

Центральноукраїнський національний технічний університет
Агротехнічний факультет
Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”
зав. кафедрою СГМ
к.т.н., професор

“ _____ ” _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:

"Удосконалення зерноочисної машини з обґрунтуванням
параметрів решета"

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,
групи ГМ-24М-1
ОНП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
_____ Долянчук Володимир Леонідович
« _____ » _____ 2026 р.

Керівник проекту
доцент, канд. техн. наук

_____ 2026 р.
« _____ » _____

Рецензент
проф., д-р. техн. наук

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет агротехнічний

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

Освітньо-наукова програма «Галузеве машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« ____ » _____ 2026 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Долянчука Володимира Леонідовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи «Удосконалення зерноочисної машини з обґрунтуванням параметрів решета»

2. Керівник кваліфікаційної роботи _____

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

3. Строк подання роботи до захисту до 5.05.2026 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Підвищення ефективності процесу сепарації зернових сумішей шляхом удосконалення конструкції решета зерноочисної машини та обґрунтування його раціональних конструктивно-технологічних параметрів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати технологічний процес сепарації зернових сумішей та конструкції існуючих решіт та обґрунтувати напрям удосконалення конструкції решета;
- встановити теоретичні залежності, що описують вплив параметрів решета на продуктивність та повноту сепарації, визначити раціональні геометричні та кінематичні параметри решета;
- виконати інженерні розрахунки основних елементів конструкції;
- оцінити техніко-економічну ефективність та розробити заходи з охорони праці при експлуатації зерноочисної машини.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: 1. Аналіз сучасного стану машин згідно теми досліджень. Об'єм – 1 аркуш. 2. Мета, задачі, об'єкт та предмет досліджень. Об'єм – 1 аркуш. 3. Схема машини чи вузла, що модернізується. Об'єм – 1 аркуш. 4. Теоретичні дослідження. Об'єм – 1 аркуш. 5. Результати теоретичних досліджень. Об'єм – 1 аркуш.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1.	Складання технічного завдання	до 19.01.2026 р.
2.	Техніко-економічне обґрунтування проблеми вдосконалення запропонованої машини	до 20.02.2026 р.
3.	Підготовка та подання керівнику роботи: - стану досліджуваного питання та вибору напряму досліджень; - наукової частини; - практичної реалізації результатів досліджень; - охорони праці; - вступу та загальних висновків.	до 20.02.2026 р. до 01.04.2026 р. до 10.04.2026 р. до 15.04.2026 р. до 20.04.2026 р.
4.	Доопрацювання розділів з урахуванням зауважень	до 24.04.2026 р.
5.	Подання робочого варіанту роботи керівнику для перевірки	до 25.04.2026 р.
6.	Доопрацювання кваліфікаційної роботи з урахуванням зауважень керівника. Отримання відгуку керівника	до 30.04.2026 р.
7.	Передача електронного варіанту пояснювальної записки для перевірки на плагіат	за 10 днів до захисту
8.	Передача пояснювальної записки разом зі звітом перевірки на плагіат (роздрукованої у незшитому вигляді) керівнику на розгляд	після отримання результатів перевірки на плагіат
9.	Подання роботи завідувачу кафедри на перевірку. Отримання направлення на рецензію	за 6 робочих днів до захисту
10.	Рецензування кваліфікаційної роботи. Підготовка документів, що подаються до ЕК	за 3 робочі дні до захисту
11.	Подання роботи всього комплексу документів разом з роботою секретареві ЕК	за 2 робочі дні до захисту
12.	Захист кваліфікаційної роботи	за графіком кафедри

Дата видачі завдання

« ____ » _____ 2026 р.

Підпис керівника _____

_____ (прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

« ____ » _____ 2026 р.

Підпис здобувача _____

Володимир ДОЛЯНЧУК

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У магістерській роботі розглянуто питання підвищення ефективності очищення зернових матеріалів шляхом удосконалення конструкції решета зерноочисної машини. Проведено аналіз технологічного процесу сепарації зернових матеріалів та конструкцій існуючих решіт. Обґрунтовано конструктивно-технологічну схему каскадного щілинного решета з ділянками різної довжини та різними кутами нахилу. Отримано аналітичні залежності, що описують рух зернового матеріалу по поверхні решета та час його перебування на робочих ділянках. Визначено раціональні конструктивні параметри каскадів решета. Виконано інженерні розрахунки елементів конструкції зерноочисної машини продуктивністю 25 т/год. Розглянуто питання охорони праці при експлуатації зерноочисного обладнання.

зерноочисна машина, щілинне решето, каскадне решето, очищення зерна

ABSTRACT

The master's thesis addresses the issue of improving the efficiency of grain material cleaning by enhancing the design of the sieve in a grain-cleaning machine. An analysis of the technological process of grain material separation and the designs of existing sieves was carried out. A structural and technological scheme of a cascade slotted sieve with sections of different lengths and different inclination angles was substantiated. Analytical relationships describing the movement of grain material along the sieve surface and the time of its residence on the working sections were obtained. Rational design parameters of the sieve cascades were determined. Engineering calculations of the structural elements of a grain-cleaning machine with a capacity of 25 t/h were performed. Occupational safety issues related to the operation of grain-cleaning equipment were also considered.

grain-cleaning machine, slotted sieve, cascade sieve, grain cleaning

ЗМІСТ

1. ВСТУП	5
2. СТАН ДОСЛІДЖУВАНОГО ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ	7
2.1. Технологічний процес сепарації зернових сумішей	7
2.2. Фізико-механічні властивості зернових матеріалів, що впливають на просіювання	9
2.3. Класифікація та аналіз зерноочисних машин	11
2.4. Конструкції решіт зерноочисних машин	14
2.4.1. Плоскі решета	14
2.4.2. Циліндричні решета	15
2.4.3. Щілині решета	16
2.5. Аналіз існуючих конструкцій щілинних решіт	18
2.6. Висновки по розділу	22
3. НАУКОВА ЧАСТИНА	24
3.1. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми решета	24
3.2. Аналіз руху зернового матеріалу по поверхні решета	28
3.3. Теоретичне обґрунтування часу перебування зернового матеріалу на каскаді решета	31
3.4. Обґрунтування довжини каскадів решета	33
3.5. Обґрунтування кутів нахилу каскадів решета	36
3.6. Визначення раціональних параметрів каскадного решета	38
3.7 Висновки по розділу	39
4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	41
4.1. Вихідні дані для розрахунку решета	41
4.2 Визначення геометричних параметрів каскадного решета	42
4.3. Перевірка продуктивності решета	44
4.4. Розрахунок параметрів щілин решета	46
4.5. Розрахунок навантаження на стержні решета	49
4.6. Висновки по розділу	53
5. ОХОРОНА ПРАЦІ	55
5.1. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів під час роботи зерноочисних машин	55
5.2. Вимоги безпеки до конструкції зерноочисних машин	55
5.3. Заходи щодо зниження запиленості робочої зони	56
5.4. Заходи щодо зниження шуму та вібрації	57
5.5. Висновки по розділу	57
6. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	60
ДОДАТКИ	64

1. ВСТУП

Зерноочистка є однією з найважливіших технологічних операцій післязбиральної обробки зернових культур, від ефективності якої залежать якість продукції, її збереження та подальша переробка. Підвищення вимог до посівного матеріалу і продовольчого зерна зумовлює необхідність удосконалення технічних засобів сепарації зернових сумішей, зокрема робочих органів зерноочисних машин.

Одним із основних елементів, що визначає продуктивність та якість розділення зернових сумішей, є решето. Саме геометричні та кінематичні параметри решета, характер його коливань, питома навантаження та умови руху зернового матеріалу по його поверхні визначають інтенсивність просіювання і повноту виділення домішок. Разом з тим традиційні конструкції решіт не забезпечують достатньої ефективності процесу сепарації через нерівномірність розшарування зернової суміші по довжині робочої поверхні, обмежену інтенсивність проходження частинок у щілини та зниження стабільності технологічного процесу при збільшенні довжини решета.

Аналіз сучасних конструкцій зерноочисних машин показує, що підвищення ефективності їх роботи можливе за рахунок удосконалення робочих органів, спрямованого на інтенсифікацію процесу розшарування зернового матеріалу та створення раціональних умов проходження частинок у просіювальні отвори. Одним із перспективних напрямів є застосування решіт із щілинами змінної ширини та каскадним розташуванням робочих ділянок, що забезпечує послідовне розділення зернової суміші та підвищення ймовірності проходження частинок у щілини.

У роботі розглядається конструкція каскадного щілинного решета, стержні якого виконані ступінчастими з утворенням ділянок із змінною шириною щілин та жорстким їх з'єднанням у кінці кожного каскаду. Така конструкція дозволяє інтенсифікувати процес розшарування зернової суміші, підвищити стабільність розмірів щілин по довжині решета, зменшити

коливання стержнів та покращити умови проходження частинок крізь отвори, що забезпечує зростання продуктивності та якості сепарації.

Актуальність теми магістерської роботи полягає у необхідності підвищення ефективності роботи зерноочисних машин шляхом теоретичного обґрунтування раціональних параметрів удосконаленого решета та визначення його впливу на основні показники технологічного процесу.

Мета роботи – підвищення ефективності процесу сепарації зернових сумішей шляхом удосконалення конструкції решета зерноочисної машини та обґрунтування його раціональних конструктивно-технологічних параметрів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати технологічний процес сепарації зернових сумішей та конструкції існуючих решіт та обґрунтувати напрям удосконалення конструкції решета;
- встановити теоретичні залежності, що описують вплив параметрів решета на продуктивність та повноту сепарації, визначити раціональні геометричні та кінематичні параметри решета;
- виконати інженерні розрахунки основних елементів конструкції;
- оцінити техніко-економічну ефективність та розробити заходи з охорони праці при експлуатації зерноочисної машини.

Об'єкт дослідження – технологічний процес сепарації зернових сумішей на решетах зерноочисних машин.

Предмет дослідження – конструктивно-технологічні параметри каскадного щілинного решета та їх вплив на ефективність просіювання зернового матеріалу.

Методи дослідження – аналітичне моделювання процесу руху частинок зернового матеріалу по поверхні решета, методи теоретичної механіки та математичного аналізу, інженерні розрахунки на міцність і жорсткість, графічна інтерпретація отриманих залежностей та порівняльна техніко-економічна оцінка.

2. СТАН ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Технологічний процес сепарації зернових сумішей.

Технологічний процес очищення зернових сумішей є однією з основних операцій післязбиральної обробки зерна і спрямований на виділення з зернового вороху домішок різного походження та отримання матеріалу, що відповідає вимогам стандартів за чистотою і фракційним складом. Якість виконання цього процесу визначає придатність зерна до тривалого зберігання, переробки та використання як посівного матеріалу.

Зернова суміш, що надходить після обмолоту, є багатокомпонентною системою, до складу якої, крім основної культури, входять органічні та неорганічні домішки, які відрізняються геометричними розмірами, формою, щільністю, аеродинамічними та фрикційними властивостями. До основних видів домішок належать: частинки соломи, полови, насіння бур'янів, биті та щуплі зерна, мінеральні включення. Розділення такої суміші здійснюється за рахунок відмінностей фізико-механічних властивостей її компонентів.

У сучасних зерноочисних машинах процес сепарації є комбінованим і включає послідовне використання різних способів розділення. Попереднє очищення, як правило, здійснюється повітряним потоком, який відокремлює легкі домішки за аеродинамічними властивостями. Основне очищення проводиться на решетах, де відбувається розділення компонентів суміші за геометричними розмірами та частково за формою. Додаткове сортування може здійснюватися у трієрах або на пневмосепараторах.

Під час руху зернового матеріалу по решету відбувається його розшарування: дрібні та більш щільні частинки опускаються в нижні шари, а більші та легші – переміщуються у верхній частині потоку. Утворення розпушеного шару сприяє підвищенню ймовірності контакту частинок з отворами решета і, відповідно, інтенсифікації процесу просіювання.

Недостатнє розшарування призводить до зменшення повноти виділення домішок і зниження продуктивності машини.

Важливою умовою інтенсивного просіювання є забезпечення рівномірного розподілу зернового матеріалу по ширині решета та створення оптимального режиму його переміщення, при якому досягається максимальна кількість контактів частинок з отворами. Це зумовлює необхідність удосконалення конструкцій решіт, спрямованого на інтенсифікацію процесу розшарування шару та підвищення ймовірності проходження частинок у отвори по всій довжині робочої поверхні.

Таким чином, решето є основним робочим органом зерноочисної машини, який визначає її продуктивність і якість очищення. Підвищення ефективності процесу сепарації можливе шляхом створення таких конструкцій решіт, які забезпечують послідовне розділення зернової суміші, інтенсифікацію її розшарування та стабільність геометричних параметрів отворів у процесі роботи.

Таким чином, аналіз технологічного процесу сепарації зернових сумішей дозволяє зробити такі висновки:

- решето є основним робочим органом зерноочисної машини, від конструктивно-технологічних параметрів якого визначально залежать продуктивність та якість розділення зернового матеріалу;
- інтенсивність просіювання обумовлюється умовами розшарування зернової суміші, рівномірністю її розподілу по робочій поверхні та ймовірністю контакту частинок з просіювальними отворами по всій довжині решета;
- збільшення довжини робочої поверхні традиційних решіт не забезпечує пропорційного підвищення ефективності сепарації через повторне змішування матеріалу та нерівномірність навантаження;
- підвищення ефективності процесу очищення можливе шляхом удосконалення конструкції решета, спрямованого на інтенсифікацію

розшарування зернової суміші та створення раціональних умов проходження частинок у отвори.

2.2. Фізико-механічні властивості зернових матеріалів, що впливають на просіювання.

Ефективність процесу сепарації зернових сумішей на решетах значною мірою визначається фізико-механічними властивостями їх компонентів, які обумовлюють характер руху частинок по робочій поверхні, інтенсивність розшарування шару та ймовірність проходження зерна і домішок у отвори. Врахування цих властивостей є необхідною умовою для побудови адекватної фізичної та математичної моделей процесу просіювання.

До основних геометричних характеристик зернового матеріалу належать довжина, ширина та товщина зернівки, а також її форма. Зерно більшості сільськогосподарських культур має неправильну еліпсоїдну форму, що зумовлює різну орієнтацію частинок при їх русі по решету. Проходження зерна у щілинні отвори можливе лише за умови відповідної орієнтації його найменшого розміру відносно ширини щілини, тому ймовірність просіювання визначається співвідношенням геометричних параметрів зернівки та розмірів отворів.

Важливою характеристикою є гранулометричний склад зернової суміші, який визначає співвідношення між частинками основної культури та домішками різних розмірів. Наявність у суміші значної кількості дрібних домішок сприяє швидшому їх проходженню крізь отвори решета, однак при цьому збільшується ущільнення шару, що може зменшувати інтенсивність просіювання.

