

Центральноукраїнський національний технічний університет
Агротехнічний факультет
Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

“ _____ ” _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:

"Модернізація зерноочисної машини
з удосконаленням конструкції решета"

Виконав здобувач вищої освіти IV курсу,
групи ГМ-22-1

ОПП «Галузеве машинобудування»

спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

_____ Сорокун Олександр Олександрович

« _____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ 2026 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет агротехнічний

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

Освітньо-професійна програма «Галузеве машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« ____ » _____ 2026 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

_____ Сорокун Олександр Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи _____
«Модернізація зерноочисної машини з удосконаленням конструкції решета»

2. Керівник кваліфікаційної роботи _____

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

3. Строк подання роботи до захисту _____

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою роботи є модернізація зерноочисної машини шляхом удосконалення конструкції решета на основі запропонованого каскадного стержньового решета зі змінною шириною щілин для підвищення ефективності очищення та фракційного розділення зернового матеріалу.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі основні завдання:

- виконати аналіз базової зерноочисної машини та обґрунтувати необхідність модернізації її решітної частини розглянути існуючі конструкції решіт зерноочисних машин, їх переваги та недоліки;
- обґрунтувати основні параметри удосконаленого решета та визначити особливості його роботи в складі машини;
- виконати необхідні технологічні, силові, енергетичні та розрахунки на міцність модернізованого вузла;
- оцінити очікувані переваги від впровадження удосконаленої конструкції

5. Перелік графічного матеріалу 1. Машина зерноочисна МЗС-25 – ф. А1.

2. Решітна частина – ф. А1. 3. Щокovina – ф. А3х4. 4. Решето – ф. А3.

5. Деталювання – ф. А1

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прим.
1.	Складання технічного завдання на виконання роботи	до 12.04.2026 р.	
2.	Техніко-економічне обґрунтування проблеми вдосконалення запропонованої машини	до 08.05.2026 р.	
3.	Підготовка та подання керівнику роботи: - стан питання про машину, яке підлягає модернізації; - конструкторської частини; - вступу та загальних висновків.	до 01.06.2026 р. до 01.06.2026 р. до 05.06.2026 р.	
4.	Доопрацювання кваліфікаційної роботи з урахуванням зауважень керівника. Одержання відгуку	до 10.06.2026 р.	
5.	Перевірка роботи на плагіат	за 10 днів до захисту	
6.	Проходження нормо-контролю	за 8 робочих днів до захисту	
7.	Подання роботи завідувачу кафедри на перевірку	за 6 робочих днів до захисту	
8.	Доопрацювання роботи з урахуванням зауважень завідувача кафедри. Допуск роботи до захисту	за 3 робочі дні до захисту	
9.	Рецензування кваліфікаційної роботи. Підготовка документів, що подаються до ЕК	за 2 робочі дні до захисту	
10.	Подання кваліфікаційної роботи та документів до ЕК	за день до захисту	
11.	Захист кваліфікаційної роботи	за графіком кафедри	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2026 р.

Підпис керівника _____

_____ (прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2026 р.

Підпис здобувача _____

Олександр СОРОКУН

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У роботі виконано аналіз конструкції та технологічного процесу роботи зерноочисної машини, розглянуто існуючі конструкції решіт зерноочисних машин, їх переваги та недоліки. Обґрунтовано необхідність модернізації решітної системи машини з метою підвищення ефективності сепарації зернової суміші.

Запропоновано конструкцію каскадного стержньового решета, у якому робоча поверхня утворена набором повздовжніх стержнів різного діаметра, між якими формуються щілини, що розширюються у напрямку руху зернового матеріалу. Така конструкція забезпечує покращення умов проходження частинок через решето, зменшує ймовірність забивання щілин та підвищує пропускну здатність робочого органа.

зерноочисна машина, решітна система, стержньове решето, каскадне решето

ABSTRACT

The paper analyzes the design and technological process of the grain cleaning machine. Existing designs of sieves used in grain cleaning machines, their advantages and disadvantages are considered. The necessity of modernizing the sieve system of the machine in order to increase the efficiency of grain mixture separation is substantiated.

