сепаратора ЗГ-25) питома собівартість очищення 1 т фуражного зерна в нового сепаратора є суттєво нижчою. За прийнятого річного фонду часу 2000 год запропонована конструкція забезпечує переробку близько 20 тис. т зерна при орієнтовних річних витратах на амортизацію та ремонти на рівні 28,8 тис. грн, тоді як для базового сепаратора за річного обсягу переробки 24 тис. т відповідні витрати разом з витратами на електроенергію становлять близько 180 тис. грн. У перерахунку на одиницю продукції питомі витрати становлять орієнтовно 1,44 грн/т для універсального гравітаційного сепаратора проти 7,50 грн/т для сепаратора ЗГ-25. Це свідчить про те, що застосування розробленої конструкції дозволяє більш ніж у п'ять разів знизити питомі експлуатаційні витрати на процес очищення фуражного зерна, що є вагомою техніко-економічною перевагою при впровадженні її в умовах фермерських і комбикормових господарств.

Показник	Одиниця	Універсальний гравітаційний сепаратор	Базовий сепаратор ЗГ-25
Продуктивність	т/год	10	12
Річний фонд часу	год/рік	2000	2000
Річний обсяг переробки	т/рік	20 000	24 000
Річні витрати (амортизація + ремонти)	грн/рік	28 800	156 000
Річні витрати на електроенергію	грн/рік	≈ 0	24 000
Загальні річні витрати	грн/рік	28 800	180 000
Питомі витрати	грн/т	≈ 1,44	≈ 7,50
Орієнтовне зниження питомих витрат	разів	≈ 5 разів	-

5.3 Висновки

За результатами розрахунків орієнтовні питомі експлуатаційні витрати (амортизація + ремонти + електроенергія) становлять близько 1,4 грн/т для запропонованого універсального гравітаційного сепаратора і приблизно 7,5 грн/т для базового сепаратора ЗГ-25, тобто нова конструкція забезпечує зменшення питомих витрат більш ніж у 5 разів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1 На основі аналізу існуючих способів очищення зерна встановлено, що традиційні повітряно-ситові, трієрні, густинні, магнітні й електричні методи є ефективними, але складними в налагодженні, енергоємними та часто потребують заміни робочих органів при переході на іншу культуру. Це обґрунтувало доцільність створення простого, малометалоємного й універсального гравітаційного сепаратора для одночасного виділення дрібних і крупних домішок при підготовці фуражного зерна до пшоення.

2 Експериментальне визначення фізико-механічних властивостей пшениці, ячменю та вівса (лінійні розміри, вологість, об'ємна маса, кути тертя й природного укусу, текучість) дозволило встановити раціональні діапазони щілинних зазорів між прутками сепарувальної гребінки й оптимальні кути нахилу скатних дощок. Отримані дані стали основою для розрахунку конструктивних параметрів універсального гравітаційного сепаратора.

3 Теоретично обґрунтовано конструкцію сепаратора з комбінованими прутками (дві пластини на осі з регульованим зазором) та дугоподібними скатними дошками, що забезпечують самопливний рух зернової маси й стабільний контакт із сепарувальною поверхнею. Показано вплив довжини гребінки, кута її нахилу, кількості гребінок і подачі зерна на умови руху частинок та площу «живого» перерізу, визначено оптимальний діапазон кутів нахилу (приблизно 28–35°) і довжини гребінки (порядку 0,8–1,0 м).

4 Лабораторні дослідження підтвердили, що запропонований сепаратор забезпечує високий ступінь виділення крупних і дрібних домішок за один прохід (для крупних достатньо однієї гребінки, для дрібних – двох) при подачі до 10 т/год для пшениці та 9 т/год для ячменю й вівса.