Щільність зернівок та домішок впливає на процес розшарування суміші. Більш щільні частинки під дією коливань решета швидше переміщуються у нижні шари, наближаючись до робочої поверхні, що підвищує ймовірність їх контакту з отворами. Частинки меншої щільності залишаються у верхній частині шару і виносяться сходом із решета.

Суттєвий вплив на характер руху зернового матеріалу мають фрикційні властивості, які оцінюються коефіцієнтами тертя ковзання і кочення по поверхні решета. Від величини коефіцієнта тертя залежить швидкість переміщення частинок, товщина шару та тривалість їх перебування на робочій поверхні. Зменшення коефіцієнта тертя призводить до збільшення швидкості руху матеріалу і скорочення часу контакту частинок з отворами, тоді як його збільшення може спричиняти накопичення матеріалу і зниження продуктивності процесу.

Кут природного укусу зернової суміші характеризує її сипкість і здатність до самопливного переміщення. Чим менший кут природного укусу, тим вищою є рухливість матеріалу і тим рівномірніше він розподіляється по поверхні решета. Для вологого та засміченого зерна значення цього кута зростає, що призводить до погіршення умов розшарування та зниження ефективності сепарації.

Вологість зернового матеріалу впливає на його пружно-пластичні властивості, коефіцієнт тертя та схильність до злипання частинок. Зі збільшенням вологості погіршується сипкість суміші, підвищується її зв'язність і зменшується інтенсивність просіювання, що необхідно враховувати при виборі режимів роботи та конструктивних параметрів решета.

Аеродинамічні властивості частинок у даному процесі мають другорядне значення, однак вони визначають попереднє розшарування матеріалу у повітряному потоці і тим самим впливають на навантаження решітного стану та товщину шару, що надходить на просіювання.

Таким чином, фізико-механічні властивості зернової суміші визначають кінематичні параметри руху частинок по решету, умови їх взаємодії з робочою поверхнею та імовірність проходження у просіювальні отвори. Врахування цих параметрів дозволяє обґрунтувати раціональні геометричні розміри щілин, довжину робочої поверхні та режими роботи решета, що забезпечують підвищення ефективності процесу сепарації.

Значення основних фізико-механічних властивостей зерна пшениці та характерних домішок, які найбільш суттєво впливають на процес сепарації на решетах, наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Фізико-механічні властивості зерна пшениці та характерних домішок

№ п/п	Найменування показників	Значення показників		
		основне насіння	дрібні домішки (насіння бур'янів, щупле зерно)	легкі домішки (полова, частинки соломи)
1	Довжина, мм	5,0–7,5	1,5–4,0	5–15
2	Ширина, мм	2,5–3,5	1,0–2,5	1–3
3	Товщина, мм	2,0–3,0	0,8–2,0	0,5–2,0
4	Еквівалентний діаметр, мм	3,0–4,0	1,0–2,5	–
5	Щільність, кг/м ³	1250–1450	900–1200	50–200
6	Об'ємна маса, кг/м ³	730–820	450–650	20–100
7	Коефіцієнт тертя по сталі	0,30–0,45	0,35–0,50	0,40–0,60
8	Кут природного укоосу, град	25–35	30–40	40–55
9	Вологість, %	12–18	12–20	10–18

Наведені дані свідчать про суттєву різницю геометричних розмірів, щільності та фрикційних властивостей компонентів зернової суміші, що створює передумови для їх ефективного розділення на решетах за умови раціонального вибору параметрів отворів і режимів роботи.

2.3. Класифікація та аналіз зерноочисних машин.

Зерноочисні машини призначені для виділення з зернового вороху домішок, що відрізняються від зерна основної культури геометричними розмірами, формою, щільністю, аеродинамічними та фрикційними

властивостями. Конструктивне виконання і технологічна схема цих машин визначаються способом розділення компонентів суміші та вимогами до якості очищення.

За призначенням зерноочисні машини поділяють на машини попереднього, первинного та вторинного очищення, а також на сортувальні машини. Машини попереднього очищення забезпечують видалення великих та легких домішок і працюють при значних подачах матеріалу. Машини первинного очищення виконують основне розділення зернової суміші, а машини вторинного очищення та сортування забезпечують доведення зерна до кондиційних показників чистоти та розділення його на фракції.

За способом розділення компонентів зерноочисні машини поділяють на (табл. 2.2):

- повітряні, в яких розділення здійснюється за аеродинамічними властивостями;
- решітні, що працюють за принципом просіювання матеріалу через отвори;
- повітряно-решітні, у яких поєднується дія повітряного потоку та решіт;
- трієрні, що здійснюють розділення за довжиною частинок;
- комбіновані, в яких послідовно реалізовано декілька способів сепарації.

Найбільш поширеними у сільськогосподарському виробництві є повітряно-решітні машини, які забезпечують достатньо високу продуктивність і якість очищення при відносно простій конструкції та помірних енерговитратах. У таких машинах попереднє розділення матеріалу здійснюється повітряним потоком, після чого зернова суміш надходить на решітний стан, де відбувається її основне розділення за геометричними розмірами.

Аналіз конструкцій сучасних зерноочисних машин показує, що їх технологічні можливості значною мірою визначаються параметрами та режимами роботи решітного стану. Саме на решетах відбувається фракційне розділення матеріалу, формується товщина шару та встановлюється

тривалість перебування частинок у зоні сепарації. Повітряна система при цьому виконує допоміжну функцію, забезпечуючи розвантаження решіт і попереднє розшарування матеріалу.

Основними показниками, що характеризують ефективність роботи зерноочисних машин, є продуктивність, повнота виділення домішок, втрати основної культури з відходами, питома енергоємність процесу та металомісткість конструкції. Порівняльний аналіз машин різних типів дозволяє встановити їх технологічні переваги та недоліки і визначити напрямки удосконалення робочих органів.

Таблиця 2.2

Порівняльна характеристика зерноочисних машин

Тип машини	Спосіб сепарації	Продуктивність	Якість очищення	Енергоємність	Особливості конструкції
1	2	3	4	5	6
Повітряна	За аеродинамічними властивостями	Висока	Низька	Низька	Простота конструкції, відсутність решіт
Решітна	За геометричними розмірами	Середня	Середня	Низька	Основний робочий орган – решето
Повітряно-решітна	Комбінована	Висока	Висока	Середня	Найбільш поширена схема
Трієрна	За довжиною частинок	Низька	Висока	Середня	Використовується для сортування
Комбінована	Багатостадійна	Висока	Дуже висока	Висока	Складна конструкція

Аналіз даних, наведених у таблиці 2.2, показує, що найбільш ефективними за сукупністю показників є повітряно-решітні машини, у яких основне розділення зернової суміші здійснюється на решетах. Саме параметри решітного стану визначають продуктивність машини, повноту виділення домішок та втрати зерна, що свідчить про доцільність удосконалення конструкції решіт як одного з основних напрямів підвищення ефективності процесу очищення.

Найбільш поширеними у зерноочисних агрегатах є повітряно-решітні машини, в яких основне розділення матеріалу здійснюється на решетах. Технологічна ефективність машин значною мірою визначається параметрами та режимами роботи решітного стану. Підвищення продуктивності та якості очищення зерна пов'язане передусім з удосконаленням конструкції решіт, тому подальший аналіз доцільно зосередити на конструкціях решіт зерноочисних машин.

2.4. Конструкції решіт зерноочисних машин.

Решета є основним робочим органом зерноочисних машин, на якому здійснюється розділення зернової суміші за геометричними розмірами частинок. Від конструкції решета, форми та розмірів отворів, характеру його коливального руху і умов переміщення матеріалу по робочій поверхні залежать продуктивність машини, повнота виділення домішок та втрати основної культури.

У сучасних зерноочисних машинах застосовуються різні конструкції решіт, які відрізняються формою робочої поверхні, типом отворів та умовами руху зернового матеріалу. Найбільш поширеними є плоскі, циліндричні та щілинні решета.

Конструктивні особливості решіт визначають кінематику руху зернового матеріалу, товщину шару та ймовірність контакту частинок з отворами, що безпосередньо впливає на ефективність сепарації.

2.4.1. Плоскі решета.

Плоскі решета набули найбільшого поширення у повітряно-решітних зерноочисних машинах завдяки простоті конструкції, зручності виготовлення та експлуатації. Вони являють собою плоскі металеві листи з отворами певної форми, встановлені у решітному стані з можливістю здійснення коливального руху.

Залежно від призначення застосовуються решета з круглими, довгастими або трикутними отворами. Решета з круглими отворами

використовуються для виділення дрібних домішок, тоді як решета з довгастими отворами забезпечують розділення зерна за шириною.

До основних переваг плоских решіт належать:

- простота конструкції та заміни;
- універсальність застосування;
- можливість регулювання режимів роботи.

Разом з тим вони мають суттєві недоліки:

- нерівномірний розподіл зернового матеріалу по довжині;
- повторне змішування розшарованого шару;
- обмежена інтенсивність просіювання.

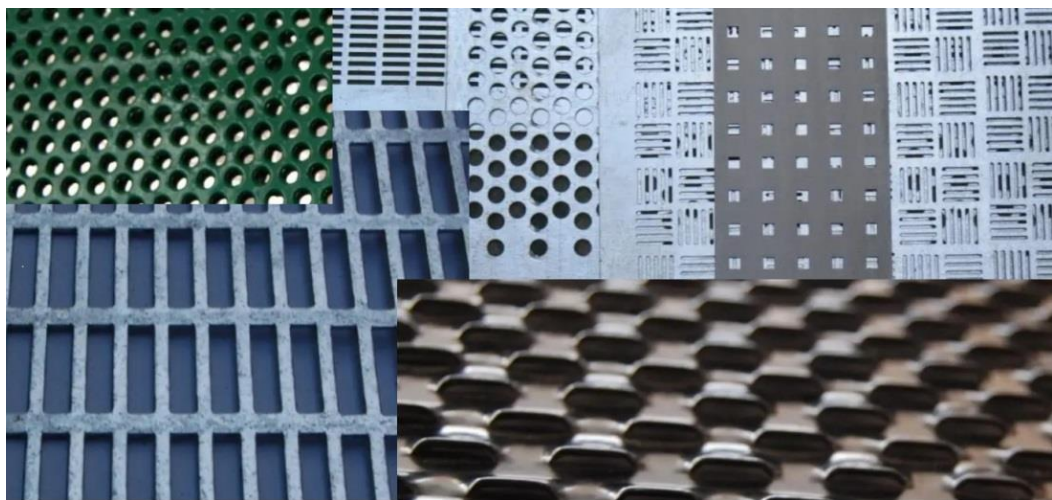


Рисунок 2.1. – Плоскі решета зерноочисних машин

2.4.2. Циліндричні решета.

Циліндричні решета являють собою перфоровані барабани, що обертаються навколо горизонтальної осі. Переміщення зернового матеріалу відбувається за рахунок обертального руху та нахилу барабана.

Перевагами таких решіт є: значна площа робочої поверхні, висока продуктивність, рівномірне перемішування матеріалу.

Недоліками є: збільшені габарити машини, складність конструкції, підвищена металоємність, складність заміни решіт.

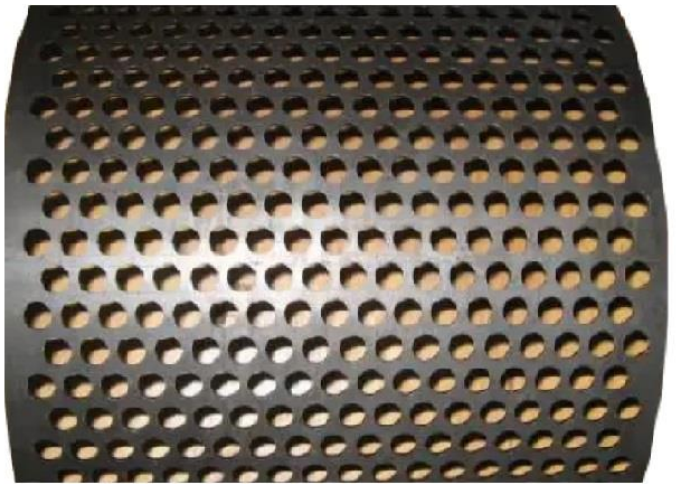
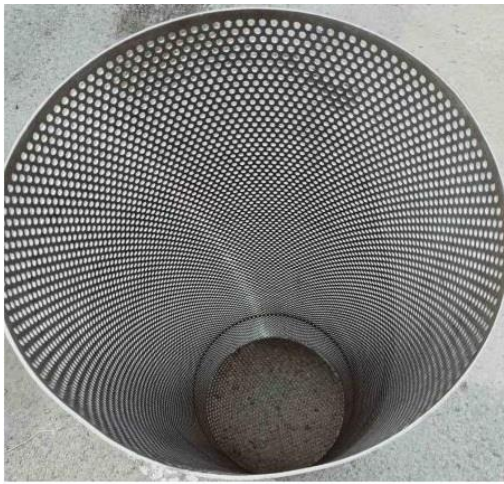


Рисунок 2.2. – Циліндричні решета зерноочисних машин

2.4.3. Щілинні решета.

Щілинні решета застосовуються у зерноочисних машинах для розділення зернових сумішей за товщиною частинок і відрізняються від перфорованих решіт формою отворів та конструкцією робочої поверхні. Вони виконуються у вигляді набору паралельно розташованих стержнів, між якими утворюються отвори щілинної форми. Така конструкція забезпечує проходження частинок, товщина яких менша за ширину отвору, незалежно від їх довжини.

На відміну від решіт з круглими або довгастими отворами, щілинні решета мають більшу відкриту площу робочої поверхні, що сприяє підвищенню інтенсивності сепарації. Крім того, щілинна форма отворів забезпечує кращі умови для проходження зерна при його орієнтації мінімальним розміром до ширини щілини.

За конструктивним виконанням щілинні решета поділяються на:

- решета з круглих або профільних стержнів з постійною шириною отворів;
- – клиноподібні (профільні) решета, в яких отвори розширюються у напрямку руху матеріалу.

Решета з паралельних стержнів є найбільш простими за конструкцією і характеризуються можливістю зміни ширини отворів шляхом встановлення калібрувальних прокладок. Вони мають достатню ремонтпридатність та

забезпечують ефективне виділення дрібних домішок. Разом з тим при збільшенні довжини робочої поверхні виникають коливання стержнів, що призводить до зміни ширини отворів у процесі роботи та зниження якості сепарації.

Клиноподібні щілинні решета виготовляються з профільних стержнів спеціальної форми, що забезпечує розширення отвору у напрямку вниз. Така геометрія зменшує ймовірність їх забивання та сприяє самоочищенню робочої поверхні. Однак подібні решета мають складну технологію виготовлення, фіксовану геометрію отворів і значну вартість, що обмежує можливість їх широкого застосування у зерноочисних машинах.