A design of a cascade rod sieve is proposed, in which the working surface is formed by a set of longitudinal rods of different diameters, between which slots are formed that expand in the direction of grain material movement. Such a design improves the conditions for particle passage through the sieve, reduces the probability of slot clogging and increases the throughput capacity of the working element.

grain cleaning machine, sieve system, rod sieve, cascade sieve

ЗМІСТ

1. ВСТУП	Стор. 5
2. СТАН ПИТАННЯ ПРО МАШИНУ, ЯКА ПІДЛЯГАЄ МОДЕРНІЗАЦІЇ	7
2.1. Призначення, будова і технологічний процес роботи зерноочисної машини МЗС-25	7
2.2. Аналіз існуючих конструкцій решіт зерноочисних машин	10
2.3. Аналіз решітної системи базової машини МЗС-25 та її недоліки	12
2.4. Агротехнічні вимоги до процесу очищення зерна	15
2.5. Вплив параметрів решета на ефективність сепарації зернової суміші	16
2.6. Висновки по розділу	18
3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	20
3.1. Обґрунтування конструкції модернізованого решета	20
3.2. Технологічні розрахунки модернізованого решета	23
3.3. Кінематичний аналіз руху зернової суміші по решету	25
3.4. Силовий аналіз роботи модернізованого решета	27
3.5. Розрахунок живого перерізу та пропускної здатності каскадного решета	30
3.6. Розрахунок руху зернової суміші по поверхні каскадного решета	34
3.7 Розрахунок коливального режиму решітного стану	37
3.8. Розрахунок стержнів каскадного решета на міцність	38
3.9. Висновки по розділу	41
4 ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	44
Додатки	48

1. ВСТУП

Післязбиральна обробка зерна є однією з ключових ланок технологічного процесу виробництва зернової продукції. Від своєчасності та якості очищення зернового вороху залежать умови його подальшого транспортування, сушіння, зберігання та переробки. Наявність у зерновій масі домішок, полови, битого зерна, насіння бур'янів та інших небажаних включень знижує товарну якість продукції, ускладнює роботу транспортно-технологічного обладнання, підвищує енерговитрати на сушіння та може призводити до втрат під час зберігання. Саме тому удосконалення технічних засобів первинного очищення зерна є актуальним завданням сучасного агропромислового виробництва.

Ефективність роботи зерноочисної машини значною мірою визначається конструкцією її решітної системи. Саме решета забезпечують сепарацію зернової суміші за геометричними ознаками частинок, а тому їх конструктивні параметри безпосередньо впливають на продуктивність, якість очищення, втрати основної культури та стабільність технологічного процесу. Традиційні решета, що застосовуються у зерноочисних машинах, не завжди забезпечують достатню інтенсивність розділення матеріалу на кілька фракцій в одному робочому органі. Крім того, при роботі з вологим або засміченим ворохом виникає небезпека забивання отворів чи щілин решета, що знижує пропускну здатність, погіршує якість очищення та потребує додаткового обслуговування.

Одним із перспективних напрямів удосконалення решітних систем є застосування стержньових решіт із щілинами, що розширюються в напрямку руху оброблюваного матеріалу. Така конструкція забезпечує кращі умови проходження дрібних частинок, зменшує імовірність забивання щілин та сприяє самоочищенню робочої поверхні. Практична цінність запропонованого технічного рішення полягає в тому, що його застосування може спростити

					МЗ 00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Сорокун				Модернізація зерноочисної машини з удосконаленням конструкції решета	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.							5	
Н. контр.						ЦНТУ, гр. ГМ-22-1		
Затв.								

конструкцію зерноочисної машини, зменшити металоємність решітної частини та підвищити ефективність фракційного розділення зернової суміші.

Актуальність теми бакалаврської роботи полягає у необхідності підвищення ефективності післязбиральної обробки зерна шляхом удосконалення решітної системи самопересувної зерноочисної машини. Модернізація машини МЗС-25 із впровадженням каскадного стержньового решета зі змінною шириною щілин спрямована на покращення якості очищення зернового вороху, зменшення забивання робочих поверхонь, підвищення стабільності технологічного процесу та зниження конструктивної металоємності вузла.

Метою роботи є модернізація зерноочисної машини МЗС-25 шляхом удосконалення конструкції решета на основі запатентованого каскадного стержньового решета зі змінною шириною щілин для підвищення ефективності очищення та фракційного розділення зернового матеріалу.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі основні завдання:

- виконати аналіз базової зерноочисної машини та обґрунтувати необхідність модернізації її решітної частини розглянути існуючі конструкції решіт зерноочисних машин, їх переваги та недоліки;
- обґрунтувати основні параметри удосконаленого решета та визначити особливості його роботи в складі машини;
- виконати необхідні технологічні, силові, енергетичні та розрахунки на міцність модернізованого вузла;
- оцінити очікувані переваги від впровадження удосконаленої конструкції в машину МЗС-25.

Об'єктом дослідження є процес очищення та фракційного розділення зернового вороху в самопересувній зерноочисній машині.