5 Техніко-економічні розрахунки показали зниження питомих експлуатаційних витрат більш ніж у 5 разів порівняно з базовим сепаратором ЗГ-25, що робить універсальний гравітаційний сепаратор доцільним для впровадження в малих і середніх фермерських господарствах за умови дотримання вимог охорони праці та безпечної експлуатації обладнання.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Міністерство аграрної політики та продовольства України, & Національна академія аграрних наук України. (2018). Національний проєкт «Відроджене скотарство» (Текст, таблиці, додатки). Київ: ДІА, 44 с.
2. Державна служба статистики України. (n.d.). Офіційний сайт Державної служби статистики України. <https://www.ukrstat.gov.ua>
3. Прокопенко, О. М. (Ред.). (2024). Сільське господарство України: Статистичний збірник 2023. Київ: ДССУ, 379 с.
4. Шаповаленко, О. І., Євтушенко, О. О., Янюк, Т. І., & Ноздрюхіна, І. В. (n.d.). Технологія комбікормів: навчальний посібник. Київ: Національний університет харчових технологій.
5. Заброта, А. В. (n.d.). Технологія комбікормів та розроблення раціонів годівлі тварин і птиці: навчальний посібник. Київ: Національний університет харчових технологій.
6. Войтюк, Д. Г., & Гаврилюк, Г. Р. (2008). Сільськогосподарські машини: підручник. Київ: Каравела.
7. Марченко, В. І. (1999). Сільськогосподарські машини: підручник. Київ: Вища школа.
8. Войтюк, Д. Г., Адамчук, І. В., Гаврилюк, Г. Р., Лобачов, О. І., & Козій, М. М. (1993). Механізація сільськогосподарського виробництва і захисту рослин. Київ: Вища школа. Павлов, О. М. (2016). Інноваційні технології в кормовиробництві. Одеса: Одеська національна академія харчових технологій.
9. Руденко, П. О. (2020). Основи автоматизації кормовиробництва в агропромисловому комплексі. Черкаси: Черкаський національний університет.
10. Савченко, О. М. (2018). Основи проектування систем дозування у кормовиробництві. Полтава: Полтавський університет економіки і торгівлі.
11. Сидоренко, В. П. (2017). Вдосконалення технологій виробництва комбікормів для великої рогатої худоби. Львів: Львівська політехніка.

12. Шевченко, В. С. (2019). Агротехнічні засоби для покращення ефективності виробництва комбікормів. Київ: Інститут аграрної економіки.
13. ДСТУ 3768:2019. (2019). Пшениця. Технічні умови. Київ: ДП «Укр-НДНЦ».
14. Regulation (EC) No 183/2005 of the European Parliament and of the Council of 12 January 2005 laying down requirements for feed hygiene. (2005). Official Journal of the European Union, L 35, 1–22.
15. European Commission. (n.d.). Feed hygiene (Regulation (EC) No 183/2005). In Food safety – Animal feed. Retrieved April 18, 2025, from the European Commission website.
16. Directive 2006/42/EC of the European Parliament and of the Council of 17 May 2006 on machinery, and amending Directive 95/16/EC. (2006). Official Journal of the European Union, L 157, 24–86.
17. European Commission. (2024). Guide to application of the Machinery Directive 2006/42/EC (Edition 2.3). Brussels: European Commission.
18. Federal Agency for the Safety of the Food Chain (FASFC). (2024). Feed legislation overview. Retrieved April 18, 2025, from FASFC website.
19. Panasiewicz, M., Sobczak, P., Mazur, J., Zawislak, K., & Andrejko, D. (2012). The technique and analysis of the process of separation and cleaning grain materials. *Journal of Food Engineering*, 109(3), 603–608. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.10.010>
20. Vaičiukevičius, E., Jasinskas, A., Jotautienė, E., Domeika, R., Gerdauskas, K., Zinkevičienė, R., & Lekavičienė, K. (2023). Determination of optimal technological parameters for sorting wheat grains in chambers of different constructions. *Processes*, 11(12), 3441. <https://doi.org/10.3390/pr11123441>

ДОДАТКИ

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра інжинірингу технічних систем

Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів обладнання для плющення кормового зерна

демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІ-3-24
Іщенко Ростислав Сергійович