Аналіз роботи щілинних решіт показує, що ефективність сепарації на них значною мірою визначається умовами розшарування зернової суміші по довжині робочої поверхні. У традиційних конструкціях найбільш інтенсивне проходження частинок у отвори відбувається у початковій зоні решета, тоді як у подальшому товщина шару зменшується, що призводить до зниження ймовірності контакту частинок з отворами.

Крім того, збільшення довжини щілинних решіт з метою підвищення продуктивності обмежується жорсткістю стержнів, оскільки їх коливання викликає нестабільність ширини отворів і порушення технологічного процесу. Це знижує повноту виділення домішок та призводить до втрат зерна з відходами.

Таким чином, незважаючи на ряд переваг, традиційні щілинні решета не забезпечують достатньої інтенсивності розшарування зернової суміші по всій довжині робочої поверхні та стабільності геометричних параметрів отворів у процесі роботи. Це зумовлює необхідність удосконалення їх конструкції шляхом створення таких технічних рішень, які б забезпечували послідовне розділення матеріалу, підвищення ймовірності контакту частинок з отворами та зменшення коливань стержнів.

Щілинні решета забезпечують ефективне розділення зернової суміші за товщиною частинок завдяки збільшеній відкритій площі робочої поверхні.

Основними недоліками традиційних конструкцій є коливання довгих стержнів, нестабільність ширини отворів та зниження інтенсивності сепарації по довжині решета. Збільшення довжини робочої поверхні без підвищення жорсткості конструкції не забезпечує пропорційного зростання продуктивності. Підвищення ефективності процесу сепарації можливе шляхом удосконалення конструкції щілинного решета, спрямованого на інтенсифікацію розшарування зернового матеріалу та стабілізацію геометрії отворів.

2.5. Аналіз існуючих конструкцій щілинних решіт.

Щілинні решета широко застосовуються у машинах для очищення та сортування зернових матеріалів завдяки підвищеній відкритій площі робочої поверхні та можливості розділення суміші за товщиною частинок. Їх конструктивне виконання визначає інтенсивність сепарації, стабільність технологічного процесу та надійність роботи.

Найбільш поширеними є решета, виконані у вигляді набору паралельно розташованих стержнів, між якими утворюються отвори постійної ширини. Зміна розміру отворів у таких конструкціях здійснюється шляхом встановлення калібрувальних прокладок або зміною взаємного розташування стержнів. Простота конструкції та можливість регулювання ширини отворів зумовили їх широке застосування у зерноочисних машинах.

Решето (рис. 2.3) складається з подовжених стержнів 1, що утворюють нескінченні щілини, які розширюються у напрямку руху матеріалу. Між стержнями 1 на передній вісі 2 та задній вісі 5 розміщені змінні калібруючі шайби 6. Подовжні стержні мають ступінчасту форму, при чому кожна наступна ступінь (каскад) II, III має початковий прийнятий розмір щілини, а кінець ступені має кінцевий прийнятий розмір щілини. Для усунення коливання довгі стержні в кінці каскадів жорстко з'єднані між собою вісями 3, 4.

Працює решето так: при падінні на передню частину решета зернова суміш переміщується в напрямку розширення щілин, в цей час випадають спочатку дрібні домішки, потім більші. При переході через каскад завдяки розширенню щілин та деякій вібрації прутків в місці Б інтенсивність розшарування часток зростає і останні падають на II каскад більш розріджено, тому виділення дрібних часток через щілини зростає, підвищуючи продуктивність решета та якість сепарації. Те ж повторюється на третьому каскаді.

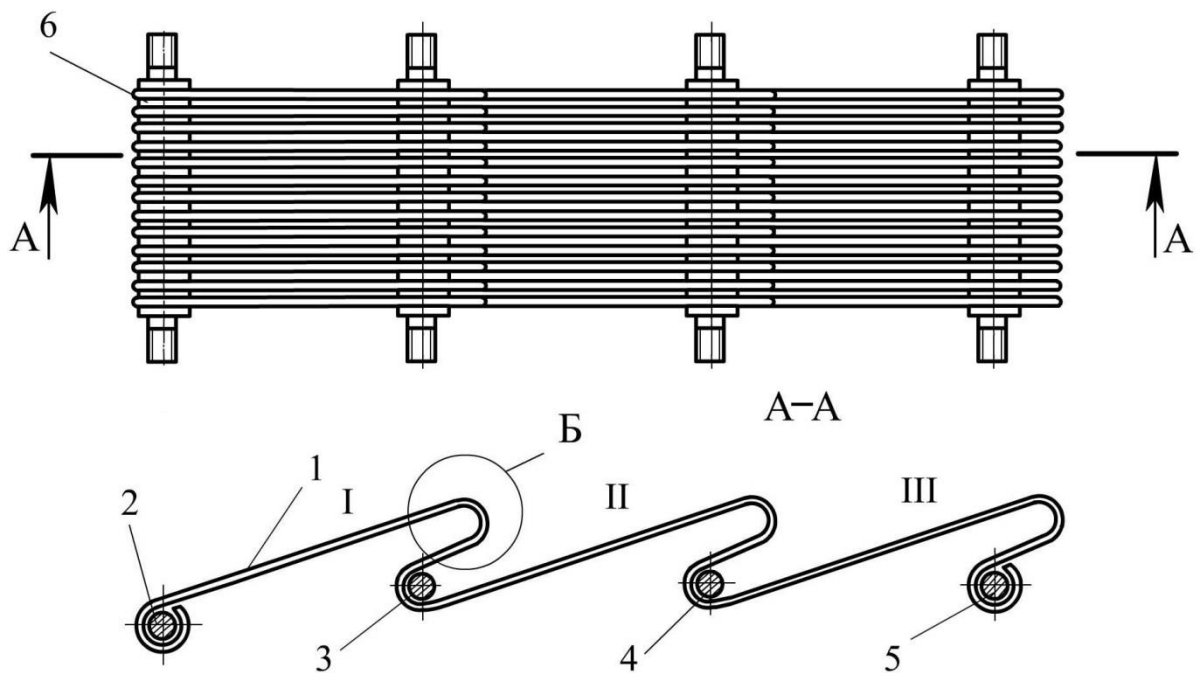


Рисунок 2.3. – Щілинне решето: 1 – подовжені стержні; 2 – передня вісь; 3, 4 – середні вісі; 5 – задня вісь; 6 – змінні калібруючі шайби

Решето (рис. 2.4) складається із декількох каскадів створених повздовжніми стержнями 1, 2, 3 різного діаметру d_1 , d_2 , d_3 зігнутих у кінцевій частині (виноска Б), і скріплених між собою осями 4, 5, 6, 7 з калібруючими шайбами 8, 9, 10, 11. Завдяки тому, що на кожному наступному каскаді діаметр стержнів d_1 , d_2 , d_3 зменшується, відповідно збільшується і ширина щілин a , b , c .

Працює решето наступним чином. Матеріал, що розділяється поступає на перший каскад решета, де його частинки з розмірами меншими розмірів

щілин, проходять крізь них (фракція I), і далі рухається на наступні каскади де виділяються відповідно до розмірів щілин (фракції II, III). Частинки, які не виділилися на решеті, сходять з нього (фракція IV). Під дією ваги оброблюваного матеріалу повздовжні стержні, з яких складається решето, хаотично прогинаються в місці згину *Б*. Завдяки цьому його щілини розширюються в напрямку руху матеріалу і воно самоочищається.

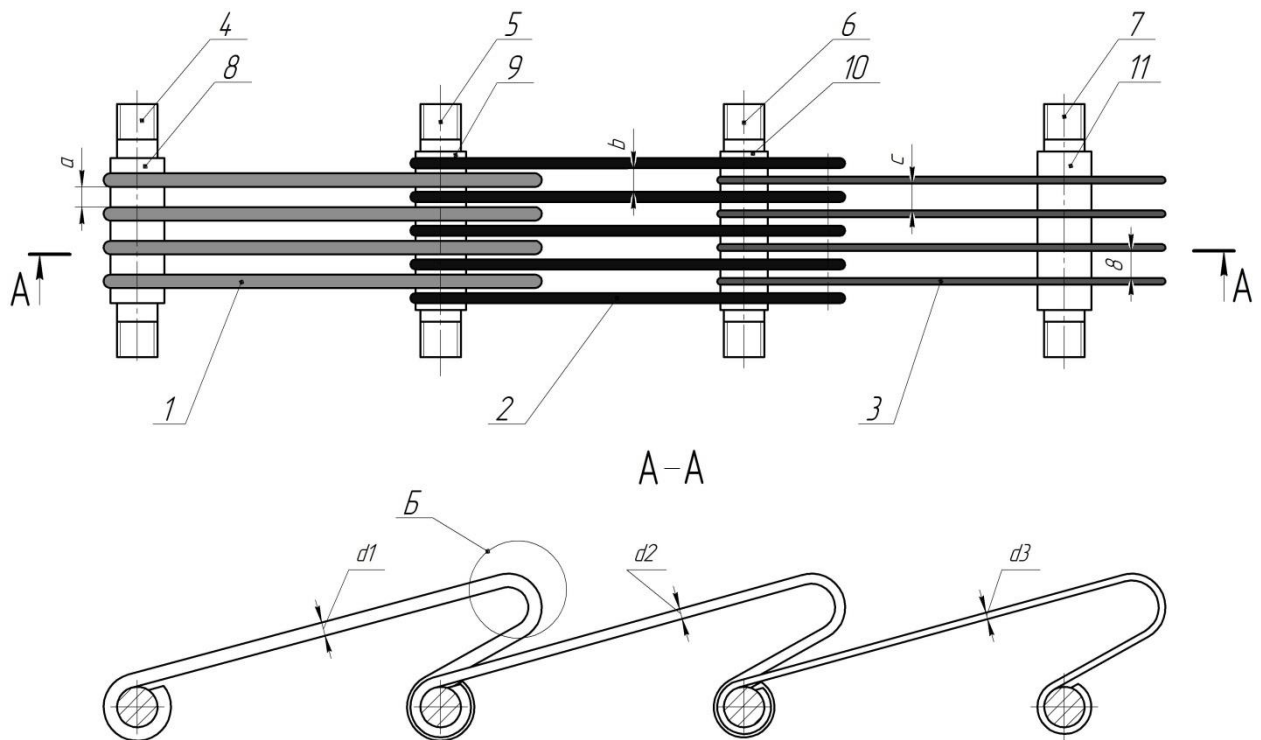


Рисунок 2.4. – Щілинне решето з подовжених стержнів: 1 – подовжені стержні; 2 – передня вісь; 3, 4 – середні вісі; 5 – задня вісь; 6 – змінні калібруючі шайби

Разом з тим подібні решета мають ряд суттєвих недоліків. При збільшенні довжини робочої поверхні з метою підвищення продуктивності виникають коливання довгих стержнів, що призводить до зміни ширини отворів у процесі роботи. Це викликає порушення селективності розділення, зниження повноти виділення домішок та втрати зерна з відходами. Крім того, найбільш інтенсивне проходження частинок у отвори відбувається у початковій частині решета, тоді як у подальшому ефективність процесу знижується внаслідок зменшення товщини шару.

Іншим різновидом є щілинні решета, виготовлені з профільних клиноподібних стержнів. У таких конструкціях отвори розширюються у напрямку руху матеріалу, що сприяє зменшенню їх забивання та покращує умови проходження частинок. Висока жорсткість профільних стержнів забезпечує стабільність геометричних параметрів отворів, однак складність виготовлення та значна вартість обмежують їх використання у зерноочисних машинах сільськогосподарського призначення. Крім того, фіксована геометрія отворів не дозволяє змінювати їх розміри залежно від властивостей зернового матеріалу.

Аналіз існуючих конструкцій показує, що підвищення ефективності щілинних решіт стримується наступними факторами:

- нестабільністю ширини отворів унаслідок коливань довгих стержнів;
- зниженням інтенсивності сепарації по довжині решета;
- обмеженою можливістю збільшення робочої поверхні;
- відсутністю умов для послідовного розділення зернової суміші.

Таблиця 2.3

Порівняльний аналіз щілинних решіт

Конструкція решета	Переваги	Недоліки
З паралельних круглих стержнів	Простота конструкції, можливість регулювання отворів	Коливання стержнів, нестабільність ширини отворів, обмежена довжина
З профільних клиноподібних стержнів	Самоочищення, висока жорсткість, стабільність отворів	Складність виготовлення, висока вартість, фіксована геометрія
Ступінчасті решітні поверхні	Інтенсифікація перемішування матеріалу	Відсутність стабільності отворів, складність конструкції

У зв'язку з цим актуальним є створення такої конструкції щілинного решета, яка б забезпечувала розподіл процесу сепарації на окремі послідовні зони, підвищення інтенсивності розшарування матеріалу після кожної з них

та стабільність геометричних параметрів отворів по всій довжині робочої поверхні.

Існуючі щілинні решета не забезпечують одночасно високої продуктивності, стабільності геометрії отворів та інтенсивного розшарування зернової суміші. Збільшення довжини робочої поверхні традиційних конструкцій обмежується коливаннями стержнів, застосування профільних стержнів підвищує жорсткість конструкції, але ускладнює її виготовлення та регулювання. Підвищення ефективності сепарації можливе шляхом створення каскадного щілинного решета з послідовними зонами розділення та жорсткою фіксацією стержнів.

2.6. Висновки по розділу.

У результаті аналізу технологічного процесу сепарації зернових сумішей та конструкцій робочих органів зерноочисних машин встановлено, що основне розділення матеріалу за геометричними розмірами здійснюється на решетах, від параметрів і режимів роботи яких визначально залежать продуктивність машини, повнота виділення домішок і втрати зерна.

Дослідження фізико-механічних властивостей зернового матеріалу показало, що ефективність проходження частинок у отвори решета визначається їх геометричними розмірами, щільністю, фрикційними властивостями, вологістю та умовами розшарування шару. При цьому інтенсивність сепарації знижується по довжині робочої поверхні внаслідок зменшення товщини шару та ймовірності контакту частинок з отворами.

Аналіз конструкцій зерноочисних машин показав, що найбільш поширеними є повітряно-решітні машини, у яких решітний стан виконує основну функцію фракційного розділення зернової суміші. Конструктивні особливості решіт визначають характер руху матеріалу, товщину шару та тривалість перебування частинок у зоні сепарації.

Встановлено, що плоскі решета характеризуються простотою конструкції та універсальністю застосування, однак не забезпечують

достатньої інтенсивності розшарування зернового матеріалу по всій довжині робочої поверхні. Циліндричні решета мають значну площу сепарації, але відзначаються підвищеною металоємністю та складністю конструкції.

Щілинні решета мають більшу відкриту площу робочої поверхні та забезпечують ефективне розділення зернової суміші за товщиною частинок, проте їх застосування стримується нестабільністю геометричних параметрів отворів при коливанні довгих стержнів, обмеженою довжиною робочої поверхні та зниженням інтенсивності сепарації по її довжині.