Предметом дослідження є конструктивні та технологічні параметри решітної системи зерноочисної машини МЗС-25, модернізованої шляхом застосування каскадного стержньового решета зі змінною шириною щілин.

2. СТАН ПИТАННЯ ПРО МАШИНУ, ЯКА ПІДЛЯГАЄ МОДЕРНІЗАЦІЇ

2.1. Призначення, будова і технологічний процес роботи зерноочисної машини МЗС-25.

Зерноочисні машини призначені для очищення зернового вороху від домішок, розділення матеріалу на фракції та підготовки зерна до подальших технологічних операцій – сушіння, зберігання або переробки. Після збирання врожаю зернова маса містить значну кількість сторонніх домішок, до яких належать частинки соломи, полови, насіння бур'янів, грудочки ґрунту, пил та пошкоджене зерно. Наявність таких домішок знижує якість зерна, ускладнює транспортування та може призводити до втрат під час зберігання.

Для попереднього очищення зернового вороху на зернотоках і в зерноочисних пунктах широко застосовують самопересувні зерноочисні машини.

Машина МЗС-25 призначена для первинного очищення зернового вороху від крупних і дрібних домішок, а також для попереднього сортування зернової суміші за розмірами частинок (рис. 2.1). Її застосовують на відкритих зернотоках, у зерноочисних комплексах та на зерноскладах.

Основними технічними характеристиками машини МЗС-25 є: продуктивність – до 25 т/год; тип машини – самопересувна; принцип очищення – комбінований (повітряно-решітний); тип приводу – електромеханічний; спосіб переміщення – за допомогою самохідного механізму.

Конструкція машини МЗС-25 включає такі основні вузли: приймальний бункер; завантажувальний транспортер; аспіраційний канал; решітний стан; механізм очищення решіт; вивантажувальні транспортери; привідні механізми; ходову частину.

Зерновий ворох надходить у приймальний бункер машини, звідки за допомогою транспортера подається в зону очищення. На першому етапі технологічного процесу матеріал проходить через аспіраційний канал, де повітряним потоком відокремлюються легкі домішки – солома, пил та інші легкі частинки.

					МЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

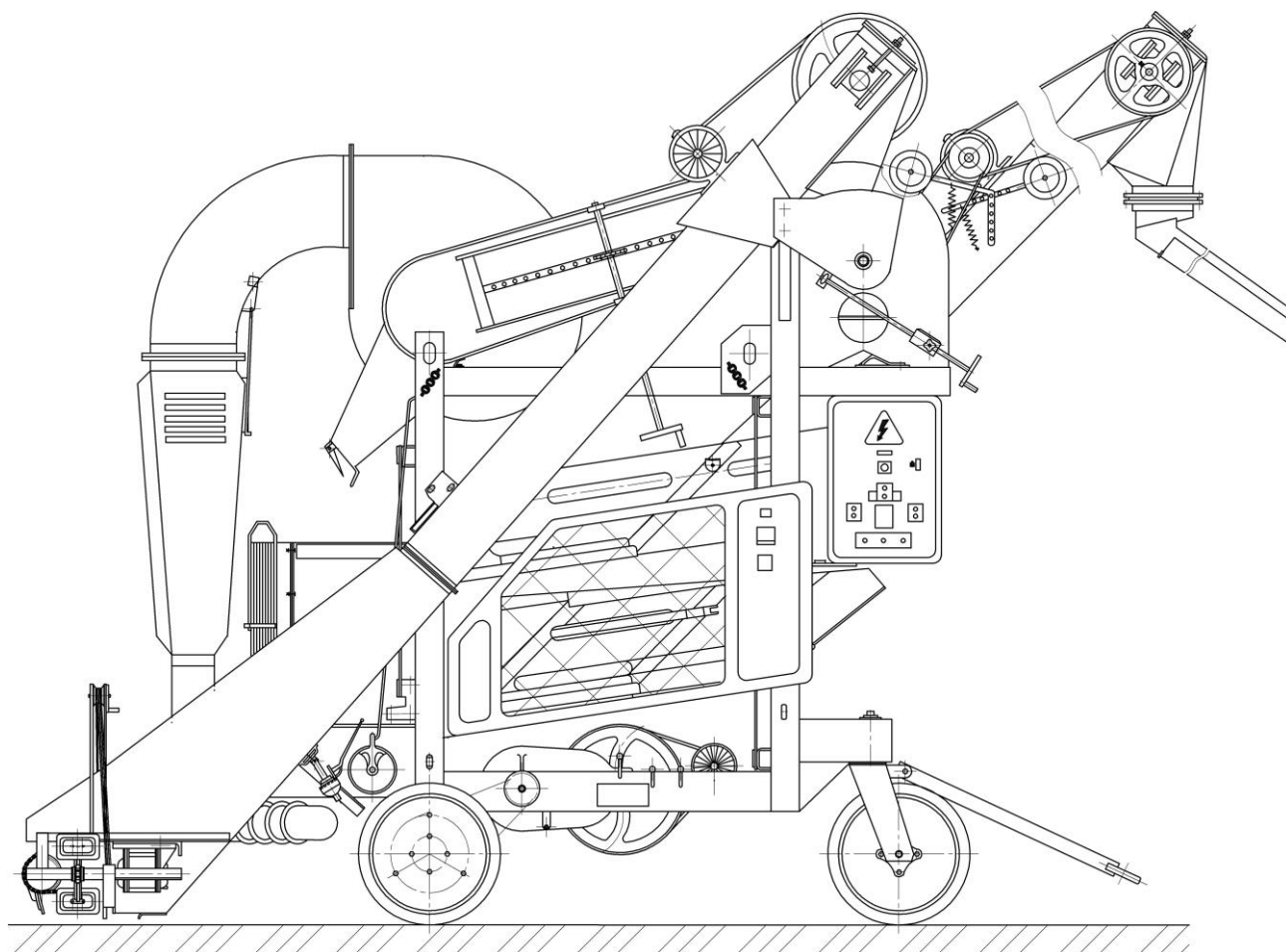


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд зерноочисної машини МЗС-25

Після аспіраційного очищення зернова суміш надходить на решітний стан, який є основним робочим органом машини. Решітний стан складається з набору решіт, встановлених у коливальному корпусі. Під дією коливальних рухів зерновий матеріал переміщується по поверхні решіт, при цьому дрібні частинки проходять через отвори решіт, а крупні домішки сходять з їх поверхні.

Зазвичай у зерноочисних машинах застосовують декілька решіт з різним розміром отворів. Верхні решета затримують крупні домішки (солому, колоски, каміння), а нижні забезпечують відділення дрібних домішок і битого зерна. Таким чином відбувається розділення зернової суміші на кілька фракцій.

Частинки, що проходять через отвори решіт, утворюють фракцію очищеного зерна або дрібних домішок, залежно від розміру отворів. Матеріал, що не проходить через отвори решіт, сходять з їх поверхні і виводиться з машини окремим потоком.

Робота решітного стану супроводжується його коливальним рухом, який забезпечує: рівномірний розподіл матеріалу по поверхні решета; інтенсифікацію процесу просіювання; переміщення матеріалу вздовж робочої поверхні.

Ефективність очищення зерна значною мірою залежить від конструкції решіт, їх розмірів, форми отворів та характеру руху матеріалу по їх поверхні. Однією з основних проблем експлуатації традиційних решіт є забивання отворів або щілин, що знижує пропускну здатність машини і погіршує якість очищення зерна. Крім того, у більшості існуючих конструкцій для розділення зернової суміші на кілька фракцій необхідно застосовувати декілька послідовно встановлених решіт, що ускладнює конструкцію машини та збільшує її металоємність.

У зв'язку з цим актуальним є удосконалення решітної системи зерноочисної машини шляхом застосування нових конструктивних рішень, які дозволяють підвищити ефективність сепарації зернової суміші та покращити експлуатаційні показники машини.

Одним із таких рішень є використання каскадного стержньового решета зі змінною шириною щілин, у якому робоча поверхня утворена набором повздовжніх стержнів, між якими формуються щілини, що розширюються у напрямку руху матеріалу. При цьому початкова ширина щілин на кожному каскаді змінюється, а діаметр стержнів поступово зменшується, що забезпечує збільшення ширини щілин та покращує умови проходження частинок матеріалу через решето .

Застосування такої конструкції дозволяє: здійснювати розділення матеріалу на декілька фракцій на одному решеті; зменшити ймовірність забивання щілин; забезпечити самоочищення робочої поверхні; знизити металоємність решітної системи.

Таким чином, модернізація зерноочисної машини МЗС-25 шляхом удосконалення конструкції решета є перспективним напрямом підвищення ефективності процесу очищення зернового вороху.

					МЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

2.2. Аналіз існуючих конструкцій решіт зерноочисних машин.