Керівник: к.т.н., доцент
Івлєв Віталій Володимирович

Дніпро 2025

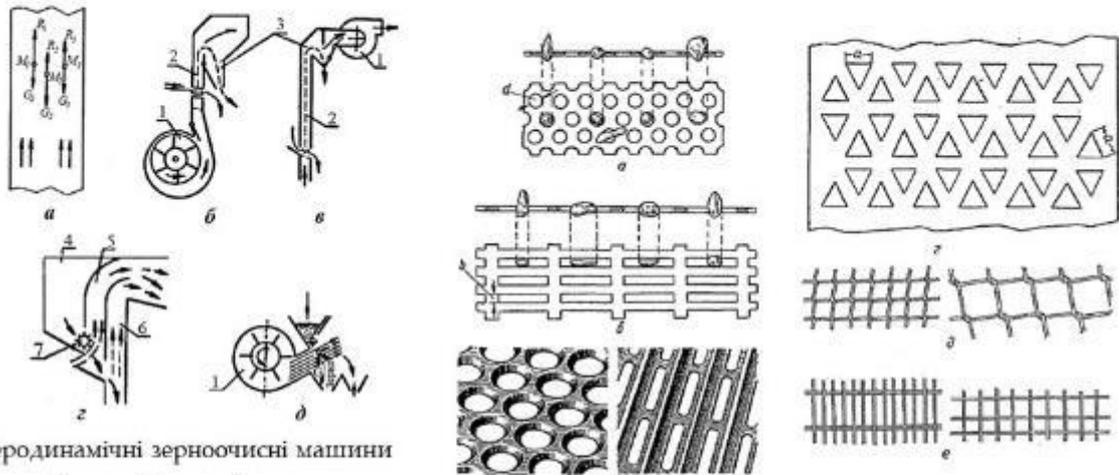
Мета і задачі досліджень

Метою даної дипломної роботи є підвищення ефективності процесу підготовки плющеного фуражного зерна до згодовування сільськогосподарським тваринам шляхом його очищення від сторонніх домішок на універсальному гравітаційному сепараторі.

Для досягнення поставленої мети сформульовано такі завдання дослідження:

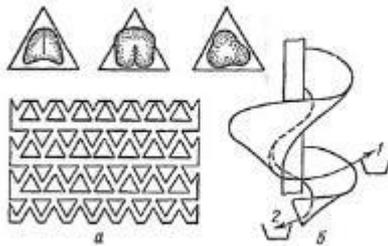
1. розробити модель функціонування технологічної лінії приготування плющеного фуражного зерна для сільськогосподарських тварин із використанням універсального гравітаційного сепаратора для його очищення;
2. розробити конструктивно-технологічну схему універсального гравітаційного сепаратора;
3. теоретично й експериментально обґрунтувати основні параметри та режими роботи універсального гравітаційного сепаратора;
4. провести техніко-економічну оцінку розробленого універсального гравітаційного сепаратора та оцінити ефективність його роботи.