Аналіз факторів, що визначають ефективність роботи решета, показав, що підвищення продуктивності процесу можливе за рахунок інтенсифікації розшарування зернового матеріалу, забезпечення багаторазового підходу частинок до отворів та стабілізації їх геометричних параметрів у процесі роботи.

На основі проведеного аналізу як базову прийнято конструкцію щілинного решета, яка має найбільші потенційні можливості щодо підвищення ефективності сепарації зернових сумішей і потребує подальшого теоретичного обґрунтування її конструктивно-технологічних параметрів.

3. НАУКОВА ЧАСТИНА

3.1. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми решета.

Ефективність процесу сепарації зернової суміші на решетах визначається сукупною дією конструктивних, кінематичних та технологічних факторів, які впливають на характер руху матеріалу по робочій поверхні, інтенсивність його розшарування та ймовірність проходження частинок у отвори.

До конструктивних факторів належать геометричні параметри решета: довжина і ширина робочої поверхні, форма та розміри отворів, відкрита площа, кут нахилу решета, а також жорсткість його конструкції. Збільшення довжини решета сприяє підвищенню ймовірності проходження частинок у отвори за рахунок зростання тривалості їх перебування у зоні сепарації. Разом з тим при недостатній жорсткості робочої поверхні це призводить до коливань її елементів, зміни геометрії отворів та порушення стабільності технологічного процесу.

Ширина решета визначає пропускну здатність машини і впливає на товщину шару зернового матеріалу. При надмірному навантаженні товщина шару збільшується, погіршуються умови розшарування та зменшується кількість контактів частинок з отворами. Форма і розміри отворів повинні відповідати геометричним параметрам зерна та домішок, що забезпечує ефективність розділення.

До кінематичних факторів належать частота і амплітуда коливань решета, напрям коливального руху, а також прискорення робочої поверхні. Від цих параметрів залежить швидкість переміщення зернового матеріалу, інтенсивність його перемішування та ступінь розпушення шару. При малих значеннях прискорення матеріал рухається повільно, шар ущільнюється і ефективність сепарації знижується. Надмірне збільшення прискорення призводить до виносу зерна зі сходом без проходження у отвори.

Напрямок коливального руху решета визначає траєкторію переміщення частинок і впливає на тривалість їх контакту з робочою поверхнею. Рациональне поєднання частоти і амплітуди коливань забезпечує оптимальний режим руху матеріалу, при якому досягається максимальна інтенсивність розшарування.

До технологічних факторів належать подача зернового матеріалу, рівномірність його розподілу по ширині решета, товщина шару та фізико-механічні властивості суміші. Зі збільшенням подачі зростає товщина шару, що погіршує умови проходження частинок у отвори. Нерівномірний розподіл матеріалу по ширині решета призводить до локального перевантаження окремих ділянок робочої поверхні та зниження ефективності процесу.

Суттєвий вплив на інтенсивність сепарації має характер розшарування зернової суміші по довжині решета. Найбільш інтенсивне проходження частинок у отвори відбувається у початковій зоні, де товщина шару є максимальною. У подальшому, внаслідок зменшення кількості дрібних фракцій, інтенсивність процесу знижується.

Аналіз наведених факторів показує, що підвищення ефективності роботи решета можливе за рахунок:

- забезпечення рівномірного розподілу зернового матеріалу по всій довжині робочої поверхні;
- інтенсифікації процесу розшарування шару;
- стабілізації геометричних параметрів отворів у процесі роботи;
- створення умов для багаторазового підходу частинок до отворів.

Реалізація зазначених умов потребує удосконалення конструкції решета, спрямованого на послідовне розділення зернової суміші та підвищення ймовірності контакту частинок з отворами по всій довжині робочої поверхні.

Для усунення зазначених недоліків доцільним є застосування конструктивно-технологічної схеми решета, яка забезпечує вирівнювання інтенсивності сепарації зернового матеріалу по довжині робочої поверхні.

Одним із шляхів реалізації такого підходу є використання каскадної конструкції решета, робоча поверхня якого поділена на декілька послідовно розташованих ділянок (каскадів). Кожен каскад характеризується власними геометричними параметрами, що дозволяє регулювати швидкість переміщення матеріалу та тривалість його перебування на робочій поверхні.

Запропоноване решето виконане у вигляді рами, в якій установлені поздовжні стержні, між якими утворені щілини для проходження частинок зернового матеріалу (рис. 3.1).

Робоча поверхня решета поділена на декілька каскадів, розташованих послідовно у напрямку руху зернового матеріалу. Конструктивно каскади виконані різної довжини та встановлені під різними кутами нахилу до горизонталі.

На першому каскаді, куди надходить зерновий матеріал, товщина шару є найбільшою, тому процес просіювання відбувається найбільш інтенсивно. Для забезпечення достатнього часу взаємодії зернового матеріалу з робочою поверхнею наступні каскади виконують більшої довжини. Одночасно кут нахилу кожного наступного каскаду зменшують, що призводить до зниження швидкості переміщення зернового матеріалу по решету. Таким чином компенсується зменшення товщини шару матеріалу та створюються умови для вирівнювання інтенсивності проходження частинок у щілини по довжині робочої поверхні.

Каскади виконані різної довжини, при цьому довжина кожного наступного каскаду більша за довжину попереднього $L_1 < L_2 < L_3$. Каскади встановлені під різними кутами нахилу до горизонталі, причому кут нахилу кожного наступного каскаду менший за кут нахилу попереднього $\alpha_1 > \alpha_2 > \alpha_3$. На кінці кожного каскаду поздовжні стержні закруглені в місці *Б* таким чином, що вони можуть переміщуватися один відносно одного, чим забезпечується самоочищення щілин від часток зерна, що мають розміри близькі до розмірів щілин.

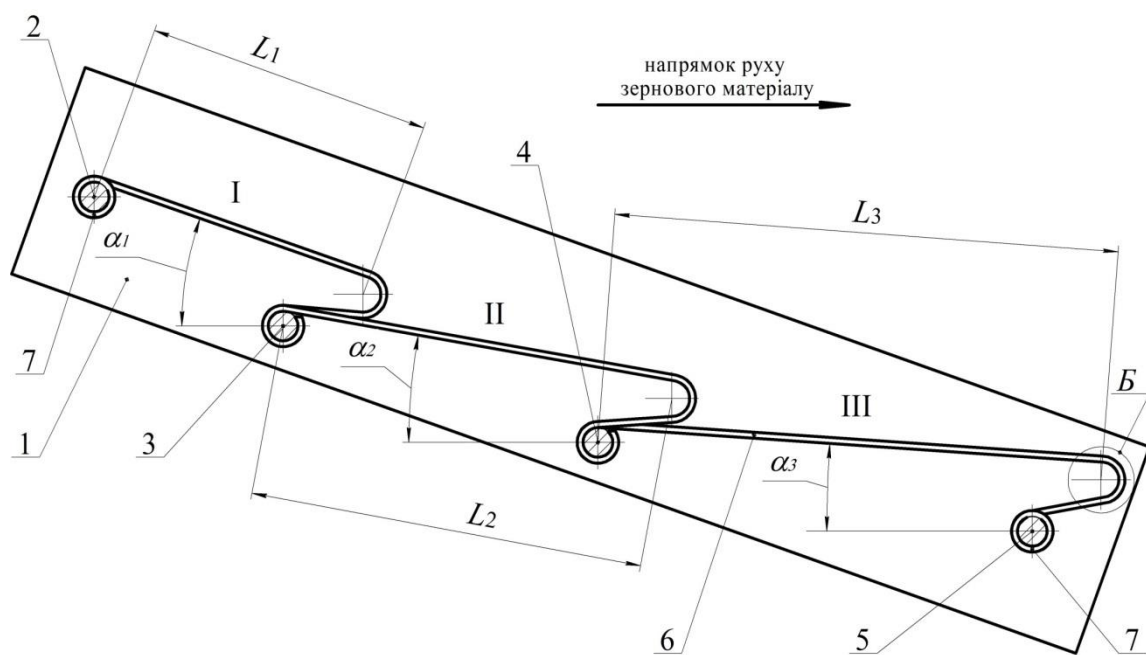
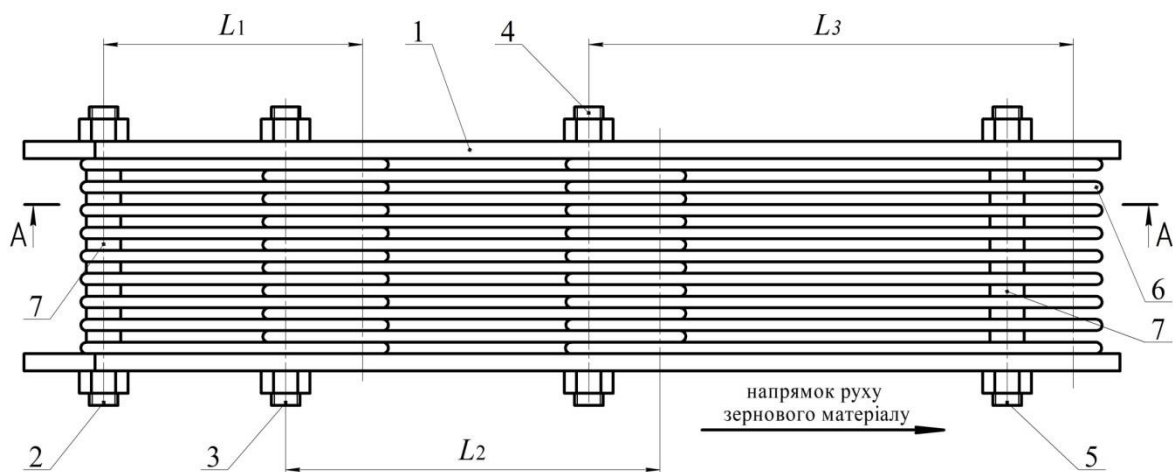


Рисунок 3.1 – Конструктивно-технологічна схема каскадного решета зерноочисної машини: 1 – рама; 2, 3, 4, 5 – поперечні елементи; 6 – поздовжні стержні; 7 – калібрувальні шайби

Зерновий матеріал надходить на перший каскад решета і під дією сили тяжіння переміщується по його поверхні у напрямку наступних каскадів. У процесі руху частинки, розміри яких менші за ширину щілин, проходять через отвори між стержнями, тоді як більші частинки переміщуються далі по робочій поверхні решета.

Застосування каскадної конструкції з різною довжиною ділянок та різними кутами їх нахилу забезпечує більш рівномірний розподіл

інтенсивності сепарації по довжині решета, що сприяє підвищенню продуктивності зерноочисної машини та покращенню якості очищення зернового матеріалу.

3.2. Аналіз руху зернового матеріалу по поверхні решета

Ефективність процесу сепарації зернового матеріалу на решеті значною мірою визначається характером його руху по робочій поверхні. Під час переміщення зернової суміші по решету частинки матеріалу взаємодіють з поверхнею решета та піддаються дії комплексу сил, які визначають швидкість їх руху, тривалість перебування на робочій поверхні та ймовірність проходження крізь щілини.

Розглянемо рух окремої частинки зернового матеріалу по поверхні решета, встановленого під кутом нахилу α до горизонталі (рис. 3.2).

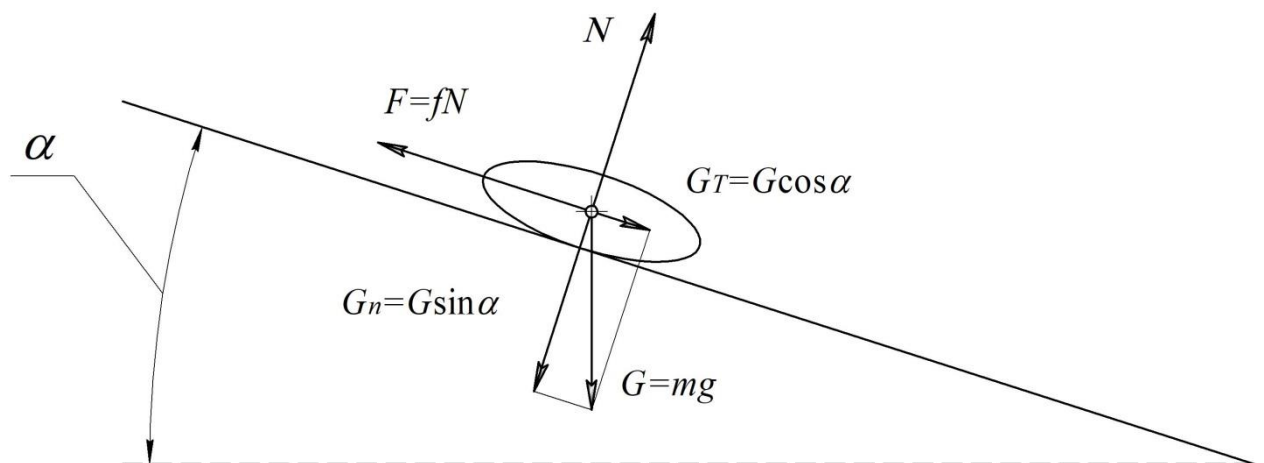


Рисунок 3.2 – Схема сил, що діють на частинку зерна на поверхні решета.

На частинку діють сила тяжіння G , реакція опори N з боку поверхні решета та сила тертя F , яка перешкоджає її переміщенню. Силу тяжіння можна представити у вигляді двох складових: одна діє перпендикулярно до поверхні решета, інша – вздовж його поверхні. Тоді

$$G = mg \quad (3.1)$$

де m – маса частинки зерна, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Складова сили тяжіння, що діє вздовж поверхні решета, визначається залежністю

$$G_T = mg \sin \alpha . \quad (3.2)$$

Складова сили тяжіння, перпендикулярна до поверхні решета

$$G_n = mg \cos \alpha . \quad (3.3)$$

Реакція опори поверхні решета дорівнює

$$N = mg \cos \alpha . \quad (3.4)$$

Сила тертя, що виникає між частинкою зерна і поверхнею решета, визначається за виразом

$$F = f \cdot N = f \cdot mg \cos \alpha , \quad (3.4)$$

де f – коефіцієнт тертя зернового матеріалу по поверхні решета.

Переміщення частинки зерна по поверхні решета починається тоді, коли складова сили тяжіння, що діє вздовж поверхні, перевищує силу тертя. Умова початку руху має вигляд

$$mg \sin \alpha > f \cdot mg \cos \alpha . \quad (3.5)$$

Після перетворення отримуємо умову

$$\operatorname{tg} \alpha > f . \quad (3.6)$$

Таким чином, рух зернового матеріалу по поверхні решета можливий лише за умови, що кут нахилу решета перевищує кут тертя зерна по його поверхні.