Ефективність роботи зерноочисних машин значною мірою залежить від конструкції їх решітної системи. Саме решета забезпечують розділення зернового вороху за геометричними параметрами частинок і є основними робочими органами більшості зерноочисних машин. Від конструкції решета залежать такі показники роботи машини, як продуктивність, ступінь очищення зерна, втрати основної культури та стабільність технологічного процесу.

У сучасних зерноочисних машинах застосовуються різні типи решіт, які відрізняються конструкцією робочої поверхні, формою та розмірами отворів, а також матеріалом виготовлення. Найбільш поширеними є такі типи решіт: перфоровані решета; щілинні решета; стержньові решета.

Перфоровані решета широко застосовуються у зерноочисних машинах різних типів. Вони являють собою металеві листи, у яких виконані отвори певної форми та розміру. Найчастіше застосовуються круглі, овальні або довгасті отвори. Принцип роботи перфорованого решета полягає в тому, що під час руху зернової суміші по поверхні решета частинки, розміри яких менші за діаметр або ширину отворів, проходять крізь них, тоді як більші частинки залишаються на поверхні та переміщуються до виходу з решета.

До основних переваг перфорованих решіт належать: простота конструкції; відносно невисока вартість виготовлення; можливість використання різних форм і розмірів отворів; достатня міцність.

Разом з тим перфоровані решета мають і певні недоліки. Основним недоліком є схильність до забивання отворів при роботі з вологим або засміченим зерновим ворохом. Забивання отворів призводить до зменшення робочої площі решета, зниження продуктивності машини та погіршення якості очищення зерна. Крім того, перфоровані решета не завжди забезпечують ефективне розділення зернової суміші на кілька фракцій.

Щілинні решета відрізняються від перфорованих тим, що замість окремих отворів мають довгі вузькі щілини. Такі решета виготовляють із металевих листів шляхом штампування або прорізання щілин. Щілинні решета широко

застосовуються для очищення зерна з подовженою формою частинок, оскільки вони забезпечують краще орієнтування зерен відносно щілин. Завдяки цьому підвищується ефективність просіювання.

Основними перевагами щілинних решіт є: кращі умови проходження зерна через щілини; більша пропускна здатність; підвищена ефективність сепарації.

Проте і цей тип решіт має ряд недоліків. При роботі з матеріалом, що містить значну кількість домішок або вологих частинок, щілини можуть забиватися. Крім того, щілинні решета зазвичай призначені для розділення матеріалу лише на дві фракції, що обмежує їх функціональні можливості.

Стержньові решета складаються з набору паралельних металевих стержнів, між якими утворюються щілини. Ширина щілин визначається відстанню між стержнями.

Такі решета мають ряд переваг порівняно з перфорованими та щілинними решетами. Завдяки відкритій конструкції вони менш схильні до забивання, що особливо важливо при роботі з вологим або засміченим матеріалом. Крім того, стержньові решета мають більшу пропускну здатність.

Однак традиційні стержньові решета також мають певні недоліки. Зокрема, у більшості конструкцій ширина щілин є постійною по всій довжині решета. У зв'язку з цим можливості розділення матеріалу на декілька фракцій обмежені. Для отримання декількох фракцій необхідно використовувати декілька послідовно встановлених решіт, що ускладнює конструкцію машини та збільшує її масу.

Для підвищення ефективності роботи зерноочисних машин розробляються різні конструкції решіт, які забезпечують покращення умов проходження частинок через робочу поверхню та зменшують ймовірність забивання отворів або щілин.

Одним із перспективних напрямів удосконалення є застосування решіт зі щілинами, що розширюються у напрямку руху матеріалу. У таких конструкціях створюються умови для поступового збільшення ширини щілин, що полегшує проходження частинок і зменшує ймовірність їх заклинювання.

До таких конструкцій належить решето, виконане з набору повздовжніх стержнів у вигляді декількох каскадів, між якими утворюються щілини, що розширюються у напрямку руху матеріалу. При цьому початкова ширина щілин на кожному каскаді змінюється, а діаметр стержнів на кожному наступному каскаді зменшується, що призводить до збільшення ширини щілин. Така конструкція дозволяє забезпечити більш ефективне розділення зернового матеріалу та зменшити ймовірність забивання щілин під час роботи .

Завдяки каскадній будові решета зерновий матеріал послідовно проходить декілька зон сепарації, у яких відбувається відділення частинок різного розміру. Це дозволяє здійснювати розділення зернової суміші на декілька фракцій на одному решеті без необхідності встановлення великої кількості окремих решіт.