Аналіз стану питання

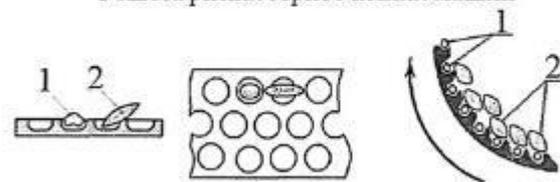


Аеродинамічні зерноочисні машини

Решета різних зерноочисних машин



Схеми пристроїв, що розділяють матеріал за формою та поверхнею частинок



Розділення зерен ячеюватою поверхнею трієра

3

Теоретичні дослідження

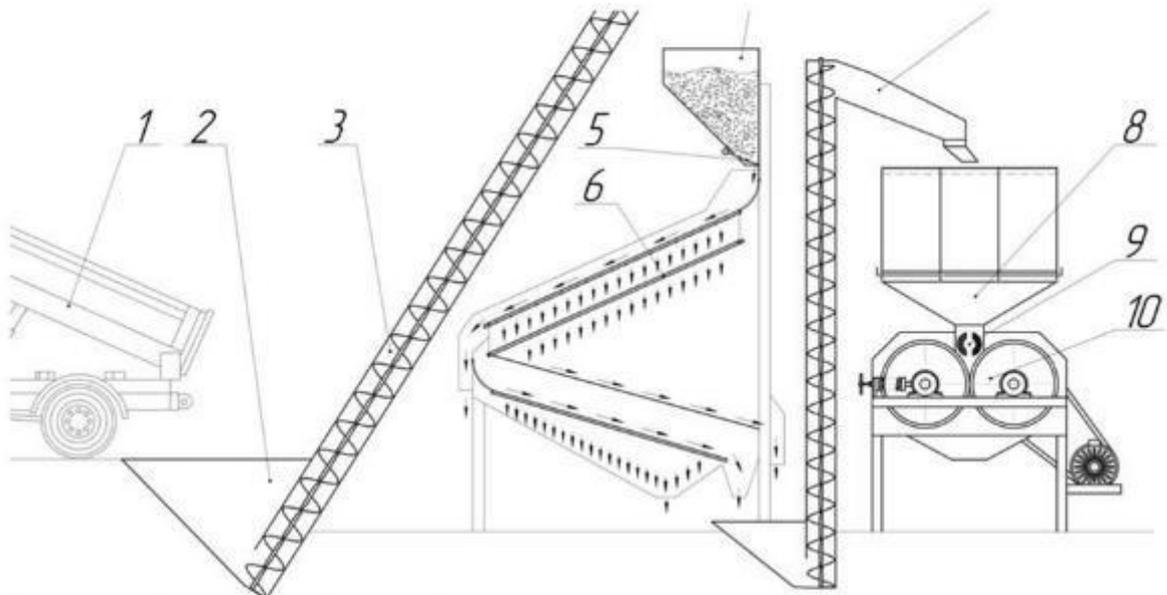
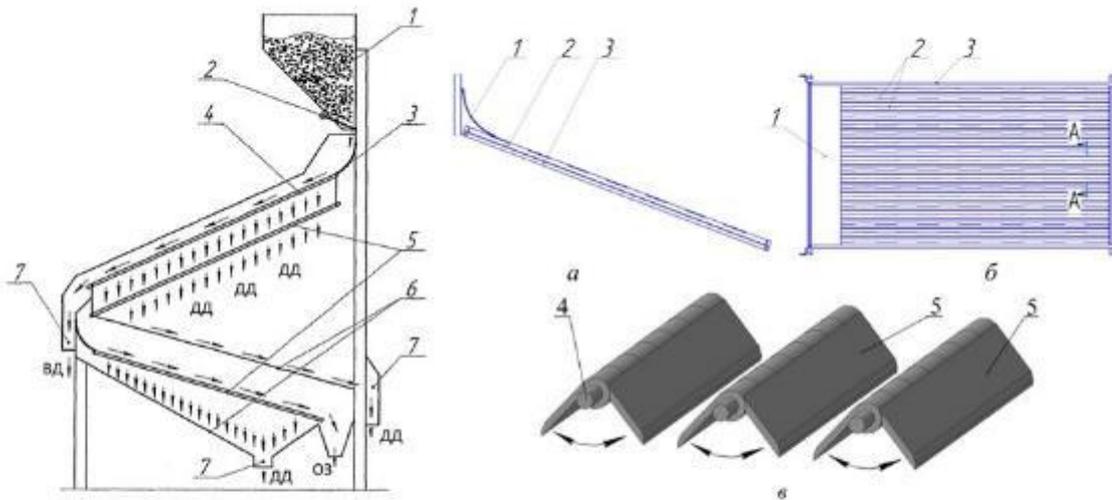


Рисунок 2 – Схема технологічної лінії очищення та плющення фуражного зерна. 1 – транспортування зерна автотранспортним засобом; 2 – бункер-накопичувач; 3 – транспортер; 4 – приймальний бункер універсального гравітаційного сепаратора; 5 – заслінка бункера гравітаційного сепаратора; 6 – універсальний гравітаційний сепаратор; 7 – транспортер; 8 – бункери-накопичувачі плющилки; 9 – магнітний уловлювач; 10 – вальцова плющилка зерна

4

Теоретичні дослідження



ДД – дрібні домішки; ВД – великі домішки;
ОЗ – очищене зерно.

Рисунок 3 – Схема універсального гравітаційного сепаратора: 1 – бункер; 2 – заслінка; 3 – скатна дошка; 4 – сепарувальна гребінка для виділення крупних домішок; 5 – сепарувальні гребінки для виділення дрібних домішок; 6 – скатні дошки; 7 – відвідні канали.

Рисунок 4 – Схема сепарувальної гребінки з комбінованими прутками: а – вигляд збоку; б – вигляд згори; в – прутки сепарувальної гребінки; 1 – дугоподібна скатна дошка; 2 – комбіновані прутки; 3 – рамка гребінки; 4 – вісь прутка; 5 – пластини