Після початку руху частинки зерна її переміщення відбувається під дією результуючої сили, яка визначається різницею між складовою сили тяжіння вздовж поверхні та силою тертя. Відповідно прискорення руху частинки по поверхні решета можна записати у вигляді

$$a = g(\sin \alpha - f \cos \alpha) . \quad (3.7)$$

Якщо припустити, що частинка починає рух із стану спокою та переміщується по ділянці решета довжиною L , її швидкість у кінці цієї ділянки визначається залежністю

$$V = \sqrt{2gL(\sin \alpha - f \cos \alpha)} . \quad (3.8)$$

З наведеного виразу видно, що швидкість переміщення зернового матеріалу по поверхні решета залежить від довжини ділянки решета, кута її нахилу та коефіцієнта тертя між зерном і поверхнею решета.

Аналіз отриманої залежності показує, що зі збільшенням кута нахилу решета швидкість руху зернового матеріалу зростає. Водночас зі зменшенням кута нахилу швидкість переміщення матеріалу зменшується, що призводить до збільшення часу його перебування на робочій поверхні решета та покращує умови для проходження частинок через щілини.

Для наочного аналізу впливу кута нахилу на швидкість переміщення зернового матеріалу побудуємо графік залежності швидкості руху частинок від кута нахилу поверхні решета (рис. 3.3).

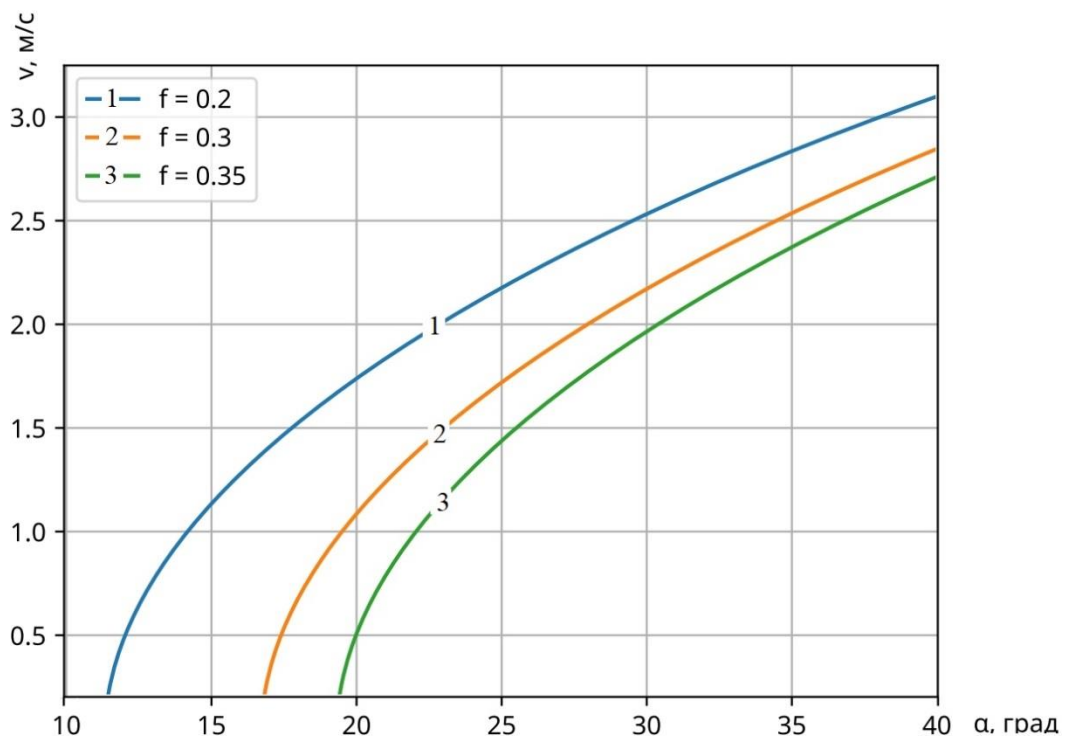


Рисунок 3.3 – Залежність швидкості переміщення зернового матеріалу від кута нахилу поверхні решета

Ця закономірність є важливою для обґрунтування конструкції каскадного решета. Зменшення кута нахилу кожного наступного каскаду дозволяє зменшити швидкість переміщення зернового матеріалу на ділянках решета, де товщина шару матеріалу вже зменшена, і тим самим компенсувати зниження інтенсивності сепарації.

З графіка видно, що коефіцієнт тертя істотно впливає на швидкість переміщення зернового матеріалу по поверхні решета. При збільшенні коефіцієнта тертя зростає кут нахилу поверхні, необхідний для початку руху частинок. Крім того, при однаковому куті нахилу швидкість переміщення матеріалу зменшується зі збільшенням коефіцієнта тертя. Це пояснюється тим, що сила тертя, яка протидіє руху частинок зерна, пропорційна нормальній реакції поверхні решета. Отже, при проектуванні решіт зерноочисних машин необхідно враховувати фізико-механічні властивості зернового матеріалу, зокрема коефіцієнт тертя, оскільки він визначає умови переміщення матеріалу та ефективність процесу сепарації.

3.3. Теоретичне обґрунтування часу перебування зернового матеріалу на каскаді решета.

Одним із основних параметрів, що визначає ефективність процесу сепарації зернового матеріалу на решеті, є час перебування частинок на його робочій поверхні. Чим довше зерновий матеріал контактує з поверхнею решета, тим більшою є ймовірність проходження дрібних частинок через щілини та відокремлення домішок.

Час перебування зернового матеріалу на решеті залежить від швидкості його переміщення по поверхні та довжини ділянки решета. Припустимо, що зерновий матеріал переміщується по поверхні решета зі швидкістю V . Тоді час перебування частинок на ділянці решета довжиною L визначається виразом

$$t = \frac{L}{V}. \quad (3.9)$$

де t – час перебування зернового матеріалу на поверхні решета, с;

L – довжина ділянки решета, м;

V – швидкість переміщення зернового матеріалу, м/с.

Підставивши у цей вираз отриману раніше залежність для швидкості руху частинки по похилій поверхні, одержимо

$$t = \frac{L}{\sqrt{2gL(\sin \alpha - f \cos \alpha)}}. \quad (3.10)$$

З наведеного виразу видно, що час перебування зернового матеріалу на решеті залежить від таких параметрів:

- довжини робочої ділянки решета;
- кута нахилу поверхні;
- коефіцієнта тертя зернового матеріалу по поверхні решета.

Збільшення довжини решета призводить до збільшення часу перебування матеріалу на робочій поверхні. Водночас зі збільшенням кута нахилу решета швидкість переміщення матеріалу зростає, що призводить до зменшення часу контакту частинок з поверхнею решета.

У процесі сепарації зернового матеріалу по довжині решета товщина шару поступово зменшується, оскільки частина частинок проходить через щілини. Унаслідок цього інтенсивність сепарації на наступних ділянках решета знижується. Для компенсації цього явища необхідно збільшувати час перебування матеріалу на наступних ділянках решета. Одним із способів досягнення цього є збільшення довжини наступних каскадів решета.

З урахуванням цього робоча поверхня решета доцільно поділяється на декілька каскадів різної довжини. При цьому довжина кожного наступного каскаду повинна бути більшою за довжину попереднього, що забезпечує збільшення часу перебування зернового матеріалу на відповідних ділянках решета.

Для наочного аналізу впливу довжини ділянки решета на час перебування зернового матеріалу доцільно побудувати графік залежності часу перебування матеріалу від довжини решета (рис. 3.4).

З графіка видно, що зі збільшенням довжини каскаду час перебування зернового матеріалу на решеті зростає. При цьому зі збільшенням кута нахилу поверхні решета швидкість переміщення зернового матеріалу збільшується, що призводить до зменшення часу його перебування на робочій поверхні. Таким чином, для забезпечення достатнього часу сепарації на наступних ділянках решета доцільно збільшувати довжину каскадів та зменшувати кут їх нахилу.

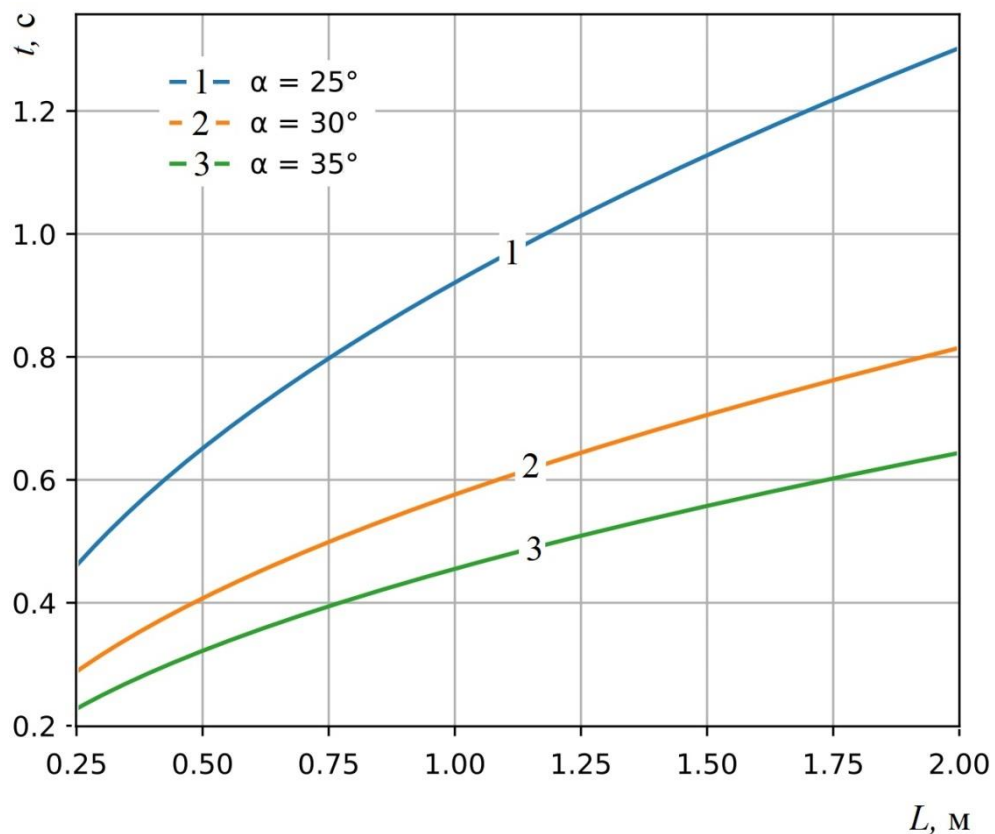


Рисунок 3.4 – Залежність часу перебування зернового матеріалу на решеті від довжини каскаду при різних кутах нахилу поверхні решета

3.4. Обґрунтування довжини каскадів решета.

У процесі сепарації зернового матеріалу на решеті інтенсивність проходження частинок через щілини змінюється по довжині робочої

поверхні. На початковій ділянці решета товщина шару зернового матеріалу є найбільшою, тому кількість частинок, що контактують із поверхнею решета, значна. Унаслідок цього інтенсивність проходження частинок у щілини на початку решета є максимальною.

У міру переміщення зернового матеріалу по поверхні решета частина дрібних частинок проходить через щілини, а шар матеріалу поступово зменшується. Це призводить до зменшення кількості частинок, які взаємодіють з поверхнею решета, і, відповідно, до зниження інтенсивності сепарації.

Таким чином, інтенсивність сепарації зернового матеріалу по довжині решета поступово зменшується. На початковій ділянці решета процес сепарації відбувається найбільш інтенсивно, тоді як на кінцевих ділянках ефективність використання робочої поверхні знижується.

Для наочного представлення цього явища розглянемо зміну інтенсивності сепарації по довжині решета (рис. 3.5).

Інтенсивність сепарації можна характеризувати кількістю частинок, що проходять через щілини решета за одиницю часу. У загальному випадку інтенсивність сепарації залежить від товщини шару зернового матеріалу, швидкості його переміщення по поверхні решета та ймовірності контакту частинок із щілинами.

Унаслідок зменшення товщини шару зернового матеріалу по довжині решета інтенсивність сепарації поступово зменшується, що призводить до нерівномірного використання робочої поверхні решета.

Для підвищення ефективності роботи решета доцільно застосувати каскадну конструкцію робочої поверхні, при якій решето поділяється на декілька послідовно розташованих каскадів. При цьому довжина кожного наступного каскаду повинна бути більшою за довжину попереднього.

Збільшення довжини наступних каскадів дозволяє збільшити час перебування зернового матеріалу на ділянках решета, де товщина шару вже зменшена. У результаті цього компенсується зниження інтенсивності

сепарації і забезпечується більш рівномірне використання робочої поверхні решета.

Таким чином, раціональним є виконання каскадного решета з умовою

$$L_1 < L_2 < L_3, \quad (3.11)$$

де L_1 , L_2 , L_3 – довжини відповідно першого, другого та третього каскадів решета.

Запропоноване збільшення довжини каскадів дозволяє забезпечити більш рівномірну інтенсивність сепарації по довжині решета та підвищити ефективність процесу очищення зернового матеріалу.

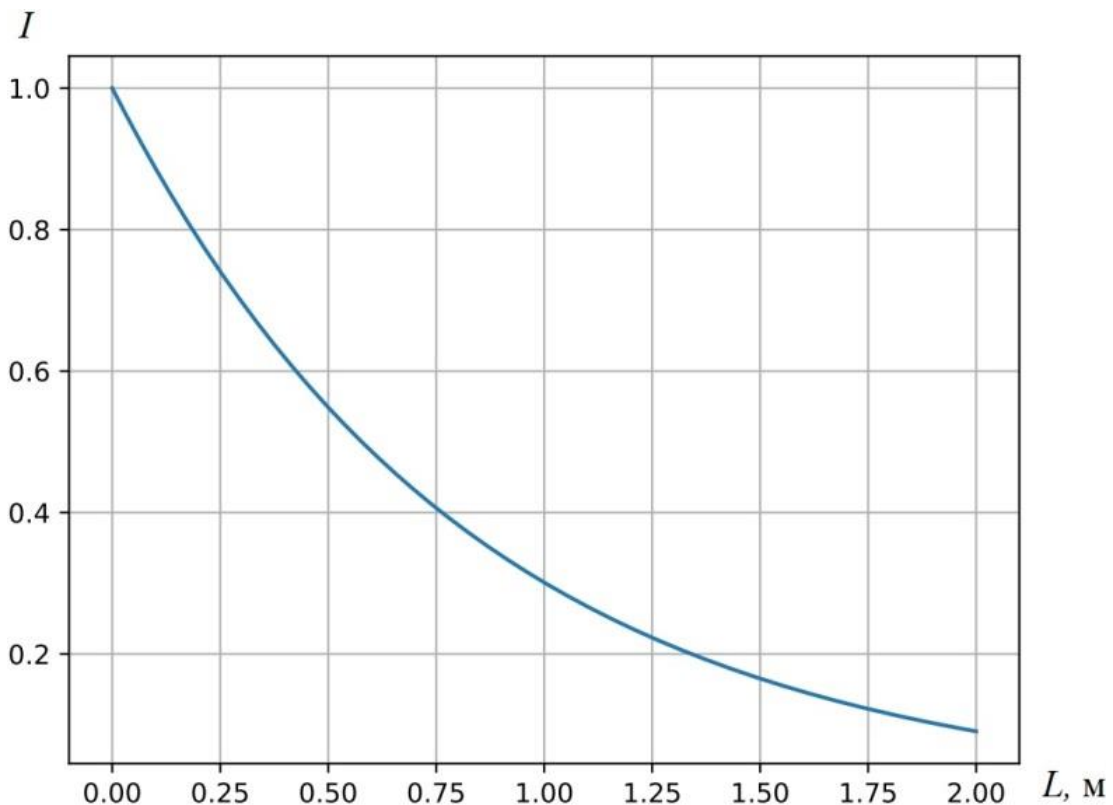


Рис. 3.5 – Зміна інтенсивності сепарації зернового матеріалу по довжині решета

З графіка видно, що інтенсивність сепарації зернового матеріалу на початковій ділянці решета є найбільшою. У міру переміщення матеріалу по робочій поверхні товщина шару зернової суміші зменшується, що призводить до поступового зниження інтенсивності проходження частинок

через щілини. Це зумовлює нерівномірне використання робочої поверхні решета та обґрунтовує необхідність збільшення довжини наступних каскадів.