Ще однією важливою особливістю такої конструкції є можливість самоочищення щілин. Під дією маси матеріалу повздовжні стержні можуть дещо прогинатися у місцях їх кріплення, що призводить до тимчасового розширення щілин і запобігає їх забиванню. Завдяки цьому підвищується стабільність роботи решета та зменшується потреба в його обслуговуванні .

Таким чином, проведений аналіз існуючих конструкцій решіт показує, що традиційні перфоровані та щілинні решета мають певні експлуатаційні недоліки, пов'язані з обмеженою ефективністю сепарації та можливістю забивання отворів або щілин. Застосування удосконалених конструкцій, зокрема каскадних стержньових решіт зі змінною шириною щілин, дозволяє підвищити ефективність процесу очищення зернового вороху та покращити експлуатаційні характеристики зерноочисних машин.

2.3. Аналіз решітної системи базової машини МЗС-25 та її недоліки.

Одним із основних робочих вузлів зерноочисної машини МЗС-25 є решітний стан, який забезпечує розділення зернової суміші за розмірами частинок (рис. 2.2). Саме від ефективності роботи решітної системи значною мірою залежить якість очищення зерна, продуктивність машини та стабільність технологічного процесу.

У базовій конструкції зерноочисної машини решітний стан складається з набору послідовно встановлених решіт з отворами різного розміру. Як правило, застосовуються перфоровані або щілинні решета.