5

Теоретичні дослідження

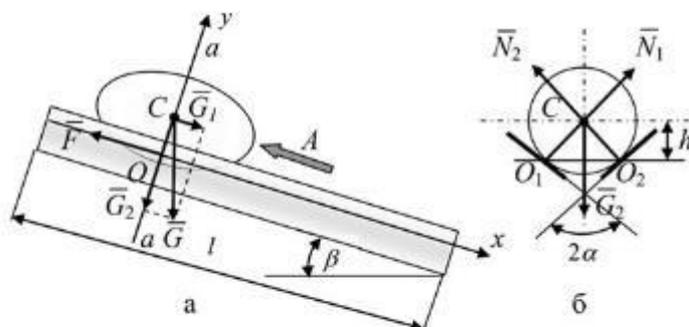


Рисунок 5 – Схема руху частинки та сил, що діють на неї

Робота сили тертя при ковзанні частинки на шляху l визначається як добуток модуля сили тертя на пройдений шлях:

$$A = Fl = f \frac{G \cos \beta}{\sin \alpha} l$$

де A – робота сили тертя, Дж;
 F – рівнодійна сила тертя;
 l – довжина ділянки ковзання частинки по жолобу.

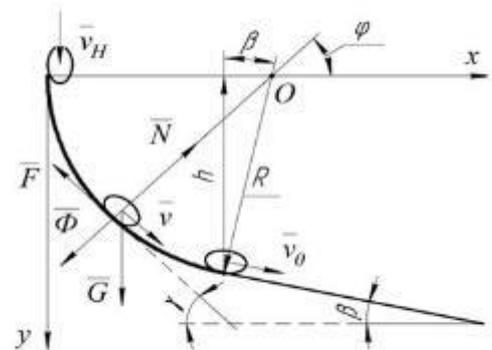


Рисунок 6 – Схема руху частинки по дугоподібній скатній дошці

Нормальна реакція N дугоподібної поверхні на частинку

$$N = G \sin \varphi + \frac{mv^2}{R} = m \left(g \sin \varphi + \frac{v_0^2 + 2gR \sin \varphi}{R} \right)$$

Максимальне значення нормальної реакції досягається в зоні сходу з направляючої і для прийнятих параметрів становить близько 0,156 Н,

6

Лабораторні дослідження

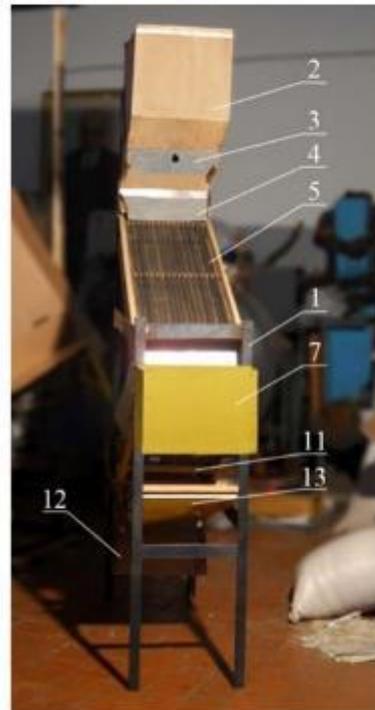
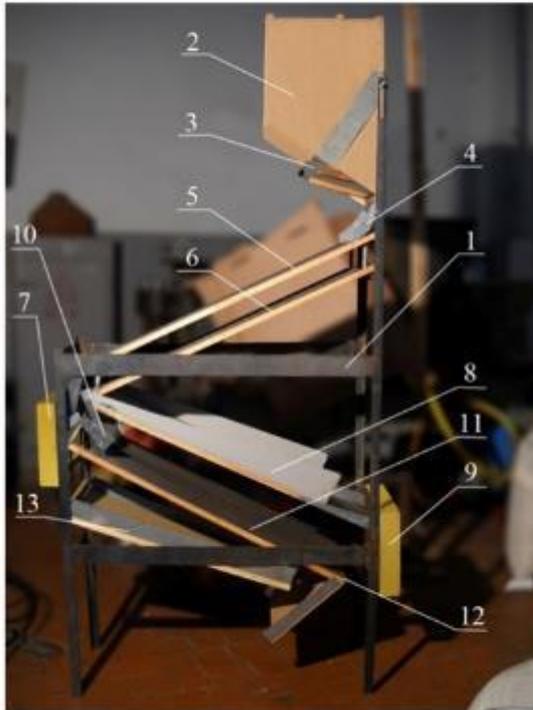