3.5. Обґрунтування кутів нахилу каскадів решета

Одним із важливих конструктивних параметрів решета зерноочисної машини є кут нахилу робочої поверхні до горизонталі. Кут нахилу решета визначає швидкість переміщення зернового матеріалу по його поверхні та, відповідно, час перебування частинок на робочій поверхні.

Після перетворення (3.10) одержимо

$$t = \sqrt{\frac{L}{2g(\sin \alpha - f \cos \alpha)}}. \quad (3.12)$$

З наведеної залежності видно, що час перебування зернового матеріалу на решеті залежить від:

- довжини робочої ділянки решета;
- кута нахилу поверхні;
- коефіцієнта тертя зернового матеріалу.

Зі збільшенням кута нахилу поверхні решета значення виразу $(\sin \alpha - f \cos \alpha)$ зростає, що призводить до збільшення швидкості переміщення зернового матеріалу та зменшення часу його перебування на робочій поверхні.

Інтенсивність процесу сепарації безпосередньо пов'язана з часом перебування зернового матеріалу на решеті. У найпростішому випадку її можна представити у вигляді пропорційної залежності

$$I \approx t. \quad (3.12)$$

або

$$I \approx \sqrt{\frac{L}{2g(\sin \alpha - f \cos \alpha)}} \quad (3.13)$$

Таким чином, зі збільшенням кута нахилу поверхні решета інтенсивність сепарації зменшується внаслідок скорочення часу контакту зернового матеріалу з робочою поверхнею. На першому каскаді решета товщина шару зернового матеріалу є найбільшою, тому процес сепарації відбувається інтенсивно навіть при відносно великому куті нахилу поверхні. У міру переміщення матеріалу по решету частина зернових частинок проходить через щілини, унаслідок чого товщина шару матеріалу поступово зменшується. Це призводить до зменшення кількості частинок, що взаємодіють з робочою поверхнею решета.

Для компенсації цього явища на наступних ділянках решета необхідно збільшувати час перебування зернового матеріалу на робочій поверхні. Досягти цього можна шляхом зменшення кута нахилу відповідних каскадів. На рис. 3.6 показано вплив кута нахилу каскаду на час перебування зернового матеріалу на поверхні решета при різних значеннях довжини каскаду.

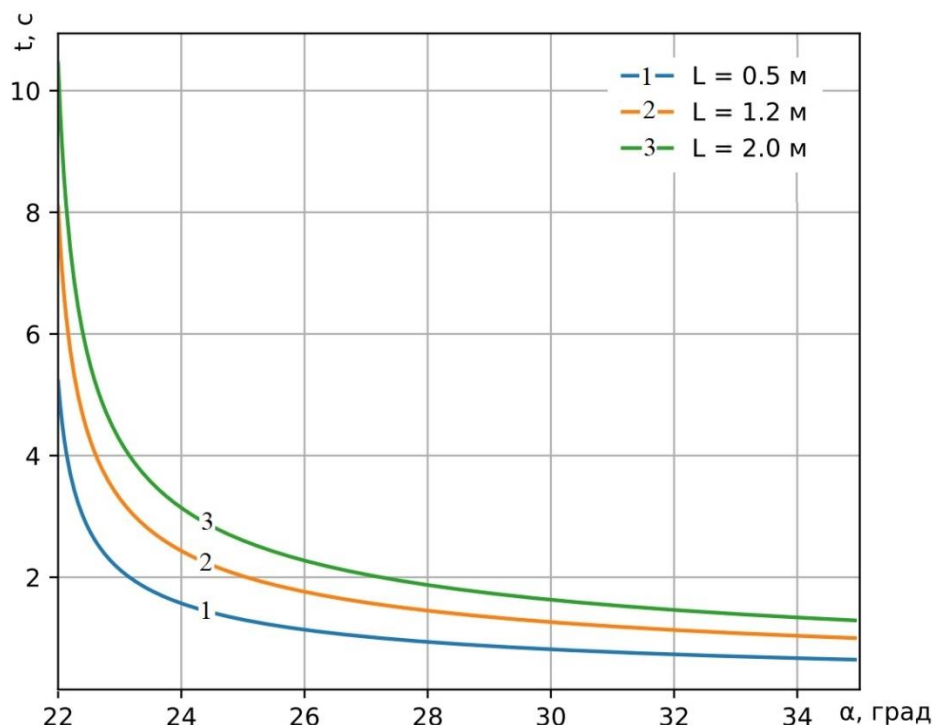


Рис. 3.6 – Вплив кута нахилу каскаду на час перебування зернового матеріалу на решеті

З графіка видно, що зі збільшенням кута нахилу поверхні решета час перебування зернового матеріалу на робочій поверхні зменшується. При цьому для довших каскадів час перебування матеріалу є більшим.

З урахуванням отриманих залежностей раціональним є виконання каскадного решета таким чином, щоб кут нахилу кожного наступного каскаду був меншим за кут нахилу попереднього. У цьому випадку забезпечується зменшення швидкості переміщення зернового матеріалу та збільшення часу його перебування на наступних ділянках решета.

Таким чином, раціональна конструкція каскадного решета повинна задовольняти умову $\alpha_1 > \alpha_2 > \alpha_3$, де α_1 , α_2 , α_3 – кути нахилу відповідно першого, другого та третього каскадів решета.

3.6. Визначення раціональних параметрів каскадного решета

У попередніх підрозділах розділу було проведено теоретичний аналіз процесу переміщення зернового матеріалу по поверхні решета та досліджено вплив основних конструктивних параметрів на ефективність процесу сепарації.

У підрозділі 3.2 встановлено, що швидкість переміщення зернового матеріалу по поверхні решета визначається кутом нахилу робочої поверхні та коефіцієнтом тертя зернового матеріалу. При збільшенні кута нахилу поверхні швидкість переміщення зернового матеріалу зростає.

У підрозділі 3.3 показано, що час перебування зернового матеріалу на робочій поверхні решета залежить від швидкості його переміщення та довжини ділянки решета. Зі збільшенням довжини решета час перебування зернового матеріалу на його поверхні збільшується.

У підрозділі 3.4 встановлено, що інтенсивність сепарації зернового матеріалу по довжині решета поступово зменшується внаслідок зменшення товщини шару зернової суміші. Для компенсації цього явища доцільно збільшувати довжину наступних каскадів решета.

У підрозділі 3.5 показано, що зменшення кута нахилу поверхні решета призводить до зменшення швидкості переміщення зернового матеріалу та збільшення часу його перебування на робочій поверхні.

З урахуванням отриманих залежностей раціональним є виконання робочої поверхні решета у вигляді декількох послідовно розташованих каскадів різної довжини та з різними кутами нахилу.

З урахуванням результатів проведеного аналізу та конструктивних особливостей зерноочисних машин можна рекомендувати такі орієнтовні значення параметрів каскадного решета:

- довжина першого каскаду $L_1 = 0,5...0,7$ м;
- довжина другого каскаду $L_2 = 0,9...1,2$ м;
- довжина третього каскаду $L_3 = 1,3...1,6$ м.

Кути нахилу каскадів до горизонталі можуть бути прийняті в таких межах:

- для першого каскаду $\alpha_1 = 28...32^\circ$;
- для другого каскаду $\alpha_2 = 24...28^\circ$;
- для третього каскаду $\alpha_3 = 20...24^\circ$.

Застосування каскадного решета з такими параметрами дозволяє забезпечити більш рівномірний розподіл інтенсивності сепарації по довжині робочої поверхні, збільшити час перебування зернового матеріалу на решеті та підвищити ефективність процесу очищення зерна.

3.7. Висновки по розділу.

В розділі проведено теоретичний аналіз руху зернового матеріалу по похилій поверхні решета. Встановлено, що швидкість переміщення частинок визначається кутом нахилу робочої поверхні та коефіцієнтом тертя зернового матеріалу.

Отримано аналітичні залежності для визначення швидкості переміщення та часу перебування зернового матеріалу на робочій поверхні

решета. Показано, що зі збільшенням кута нахилу поверхні швидкість переміщення зернового матеріалу зростає, а час його перебування на решеті зменшується.

Досліджено зміну інтенсивності сепарації зернового матеріалу по довжині решета. Встановлено, що інтенсивність сепарації є найбільшою на початковій ділянці решета та поступово зменшується в напрямку руху зернового матеріалу внаслідок зменшення товщини шару зернової суміші.

Обґрунтовано доцільність застосування каскадної конструкції решета, при якій робоча поверхня поділяється на декілька послідовно розташованих каскадів.

Встановлено, що для забезпечення більш рівномірного використання робочої поверхні решета довжина кожного наступного каскаду повинна бути більшою за довжину попереднього, тобто повинна виконуватися умова $L_1 < L_2 < L_3$. Показано, що для збільшення часу перебування зернового матеріалу на наступних ділянках решета доцільно зменшувати кут нахилу каскадів, унаслідок чого повинна виконуватися умова $\alpha_1 > \alpha_2 > \alpha_3$.

На основі проведених теоретичних досліджень визначено раціональні параметри каскадного решета зерноочисної машини, які забезпечують більш рівномірну інтенсивність сепарації по довжині решета та підвищення ефективності процесу очищення зернового матеріалу.

4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Вихідні дані для розрахунку решета.

Розрахунок параметрів каскадного решета зерноочисної машини виконується на основі результатів теоретичних досліджень, проведених у розділі 3, а також з урахуванням фізико-механічних властивостей зернового матеріалу.

Об'єктом очищення є зерно пшениці. Основні фізико-механічні властивості зернового матеріалу та технологічні параметри процесу сепарації приймаються за довідковими даними та літературними джерелами. Продуктивність зерноочисної машини приймаємо рівною $Q = 25$ т/год. Для виконання подальших розрахунків продуктивність переводимо у одиниці масової витрати $Q = 25/3600 = 6,94$ кг/с.

При визначенні параметрів решета приймається, що очищення зернового матеріалу здійснюється на щілинному решеті з поздовжніми стержнями. Рух зернового матеріалу відбувається по похилій поверхні решета під дією сили тяжіння.

Фізико-механічні властивості зерна пшениці та параметри шару зернового матеріалу приймаються такими:

- насипна густина зерна пшениці – $\rho = 750$ кг/м³;
- коефіцієнт тертя зерна по металевій поверхні решета $f = 0,35$;
- середня товщина шару зернового матеріалу на решеті $h = 0,02$ м;
- прискорення вільного падіння $g = 9,81$ м/с².

Кути нахилу каскадів решета приймаються відповідно до результатів теоретичного обґрунтування, виконаного у розділі 3: $\alpha_1 = 30^\circ$, $\alpha_2 = 26^\circ$, $\alpha_3 = 30^\circ$. Для подальших розрахунків усі вихідні дані зведемо у таблицю 4.1.

Наведені вихідні дані використовуються для подальшого визначення геометричних параметрів решета, розрахунку його продуктивності та обґрунтування основних конструктивних характеристик.

Вихідні дані для розрахунку решета

№ п/п	Найменування параметрів	Розмірність	Позначення	Значення
1	Продуктивність машини	т/год	Q	25
2	Масова витрата зерна	кг/с	Q	6.94
3	Насипна густина зерна	кг/м ³	ρ	750
4	Коефіцієнт тертя зерна		f	0.35
5	Товщина шару зерна	м	h	0.02
6	Прискорення вільного падіння	м/с ²	g	9,81
7	Кут нахилу 1-го каскаду	град	α_1	30°
8	Кут нахилу 2-го каскаду	град	α_2	26°
9	Кут нахилу 3-го каскаду	град	α_3	22°

4.2. Визначення геометричних параметрів каскадного решета.

Одним із основних етапів проектування каскадного решета зерноочисної машини є визначення його геометричних параметрів. До основних геометричних параметрів решета належать ширина робочої поверхні, загальна довжина решета, а також довжини окремих каскадів.

Ширина решета визначається з умови забезпечення необхідної продуктивності машини. При цьому враховується товщина шару зернового матеріалу на поверхні решета, швидкість його переміщення та насипна густина зернової суміші.

Площа робочої поверхні решета визначається за формулою

$$F = B \cdot L, \quad (4.1)$$

де F – площа решета, м²;

B – ширина решета, м;

L – довжина решета, м.

Для забезпечення заданої продуктивності машини приймемо ширину решета $B=1,2$ м.

Відповідно до результатів теоретичних досліджень, виконаних у розділі 3, робочу поверхню решета доцільно виконувати у вигляді декількох каскадів різної довжини. При цьому довжина кожного наступного каскаду повинна бути більшою за довжину попереднього.

Прийmemo довжини каскадів решета такими: $L_1 = 0,6$ м, $L_2 = 1,0$ м, $L_3 = 1,4$ м.

Загальна довжина решета визначається як сума довжин окремих каскадів

$$L = L_1 + L_2 + L_3. \quad (4.2)$$

Підставляючи прийняті значення, отримаємо

$$L = 0,6 + 1,0 + 1,4 = 3,0 \text{ м.}$$

Таким чином, загальна довжина решета становить $L = 3,0$ м.

Площа робочої поверхні решета дорівнює

$$F = 1,2 \cdot 3,0 = 3,6 \text{ м}^2.$$

Отже, площа робочої поверхні каскадного решета становить $F = 3,6 \text{ м}^2$.