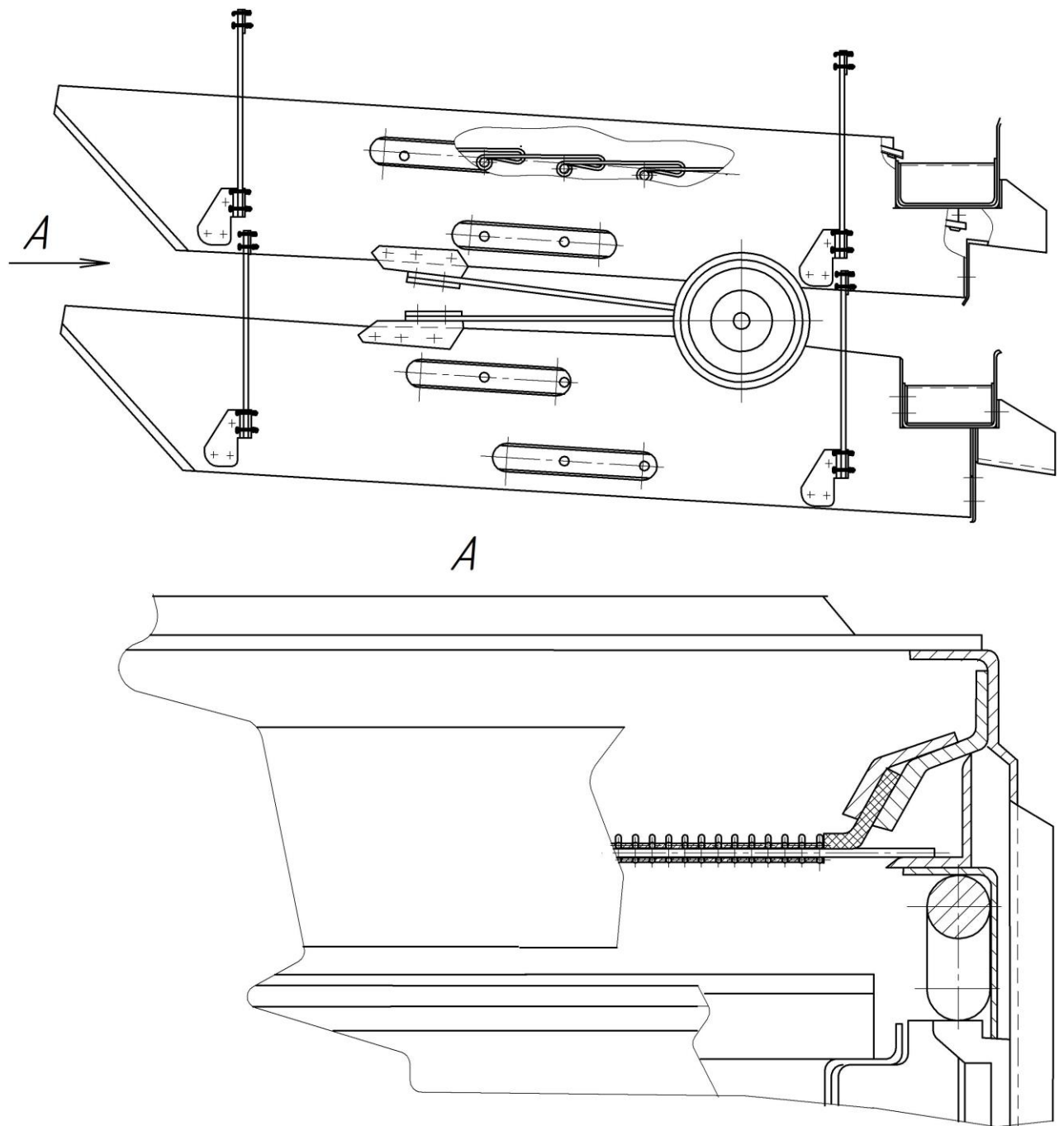


Рисунок 2.2 – Решітний стан зерноочисної машини

Решета встановлюються у спеціальному корпусі решітного стану, який здійснює коливальні рухи. Під дією коливань зернова суміш рівномірно розподіляється по поверхні решіт і переміщується вздовж них. Частинки, розміри

яких менші за отвори решета, проходять крізь них, тоді як більші частинки залишаються на поверхні і сходять з решета.

У більшості конструкцій зерноочисних машин решітний стан складається з двох основних груп решіт: верхні решета, які призначені для відділення крупних домішок; нижні решета, які забезпечують відділення дрібних домішок.

Такий принцип роботи дозволяє розділяти зернову суміш на декілька потоків: очищене зерно, крупні домішки та дрібні домішки.

Разом з тим аналіз конструкції решітної системи машини МЗС-25 показує, що вона має ряд недоліків.

Першим недоліком є схильність перфорованих решіт до забивання отворів. При роботі з вологим або сильно засміченим зерновим ворохом отвори решіт можуть частково перекриватися домішками, що призводить до зменшення їх робочої площі та зниження ефективності очищення. Другим недоліком є обмежені можливості розділення матеріалу на декілька фракцій. У традиційних конструкціях кожне решето виконує одну операцію сепарації, тому для досягнення необхідної якості очищення необхідно встановлювати декілька послідовних решіт. Це ускладнює конструкцію решітного стану і збільшує його металоємність. Третім недоліком є зниження ефективності просіювання при нерівномірному розподілі матеріалу по поверхні решета. При значному навантаженні машини товщина шару зернової маси на решеті може збільшуватися, що ускладнює проходження дрібних частинок через отвори.

Крім того, у традиційних конструкціях решіт ширина отворів або щілин є постійною по всій довжині робочої поверхні. У зв'язку з цим зерновий матеріал проходить через решето лише у певних ділянках, що знижує ефективність використання робочої площі решета.

Таким чином, проведений аналіз показує, що решітна система базової машини МЗС-25 має ряд конструктивних недоліків, які знижують ефективність процесу очищення зерна.

У зв'язку з цим доцільним є удосконалення конструкції решета шляхом застосування нових технічних рішень, які дозволять: підвищити ефективність

					МЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

розділення зернової суміші; зменшити ймовірність забивання робочої поверхні; забезпечити більш рівномірне використання площі решета; спростити конструкцію решітного стану.

Одним із перспективних напрямів модернізації є використання каскадного стержньового решета зі змінною шириною щілин, яке забезпечує поступове розширення щілин у напрямку руху матеріалу і створює кращі умови для проходження частинок різного розміру. Застосування такої конструкції дозволяє підвищити ефективність сепарації зернового матеріалу та покращити експлуатаційні показники зерноочисної машини.

2.4. Агротехнічні вимоги до процесу очищення зерна.

Процес очищення зерна є важливою технологічною операцією післязбиральної обробки сільськогосподарської продукції. Основним завданням очищення є видалення з зернової маси сторонніх домішок, що утворюються під час збирання врожаю або потрапляють у зерно під час транспортування і зберігання. Зерновий ворох, який надходить на очищення, зазвичай містить різні домішки, серед яких можуть бути: рослинні рештки (солома, полова, частини стебел); насіння бур'янів; биті зерна; пил і дрібні органічні частинки; мінеральні домішки (грудочки ґрунту, камінці).

Наявність домішок у зерновій масі знижує її товарну якість, ускладнює подальші технологічні операції та може призводити до втрат під час зберігання. Крім того, домішки підвищують вологість зернової маси і створюють сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів.

Для забезпечення якісного очищення зерна зерноочисні машини повинні відповідати певним агротехнічним вимогам.

Однією з основних вимог є висока ефективність очищення зерна. Машина повинна забезпечувати відділення більшості сторонніх домішок із зернової маси. При цьому втрати основного зерна разом із домішками повинні бути мінімальними.