Рисунок 7 – Схема лабораторної установки: а – вигляд збоку (корпус знято); б – вигляд спереду; 1 – зварна рама; 2 – бункер-дозатор; 3 – дозувальна заслінка; 4, 10 – дугоподібні скатні дошки; 5 – сепарувальна гребінка для виділення крупних домішок; 6, 11 – сепарувальні гребінки для виділення дрібних домішок; 7, 9 – відвідні канали; 8, 13 – скатна дошка; 12 – канал збору очищеного зерна

7

Лабораторні дослідження

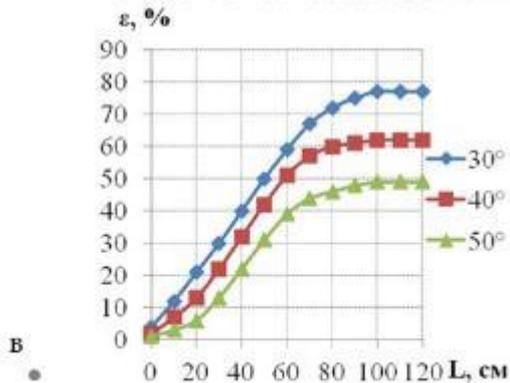
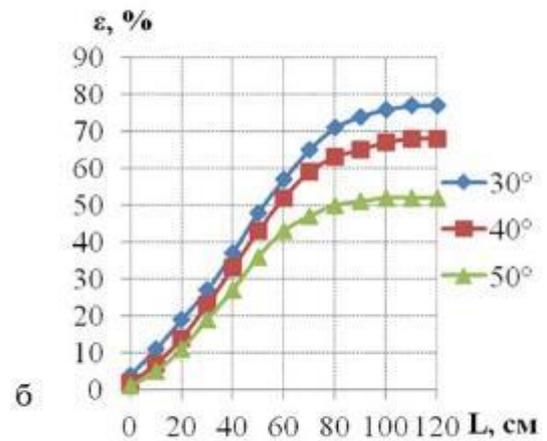
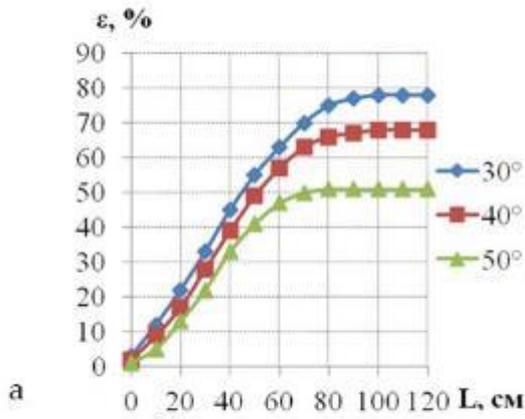


Рисунок 8 – Графічна залежність ефективності виділення домішок η від довжини гребінки I для пшениці (а), ячменю (б) вівса (в) за різних кутів нахилу сепарувальної гребінки