Кути нахилу каскадів приймаються відповідно до результатів теоретичного обґрунтування, виконаного у розділі 3. Для забезпечення поступового зменшення швидкості переміщення зернового матеріалу по поверхні решета приймаємо такі значення кутів нахилу: $\alpha_1 = 30^\circ$, $\alpha_2 = 26^\circ$, $\alpha_3 = 30^\circ$.

Зменшення кута нахилу наступних каскадів дозволяє збільшити час перебування зернового матеріалу на робочій поверхні решета та підвищити ефективність процесу сепарації.

Отримані геометричні параметри решета використовуються для подальшого розрахунку його продуктивності та визначення параметрів щілин.

4.3. Перевірка продуктивності решета

Продуктивність решета зерноочисної машини визначається кількістю зернового матеріалу, що переміщується по його робочій поверхні за одиницю часу. Вона залежить від ширини решета, товщини шару зернового матеріалу, швидкості його переміщення та насипної густини зерна.

Для каскадного решета, робоча поверхня якого складається з трьох ділянок різної довжини та з різними кутами нахилу, доцільно визначати не швидкість руху на окремому каскаді, а середню швидкість переміщення зернового матеріалу по всьому решету.

Теоретична продуктивність решета визначається за залежністю

$$Q = B \cdot h \cdot V_{cp} \cdot \rho, \quad (4.3)$$

де Q – продуктивність решета, кг/с;

B – ширина решета, м;

h – товщина шару зернового матеріалу на решеті, м;

V_{cp} – середня швидкість переміщення зернового матеріалу по решету, м/с;

ρ – насипна густина зернового матеріалу, кг/м³.

У реальних умовах роботи зерноочисної машини робоча поверхня решета використовується не повністю внаслідок нерівномірного розподілу зернового матеріалу по ширині, зміни товщини шару, а також можливих локальних перевантажень. Тому розрахункову продуктивність доцільно визначати з урахуванням коефіцієнта використання робочої поверхні

$$Q = B \cdot h \cdot V_{cp} \cdot \rho \cdot k_B, \quad (4.4)$$

де k_B – коефіцієнт використання робочої поверхні решета.

Для зерноочисних машин прийmemo $k_B = 0,6$.

Час проходження зернового матеріалу по кожному каскаду можна визначити за залежністю

$$t_i = \sqrt{\frac{2L_i}{g(\sin \alpha_i - f \cos \alpha_i)}}, \quad (4.5)$$

де t_i – час проходження i -го каскаду, с;

L_i – довжина i -го каскаду, м;

α_i – кут нахилу i -го каскаду;

f – коефіцієнт тертя зернового матеріалу по поверхні решета.

Для першого каскаду $L_1 = 0,6$ м, $\alpha_1 = 30^\circ$.

$$t_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,6}{9,81 \cdot (\sin 30^\circ - 0,35 \cos 30^\circ)}} = 0,79 \text{ с.}$$

Для другого каскаду $L_2 = 1,0$ м, $\alpha_2 = 26^\circ$.

$$t_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,0}{9,81 \cdot (\sin 26^\circ - 0,35 \cos 26^\circ)}} = 1,28 \text{ с.}$$

Для третього каскаду $L_3 = 1,4$ м, $\alpha_3 = 22^\circ$.

$$t_3 = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,4}{9,81 \cdot (\sin 22^\circ - 0,35 \cos 22^\circ)}} = 2,37 \text{ с.}$$

Загальний час проходження зернового матеріалу по всій робочій поверхні решета становить

$$t_{\Sigma} = t_1 + t_2 + t_3. \quad (4.6)$$

$$t_{\Sigma} = 0,79 + 1,28 + 2,37 = 4,44 \text{ с.}$$

Визначення середньої швидкості переміщення зернового матеріалу.
Загальна довжина решета

$$L = 0,6 + 1,0 + 1,4 = 3,0 \text{ м.}$$

Середня швидкість переміщення зернового матеріалу по всій робочій поверхні решета визначається за формулою

$$V_{cp} = \frac{L}{t_{\Sigma}}. \quad (4.6)$$

$$V_{cp} = \frac{3,0}{4,44} = 0,68 \text{ м/с}$$

Визначення продуктивності решета. Підставляємо отримане значення середньої швидкості та вихідні дані у формулу продуктивності

$$Q_p = 1,2 \cdot 0,02 \cdot 0,68 \cdot 750 \cdot 0,6 = 7,34 \text{ кг/с}$$

Переведемо отримане значення у тонни за годину

$$Q_p = 7,34 \cdot 3,6 = 26,4 \text{ т/год.}$$

Отримана продуктивність каскадного решета становить $Q_p = 26,4 \text{ т/год}$, що дещо перевищує задану продуктивність зерноочисної машини $Q_p = 25 \text{ т/год}$.

Це свідчить про те, що прийняті геометричні параметри решета забезпечують необхідну пропускну здатність і можуть бути прийняті для подальшого конструктивного опрацювання.

Для перевірки продуктивності каскадного решета доцільно використовувати середню швидкість переміщення зернового матеріалу по всій робочій поверхні. Загальний час проходження зернового матеріалу по решету становить $t_{\Sigma} = 4,44 \text{ с}$, середня швидкість переміщення зернового матеріалу становить $V_{cp} = 0,68 \text{ м/с}$, розрахункова продуктивність каскадного решета дорівнює $Q_p = 26,4 \text{ т/год}$, що відповідає заданій продуктивності машини 25 т/год .

4.4. Розрахунок параметрів щілин решета

Одним із головних конструктивних параметрів щілинного решета є ширина щілин між поздовжніми стержнями, оскільки саме вона визначає умови проходження частинок зернового матеріалу та домішок через робочу

поверхню решета. Крім того, важливими параметрами є крок розміщення стержнів, кількість щілин по ширині решета та коефіцієнт живого перерізу.

Ширину щілин решета вибирають з урахуванням геометричних розмірів зерна пшениці та домішок. Оскільки процес очищення повинен забезпечувати проходження дрібних домішок і затримування основного зерна, ширина щілин має бути меншою за товщину зернівки пшениці, але більшою за характерні розміри дрібних домішок.

Середня товщина зерна пшениці знаходиться в межах 2.5...3.2 мм, тому для щілинного решета приймемо ширину щілини $b = 2,2$ мм.

Така ширина щілин забезпечує виділення дрібних домішок та щуплого зерна при збереженні основної фракції зернового матеріалу.

Поздовжні стержні решета утворюють щілини і сприймають навантаження від шару зернового матеріалу, тому їх ширина повинна забезпечувати необхідну жорсткість конструкції. Приймемо товщину стержня $a = 3,8$ мм.

Тоді крок розміщення стержнів становитиме

$$t = a + b, \quad (4.7)$$

де t – крок стержнів, мм;

a – товщина стержня, мм;

b – ширина щілини, мм.

Підставляючи прийняті значення, отримаємо

$$t = 3,8 + 2,2 = 6,0 \text{ мм.}$$

Таким чином, крок розміщення стержнів дорівнює $t = 6,0$ мм.

Кількість щілин по ширині решета визначається за формулою

$$n = \frac{B}{t}, \quad (4.8)$$

де n – кількість щілин;

B – ширина решета, мм;

t – крок стержнів, мм.

Ширина решета, прийнята в підрозділі 4.2, становить

$$B = 1,2 \text{ м} = 1200 \text{ мм.}$$

Тоді

$$n = \frac{1200}{6,0} = 200.$$

Отже, по ширині решета може бути розміщено $n = 200$ щілин.

Сумарна ширина всіх щілин решета визначається як

$$B_0 = n \cdot b, \quad (4.9)$$

де B_0 – сумарна ширина щілин, мм.

Підставимо значення

$$B_0 = 200 \cdot 2,2 = 440 \text{ мм.}$$

Отже, сумарна ширина щілин дорівнює $B_0 = 440$ мм.

Площа відкритої частини решета, тобто сумарна площа щілин, визначається за формулою

$$F_0 = B_0 \cdot L, \quad (4.10)$$

де F_0 – площа щілин решета, мм²;

B_0 – сумарна ширина щілин, мм;

L – довжина решета, мм.

Довжина решета $L = 3000 \text{ мм} = 3,0 \text{ м}$.

Тоді

$$F_0 = 440 \cdot 3000 = 1320000 \text{ мм}^2.$$

Переведемо у квадратні метри

$$F_0 = 1,32 \text{ м}^2.$$

Коефіцієнт живого перерізу характеризує частку відкритої площі щілин у загальній площі решета і визначається за формулою

$$\varphi = \frac{F_0}{F}, \quad (4.11)$$

де φ – коефіцієнт живого перерізу;

F_0 – площа щілин решета, м²;

F – загальна площа решета, м².

З підрозділу 4.2 маємо $F = 3,6$ м².

Тоді

$$\varphi = \frac{1,32}{3,6} = 0,367.$$

Отже, коефіцієнт живого перерізу решета становить $\varphi = 0,367$.

Отримане значення відповідає вимогам до щілинних решіт зерноочисних машин і забезпечує достатню площу відкритих отворів для ефективного проходження дрібних домішок.

Отримані результати свідчать про те, що при ширині щілин $b = 2,2$ мм і кроці стержнів $t = 6,0$ мм забезпечується необхідне співвідношення між відкритою та закритою частинами робочої поверхні решета. З одного боку, це дозволяє створити достатню площу щілин для проходження дрібних частинок, а з іншого – забезпечити достатню жорсткість робочої поверхні решета.

Коефіцієнт живого перерізу $\varphi = 0,367$ свідчить про те, що близько 36,7% площі решета становить відкрита частина, через яку може проходити зерновий матеріал та домішки. Таке значення є прийнятним для щілинних решіт і підтверджує доцільність прийнятих параметрів.

4.5. Розрахунок навантаження на стержні решета

Поздовжні стержні щілинного решета є основними несучими елементами робочої поверхні, які сприймають навантаження від шару

зернового матеріалу. Тому при проектуванні решета необхідно перевірити стержні на міцність і жорсткість.

Розрахунок виконаємо, приймаючи, що поздовжній стержень являє собою балку, яка спирається на поперечні елементи каскаду та навантажена рівномірно розподіленим навантаженням від шару зернового матеріалу.

Навантаження на стержні решета створюється шаром зернового матеріалу товщиною h , що знаходиться на його поверхні. Інтенсивність рівномірно розподіленого навантаження визначається за залежністю

$$q = \rho g h, \quad (4.12)$$

де q – інтенсивність навантаження від шару зернового матеріалу, Н/м²;

ρ – насипна густина зерна, кг/м³;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

h – товщина шару зернового матеріалу, м.

Підставляючи прийняті раніше значення $\rho = 750$ кг/м³; $g = 9,81$ м/с²;
 $h = 0,2$ м одержимо

$$q = 750 \cdot 9,81 \cdot 0,02 = 147,15 \text{ Н/м}^2.$$

Отже, інтенсивність навантаження від шару зернового матеріалу становить $q = 147,15$ Н/м².

Оскільки навантаження сприймається окремими стержнями, необхідно визначити лінійне навантаження, яке діє на один стержень. Для цього врахуємо крок розміщення стержнів

$$t = 6,0 \text{ мм.}$$

Тоді лінійне навантаження на один стержень становитиме

$$q_1 = q \cdot t. \quad (4.13)$$

$$q_1 = 147,15 \cdot 0,006 = 0,883 \text{ Н/м.}$$

Отже, на один стержень діє рівномірно розподілене навантаження

$$q = 750 \cdot 9,81 \cdot 0,02 = 147,15 \text{ Н/м}^2.$$

Розглянемо стержень як балку, що в межах одного каскаду спирається на поперечні елементи. Для найбільш небезпечного випадку приймемо, що найбільша довжина вільної ділянки відповідає третьому каскаду

$$L_3 = 1,4 \text{ м.}$$

Максимальний вигинальний момент для балки, навантаженої рівномірно розподіленим навантаженням, визначається за формулою

$$M_{\max} = \frac{q_1 L^2}{8}, \quad (4.14)$$

де $M_{\max}$ – максимальний вигинальний момент, Н·м;

q_1 – лінійне навантаження на стержень, Н/м;

L – довжина вільної ділянки стержня, м.

Підставляючи значення, отримаємо

$$M_{\max} = \frac{0,883 \cdot 1,4^2}{8} = 0,216 \text{ Н·м.}$$

Приймемо, що стержні мають прямокутний переріз шириною $a = 3,8$ мм, і товщиною $\delta = 2,0$ мм.

Для прямокутного перерізу момент опору визначається за формулою

$$W = \frac{a \delta^2}{6}, \quad (4.15)$$

де W – момент опору перерізу, мм³.

Підставимо значення

$$W = \frac{3,8 \cdot 2,0^2}{6} = 2,53 \text{ мм}^3.$$

Переведемо вигинальний момент у Н·мм:

$$M_{\max} = 0,216 \text{ Н·м} = 216 \text{ Н·мм.}$$

Тоді напруження вигину становить

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W}. \quad (4.16)$$

$$\sigma = \frac{216}{2,53} = 85,4 \text{ МПа.}$$

Для сталевих стержнів допустиме напруження можна прийняти

$$[\sigma] = 160 \text{ МПа.}$$

Умова міцності має вигляд

$$\sigma \leq [\sigma].$$

Підставляючи значення, отримаємо

$$85,4 \leq 160.$$

Отже, умова міцності виконується.

Для балки, навантаженої рівномірно розподіленим навантаженням, максимальний прогин визначається за формулою

$$f_{\max} = \frac{5 \cdot q_1 \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I}, \quad (4.17)$$

де $f_{\max}$ – максимальний прогин, м;

E – модуль пружності матеріалу, Па;

I – момент інерції перерізу, м⁴.

Для сталі

$$E = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Па.}$$

Момент інерції прямокутного перерізу стержня

$$I = \frac{a \cdot \delta^3}{12}. \quad (4.18)$$

Підставимо значення

$$I = \frac{3,8 \cdot 2,0^3}{12} = 2,53 \text{ мм}^4.$$

Тоді

$$f_{\max} = \frac{5 \cdot 0,883 \cdot 1,4^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 2,53 \cdot 10^{-12}} = 0,083 \text{ мм}.$$

Отже, прогин стержня є незначним і не впливатиме суттєво на стабільність ширини щілин.

Отримані результати показують, що при прийнятих геометричних параметрах стержнів і навантаженні від шару зернового матеріалу напруження вигину не перевищує допустимого значення, а прогин стержня є незначним.

Це свідчить про те, що стержні решета забезпечують достатню міцність і жорсткість, а прийняті параметри конструкції можуть бути рекомендовані для подальшого використання.

4.6. Висновки по розділу.

У розділі виконано розрахунково-конструкторське обґрунтування параметрів каскадного щілинного решета зерноочисної машини. На основі результатів теоретичних досліджень, наведених у розділі 3, а також прийнятих вихідних даних визначено основні геометричні параметри решета, параметри щілин та виконано перевірку міцності його елементів.

У підрозділі 4.2 визначено геометричні параметри каскадного решета. Прийнято ширину решета $b = 1,2$ м та загальну довжину решета $L = 3,0$ м. Робочу поверхню решета поділено на три каскади довжиною $L_1 = 0,6$ м, $L_2 = 1,0$ м та $L_3 = 1,4$ м. Кути нахилу каскадів прийнято відповідно $\alpha_1 = 30^\circ$, $\alpha_2 = 26^\circ$, $\alpha_3 = 22^\circ$, що забезпечує поступове зменшення швидкості переміщення зернового матеріалу по поверхні решета та збільшення часу його перебування на наступних каскадах.

У підрозділі 4.3 виконано перевірку продуктивності решета. Встановлено, що середня швидкість переміщення зернового матеріалу по робочій поверхні становить $V_{cp} = 0,68$ м/с, а розрахункова продуктивність каскадного решета дорівнює $Q = 26,4$ т/год, що відповідає заданій продуктивності зерноочисної машини $Q = 25$ т/год.

У підрозділі 4.4 визначено параметри щілин решета. Ширина щілин прийнята рівною $b = 2,2$ мм, ширина поздовжніх стержнів – $a = 3,8$ мм, а крок їх розміщення становить $t = 6,0$ мм. Кількість щілин по ширині решета дорівнює $n = 200$, а коефіцієнт живого перерізу решета становить $\varphi = 0,367$, що відповідає вимогам до щілинних решіт зерноочисних машин.

У підрозділі 4.5 виконано розрахунок навантаження на поздовжні стержні решета. Встановлено, що максимальне напруження вигину у стержнях становить $\sigma = 85,4$ МПа, що не перевищує допустимого напруження для сталевих елементів. Максимальний прогин стержня становить $f_{max} = 0,083$ мм і не впливає на стабільність ширини щілин.

Отримані результати свідчать про те, що прийняті конструктивні параметри каскадного щілинного решета забезпечують необхідну продуктивність зерноочисної машини, достатню міцність елементів конструкції та ефективні умови сепарації зернового матеріалу.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів під час роботи зерноочисних машин.

Зерноочисні машини широко застосовуються у зерноочисних відділеннях елеваторів, зерноскладах, а також у господарствах під час післязбиральної обробки зерна. Робота таких машин супроводжується рядом небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що можуть негативно впливати на обслуговуючий персонал.

До основних небезпечних та шкідливих виробничих факторів під час роботи зерноочисних машин належать:

- наявність рухомих частин машин (приводні механізми, транспортери, коливальні механізми решіт);
- підвищений рівень шуму та вібрації;
- утворення пилу під час очищення зернового матеріалу;
- можливість травмування обслуговуючого персоналу при обслуговуванні обладнання;
- електрична небезпека від електроприводів машин;
- небезпека пожежі та вибуху зернового пилу.

Особливу небезпеку становлять відкриті рухомі елементи механізмів, які можуть спричинити захоплення одягу або частин тіла працівника. Тому всі рухомі частини машин повинні бути надійно огорожені.

Значну небезпеку становить також зерновий пил, який утворюється під час транспортування та очищення зерна. Тривале перебування у запиленому середовищі може призводити до захворювань органів дихання.

5.2. Вимоги безпеки до конструкції зерноочисних машин.

Безпечна експлуатація зерноочисних машин забезпечується правильним конструюванням обладнання та дотриманням вимог нормативних документів з охорони праці.

Конструкція зерноочисної машини повинна відповідати таким основним вимогам безпеки:

- всі рухомі частини машин повинні бути огорожені захисними кожухами;
- привідні механізми повинні бути закриті суцільними або сітчастими огороженнями;
- машини повинні мати пристрої аварійного зупинення;
- електрообладнання повинно мати захисне заземлення;
- повинні бути передбачені зручні та безпечні місця для технічного обслуговування.

Огороження повинні виключати можливість випадкового контакту людини з небезпечними зонами машин. Вони повинні бути міцними, надійно закріпленими та легко зніматися для виконання ремонтних робіт.

При конструюванні решітних станів зерноочисних машин необхідно забезпечити можливість їх очищення та заміни без демонтажу інших елементів машини.

5.3. Заходи щодо зниження запиленості робочої зони.

Під час роботи зерноочисних машин у повітрі робочої зони утворюється значна кількість пилу. Основними джерелами пилу є процеси переміщення зерна, просіювання на решетах та транспортування зернового матеріалу.

Для зниження запиленості робочої зони застосовуються такі заходи:

- герметизація корпусів зерноочисних машин;
- застосування аспіраційних систем;
- використання пиловловлюючих пристроїв;
- регулярне очищення виробничих приміщень від пилу.

Аспіраційні системи дозволяють відсмоктувати пил із робочої зони машин і транспортувати його до пиловловлювачів. Це значно покращує санітарно-гігієнічні умови праці.

Допустима концентрація зернового пилу у повітрі робочої зони повинна відповідати вимогам чинних санітарних норм.

5.4. Заходи щодо зниження шуму та вібрації.

Під час роботи зерноочисних машин виникають шум і вібрації, що можуть негативно впливати на працівників. Основними джерелами шуму є:

- робота приводних механізмів;
- коливальні рухи решіт;
- рух зернового матеріалу по металевих поверхнях.

Для зниження рівня шуму застосовуються такі заходи:

- встановлення обладнання на віброізолюючих опорах;
- використання шумопоглинаючих матеріалів;
- балансування рухомих частин машин;
- регулярне технічне обслуговування обладнання.

При необхідності працівники повинні використовувати індивідуальні засоби захисту органів слуху.

5.5. Висновки по розділу.

В розділі визначено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори під час роботи зерноочисних машин, розглянуто вимоги безпеки до конструкції зерноочисного обладнання, запропоновано заходи щодо зниження запиленості робочої зони, розглянуто методи зниження шуму та вібрації, визначено основні вимоги пожежної безпеки, наведено вимоги до інструктажу та навчання працівників з охорони праці.

6. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В роботі проведено аналіз технологічного процесу сепарації зернових сумішей та встановлено, що ефективність очищення зерна значною мірою визначається конструкцією решета, параметрами його робочої поверхні та умовами руху зернового матеріалу.

Дослідження фізико-механічних властивостей зернового матеріалу показало, що на процес просіювання істотно впливають геометричні розміри зернівок, щільність, коефіцієнт тертя та кут природного укусу. Ці параметри визначають характер руху частинок по поверхні решета та ймовірність їх проходження у щілини.

Аналіз існуючих конструкцій щілинних решіт показав, що їх основними недоліками є коливання довгих стержнів, нестабільність ширини щілин та зниження інтенсивності сепарації по довжині робочої поверхні.

Запропоновано конструктивно-технологічну схему каскадного щілинного решета, робоча поверхня якого поділена на декілька послідовних каскадів різної довжини, встановлених під різними кутами нахилу до горизонталі. Така конструкція забезпечує більш рівномірний розподіл інтенсивності сепарації по довжині решета.

Отримано аналітичні залежності, що описують рух частинок зернового матеріалу по поверхні решета, та встановлено умови початку їх переміщення. Визначено, що швидкість руху зернового матеріалу залежить від кута нахилу поверхні решета, коефіцієнта тертя та довжини робочої ділянки.

Теоретично обґрунтовано залежність часу перебування зернового матеріалу на решеті від довжини каскадів та кута нахилу їх поверхні. Показано, що збільшення довжини наступних каскадів і зменшення кута їх нахилу дозволяє компенсувати зменшення товщини шару матеріалу та підвищити ефективність сепарації.

Виконано інженерні розрахунки параметрів каскадного решета зерноочисної машини продуктивністю 25 т/год, визначено раціональні значення довжини каскадів, кутів нахилу поверхні та параметрів щілин.

Розроблена конструкція решета забезпечує підвищення інтенсивності розшарування зернового матеріалу, стабільність геометричних параметрів щілин та покращення умов проходження частинок через отвори, що сприяє підвищенню продуктивності та якості очищення зернових сумішей.

Розроблено заходи з охорони праці при експлуатації зерноочисної машини, спрямовані на зниження впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Войтюк Д.Г., Барановський В.М., Булгаков В.М. та ін. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку. За ред. Д.Г. Войтюка. Київ: Вища освіта, 2005. 464 с.
2. Гапоненко В.С., Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини. 6-е вид., перероб. і допов. Київ: Урожай, 1992. 448 с.
3. Зінченко О.І. Салатенко В.Н., Білоножко М.А. Рослинництво: Підручник. За ред. О.І. Зінченка. Київ: Аграрна освіта, 2001. 591 с.
4. Ільчук М.М., Зрібняк Л.Я., Мельник С.І. Організація і планування сільськогосподарського виробництва: Підручник. Київ: Вища освіта, 2013. 535с.
5. Комаристов В.Ю., Петренко М.М., Косінов М.М. Сільськогосподарські машини. Київ: Урожай, 1996. 240 с.
6. Кошук О.Б., Лузан П.Г., Мося І.А. та ін. Сільськогосподарські і меліоративні машини. Київ: ПТТО НАПН України, 2015. 291 с.
7. Лихочвор В.В. Рослинництво: технології вирощування сільськогосподарських культур. Київ: Центр навчальної літератури, 2004. 808 с.
8. Лузан П.Г., Лузан О.Р. Напрями вдосконалення технічного забезпечення для раціонального використання земельних ресурсів. Раціональне використання ресурсів в умовах екологічно стабільних територій: колективна монографія. Полтава: ТОВ НВП «Укрпромторгсервіс», 2018. С.28-36.
9. Основи сталого розвитку аграрного сектора: Досвід та знання Франції, Чеської республіки, України. За заг. ред. Я. Сансебе, Т.М. Димань. Біла Церква: ТОВ «Офсет», 2010. 304 с.
10. Шмат С.І., Лузан П.Г. Ресурсозберігаючі технології вирощування сільськогосподарських культур. Механізація та електрифікація сільського господарства: Міжвідомчий тематичний наук. зб. Глевах: ННЦ «ІМЕСГ», 2010. Вип. 94. С. 126-133.
11. Шмат С.І., Лузан П.Г., Колісник С.В. Ресурсозберігаючі технології вирощування сільськогосподарських культур. Техніка в сільськогоспо-

- дарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць. Кіровоград: 2010, Вип. 23, С. 303-309.
12. Лузан П.Г., Шмат С.І. Шляхи зниження енергоємності сепарації зерна. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Кіровоград: КДТУ, 2003. Вип. 32. С. 35-40.
13. Лузан П.Г., Шмат С.І. Вдосконалення решета з щілинами непостійного розміру та методика визначення їх параметрів. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Кіровоград: КНТУ, 2007. Вип. 37. С 271-280.
14. Основи сталого розвитку аграрного сектора: Досвід та знання Франції, Чеської республіки, України. За заг. ред. Я. Сансебе, Т.М. Димань. Біла Церква: ТОВ «Офсет», 2010. 304 с.
15. Петренко М.М. та ін. Науково-технологічні основи очисного та сушильного зернового обладнання, що працює в стані псевдо зрідження: Монографія. Кіровоград: СПД ФО Лисенко В.Ф. 2013, 212 с.
16. Ігнат'єв М.П., Лузан К.П., Лузан П.Г. Аналіз процесу сепарації та обґрунтування конструкції конусного решета. Збірник праць молодих науковців КНТУ. Вип. 2, червень 2013 р.
17. Сало В.М., Лузан П.Г., Богатирьов Д.В. Наукові основи сепарації зерна на решетах з клиноподібною формою отворів. Монографія. Кіровоград: СПД ФО Лисенко В.Ф., 2013. 148 с.
18. Прохватилов В.А., Лузан П.Г. Визначення умов проходження часток через решето з отворами непостійного розміру. Зб. тез доповідей Всеукраїнської студентської наук.-практ. конф. “Досягнення та перспективи галузі сільськогосподарського виробництва”. Кіровоград: КНТУ, 2014. С. 31-34.
19. Лузан П.Г., Лукянченко А.О. Теоретичне обґрунтування процесу сепарації зерна на решетах. Зб. тез доповідей Всеукраїнської студентської наук.-практ. конф. “Досягнення та перспективи галузі сільськогосподарського виробництва”. Кіровоград: КНТУ, 2014. С. 17-20.

20. Лузан П.Г., Лузан О.Р., Петренко Д.І. Обґрунтування параметрів решета для сепарації зерна. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Кіровоград: КНТУ, 2016. Вип. 29. С. 46–53.
21. Лузан П.Г. Лузан, О.Р. Постернак В.П. Вдосконалення конструкції решета зерноочисної машини. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Досягнення та перспективи галузі виробництва, переробки і зберігання сільськогосподарської продукції». Кропивницький, 10-12 квітня 2019 р. С. 40-42.
22. Лузан П.Г. та ін. Обґрунтування параметрів решета з щілинами непостійного розміру. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Кіровоград: ЦНТУ, 2019. Вип. 49. [DOI: https://doi.org/10.32515/2414-3820.2019.49.147-154](https://doi.org/10.32515/2414-3820.2019.49.147-154).
23. Лузан П.Г., Кісільов Р.В., Лузан О.Р., Кислун О.А. Теоретичні аспекти розділення зерна на решеті інерційно-гравітаційного сепаратора. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Кропивницький: ЦНТУ, 2021. Вип. 51. С. 95-103. URL: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/11898>, DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2021.51.95-103>.
24. Лузан П.Г., Лузан О.Р., Чучупака О.С. Можливі напрями вдосконалення решіт зерноочисних машин. The XVII International Scientific and Practical Conference «Science, theory and ways to improve methods», May 01-03, London, Great Britain. С. 13-16. URL: <https://eu-conf.com/events/science-theory-and-ways-to-improve-methods/>
25. Лузан П.Г., Грінчук А.Є., Лузан О.Р. Напрями удосконалення решет зерноочисних машин. The XIII International Scientific and Practical Conference "Social ways of training specialists in the social sphere and inclusive education", April 01-03, 2024, Prague, Czech Republic. Р. 21-24. URL: <https://eu-conf.com/en/events/social-ways-of-training-specialists-in-the-social-sphere-and-inclusive-education>

26. Лузан П.Г., Грінчук А.Є., Кісільов Р.В., Лузан О.Р. Теоретичне обґрунтування параметрів пруткового самоочисного решета. конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Випуск 54. 2024. С. 93-105. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2024.54.93-105>
27. Vasylovskyi O., Vasylovska K., Luzan P., Korol S. (2025). Analysis of the energy performance of a centrifugal pneumatic sieve separator / Аналіз енергоефективності пневморешітного сепаратора. INMATEH - Agricultural Engineering, 77(3). 1414-1422. DOI: <https://doi.org/10.35633/inmateh-77-113>

Додатки