8

Лабораторні дослідження

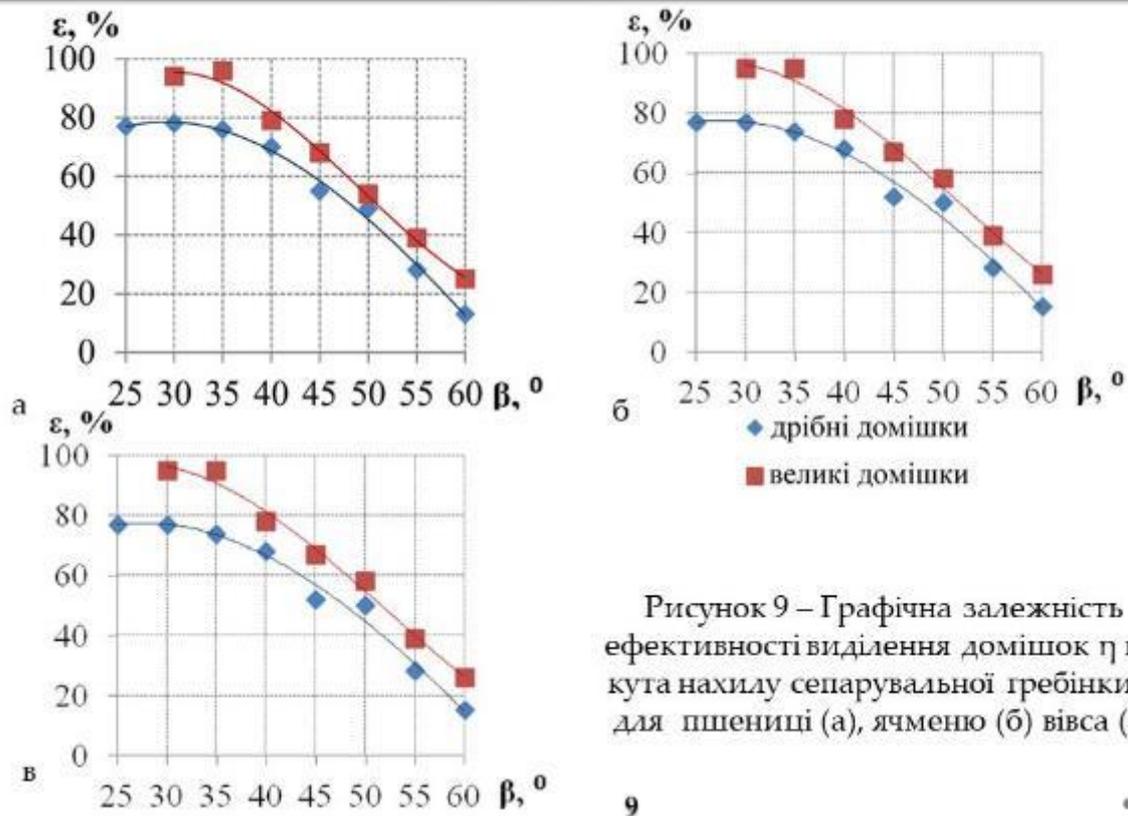


Рисунок 9 – Графічна залежність ефективності виділення домішок η від кута нахилу сепарувальної гребінки β для пшениці (а), ячменю (б) вівса (в)

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Карта контролю показників безпеки сепаратора зерна

№	Об'єкт контролю / небезпечний фактор	Показник безпеки	Нормативна вимога / критерій	Метод контролю	Періодичність	Відповідальний
1	Огородження зон ладних зерка, пруття гребінок	Цілісність та наявність огорожень, відсутність доступу до небезпечних зон	Огородження встановлені, без зазорів, що дозволяють доторкнутися рукою	Візуальний огляд	Перед кожним запуском, раз на зміну	Машинист / оператор
2	Зазори між рухомими та нерухомими частинами (заслінка, бутнер)	Відсутність защемлення, задирок, гострих кромки	Відсутні гострі краї, можливість вільного ходу заслінки без ривка	Візуальний огляд, пробний пуск без завантаження	Щонощів або після ремонту	Механік / слюсар
3	Стан металоконструкції рами та кріплення сепаратора	Відсутність тріщин, деформацій, ослаблених болтових з'єднань	Конструкція без видимих пошкоджень, болти затягнуті	Візуальний огляд, перевірка ключем	Щошвартально	Інженер з ОП, механік
4	Пиловиділення в зоні завантаження та розвантаження	Концентрація пилу, захарчення пилон поверхонь	Відсутність видимих пилоних шар, регулярне очищення, робота аспірації (за наявності)	Візуальний контроль, прилади (за потреби)	Щоденно, при прибиранні	Оператор, відповідальний за прибирання
5	Пожезна безпека в зоні сепаратора	Наявність вогнетасника, відсутність горючих відкладень пилу	Вогнетасник справний, доступний, пил та сміття не накопичуються	Візуальний огляд, перевірка терміну огляду вогнетасника	Щонощів, перед сезоном	Відповідальний за пожезну безпеку
6	Електробезпека (заземлення рами, приладдя до потенціалу)	Цілісність заземлювального проводника, наявність маркування	Опір заземлення в нормі, відсутні пошкодження проводників	Вимір опору заземлення, візуальний огляд	1 раз на рік, після ремонту	Електрик
7	Мікроклімат та зашмідність робочої зони	Температура, вологість, пил (особливо в закритих приміщеннях)	Параметри в межах санітарних норм, пил нижче ГДК	Вимрювання (за потреби), візуальний контроль	За графіком лабораторії, не рідше 1 раз на рік	Лабораторія, інженер з ОП
8	Освітленість робочої зони сепаратора	Рівень освітленості на робочих поверхнях	Не нижче нормованого значення (за ДБН / ДСТУ)	Вимрювач освітленості, візуальна оцінка	1 раз на рік, при зміні освітлення	Енергетик, інженер з ОП
9	Рівень шуму на робочому місці (з урахуванням висіт днів)	Інтенсивність шуму, вплив на працездатність	Рівень шуму не перевищує допустимі значення	Шумомір, опитування працівників	За графіком, при модернізації ліній	Лабораторія, інженер з ОП
10	Організація робочого місця оператора	Відсутність зон спотівання, зручний доступ до органів керування	Проходи вільні, органи керування у зоні досяжності, немає небезпечно перепадів	Візуальний огляд, опитування оператора	Щошвартально	Майстер ділянки, інженер з ОП
11	Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)	Наявність та використання ЗІЗ: респиратор, окуляри, рукавичі, спеодяг	Працівники забезпечені ЗІЗ та фактично їх використовують	Візуальний контроль, інструктаж	Постійно, перевірка раз на зміну	Майстер, інженер з ОП
12	Інструкції з охорони праці та навчання персоналу	Наявність актуальної інструкції, проведені інструктажі	Інструкція затверджена, актуальна, первинний і повторний інструктажі проведені	Перевірка документів, опитування	Перед допуском до роботи, повторно – за графіком	Інженер з ОП, керівник підрозділу

Показники економічної ефективності

Показник	Одиниця	Універсальний гравітаційний сепаратор	Базовий сепаратор ЗГ-25
Продуктивність	т/год	10	12
Річний фонд часу	год/рік	2000	2000
Річний обсяг переробки	т/рік	20 000	24 000
Річні витрати (амортизація + ремонт)	грн/рік	28 800	156 000
Річні витрати на електроенергію	грн/рік	≈ 0	24 000
Загальні річні витрати	грн/рік	28 800	180 000
Питомі витрати	грн/т	≈ 1,44	≈ 7,50
Орієнтовне зниження питомих витрат	разів	≈ 5 разів	-

За результатами розрахунків орієнтовні питомі експлуатаційні витрати (амортизація + ремонт + електроенергія) становлять близько 1,4 грн/т для запропонованого універсального гравітаційного сепаратора і приблизно 7,5 грн/т для базового сепаратора ЗГ-25, тобто нова конструкція забезпечує зменшення питомих витрат більш ніж у 5 разів.

Загальні висновки

1 На основі аналізу існуючих способів очищення зерна встановлено, що традиційні повітряно-ситові, трієрні, густинні, магнітні й електричні методи є ефективними, але складними в налагодженні, енергоємними та часто потребують заміни робочих органів при переході на іншу культуру. Це обґрунтувало доцільність створення простого, малометалеємного й універсального гравітаційного сепаратора для одночасного виділення дрібних і крупних домішок при підготовці фуражного зерна до плющення.

2 Експериментальне визначення фізико-механічних властивостей пшениці, ячменю та вівса (лінійні розміри, вологість, об'ємна маса, кути тертя й природного укусу, текучість) дозволило встановити раціональні діапазони щільних зазорів між прутками сепарувальної гребінки й оптимальні кути нахилу скатних дощок. Отримані дані стали основою для розрахунку конструктивних параметрів універсального гравітаційного сепаратора.

3 Теоретично обґрунтовано конструкцію сепаратора з комбінованими прутками (дві пластини на осі з регульованим зазором) та дугоподібними скатними дошками, що забезпечують самопливний рух зернової маси й стабільний контакт із сепарувальною поверхнею. Показано вплив довжини гребінки, кута її нахилу, кількості гребінок і подачі зерна на умови руху частинок та площу «живого» перерізу, визначено оптимальний діапазон кутів нахилу (приблизно 28–35°) і довжини гребінки (порядку 0,8–1,0 м).

4 Лабораторні дослідження підтвердили, що запропонований сепаратор забезпечує високий ступінь виділення крупних і дрібних домішок за один прохід (для крупних достатньо однієї гребінки, для дрібних – двох) при подачі до 10 т/год для пшениці та 9 т/год для ячменю й вівса.

5 Техніко-економічні розрахунки показали зниження питомих експлуатаційних витрат більш ніж у 5 разів порівняно з базовим сепаратором ЗГ-25, що робить універсальний гравітаційний сепаратор доцільним для впровадження в малих і середніх фермерських господарствах за умови дотримання вимог охорони праці та безпечної експлуатації обладнання.