Іншою важливою вимогою є збереження цілісності зерна. У процесі очищення не допускається значне механічне пошкодження зерна, оскільки це погіршує його посівні та технологічні властивості.

Також важливою вимогою є стабільність технологічного процесу. Зерноочисна машина повинна забезпечувати однакову ефективність очищення при різних умовах роботи, зокрема при зміні вологості зерна або ступеня його засміченості.

Важливим показником роботи зерноочисної машини є продуктивність, яка повинна відповідати обсягам зерна, що надходить на очищення. Для машин типу МЗС-25 продуктивність становить близько 25 т/год.

Ще однією вимогою є рівномірність подачі зернової маси на робочі органи машини. Нерівномірна подача матеріалу призводить до перевантаження окремих ділянок решета, що знижує ефективність процесу просіювання.

Крім того, зерноочисні машини повинні забезпечувати: надійну роботу при різних режимах навантаження; зручність технічного обслуговування; мінімальні енерговитрати; простоту регулювання параметрів очищення.

Особливо важливим є забезпечення ефективної роботи решітної системи, оскільки саме вона виконує основну операцію сепарації зернової суміші. Тому при розробці або модернізації зерноочисних машин значну увагу приділяють удосконаленню конструкції решіт.

2.5. Вплив параметрів решета на ефективність сепарації зернової суміші.

Ефективність процесу очищення зерна значною мірою залежить від параметрів решета, які визначають умови проходження частинок через його робочу поверхню. До основних параметрів решета належать: розміри отворів або щілин; форма отворів; крок розташування отворів; площа відкритої поверхні; довжина та ширина решета; швидкість руху матеріалу по поверхні решета.

Одним із найважливіших параметрів є ширина щілин або діаметр отворів решета. Від цього параметра залежить, які частинки можуть проходити через решето, а які залишаються на його поверхні.

					МЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Якщо отвори решета мають занадто великі розміри, через них разом із домішками можуть проходити зерна основної культури. У цьому випадку збільшуються втрати зерна. Якщо ж отвори занадто малі, то зменшується пропускна здатність решета і знижується продуктивність машини.

Важливим параметром є площа відкритої поверхні решета, тобто сумарна площа отворів або щілин. Чим більша площа відкритої поверхні, тим вища пропускна здатність решета.

На ефективність роботи решета значно впливає товщина шару зернової маси, що переміщується по його поверхні. Якщо шар матеріалу занадто товстий, дрібні частинки не можуть швидко досягти поверхні решета і пройти через його отвори. Це призводить до зниження ефективності сепарації.

Ще одним важливим фактором є швидкість переміщення матеріалу по решету. Занадто велика швидкість призводить до того, що частинки не встигають проходити через отвори. При надто малій швидкості знижується продуктивність машини.

Крім того, важливу роль відіграє характер руху решета. Коливальний рух сприяє розпушуванню шару матеріалу і забезпечує кращий контакт частинок з поверхнею решета.

У традиційних конструкціях решіт ширина отворів або щілин є постійною по всій довжині робочої поверхні. У зв'язку з цим ефективність використання площі решета може бути недостатньою.

Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності роботи решіт є застосування конструкцій, у яких ширина щілин змінюється по довжині решета. Таке рішення дозволяє створити більш сприятливі умови для проходження частинок різного розміру та підвищити ефективність процесу сепарації.

Таким чином, аналіз параметрів решіт показує, що удосконалення їх конструкції може суттєво підвищити ефективність очищення зернової маси. Це підтверджує доцільність модернізації решітної системи зерноочисної машини МЗС-25.

2.5. Висновки по розділу.

У розділі виконано аналіз призначення, конструкції та принципу роботи зерноочисних машин, а також розглянуто особливості роботи решітних систем, що застосовуються у таких машинах.

Встановлено, що післязбиральна обробка зерна є важливим етапом технологічного процесу виробництва зернової продукції. Основним завданням очищення зернової маси є видалення сторонніх домішок та підготовка зерна до подальшого зберігання або переробки. Для виконання цієї операції широко застосовуються самопересувні зерноочисні машини, які забезпечують очищення зернового вороху безпосередньо на зернотоках або в зерноочисних пунктах.

У роботі за базову прийнято зерноочисну машину МЗС-25 – машина зерноочисна самопересувна продуктивністю 25 т/год. Проаналізовано її призначення, конструкцію та технологічний процес роботи. Встановлено, що очищення зернової маси у таких машинах здійснюється за повітряно-решітним принципом, при якому відокремлення домішок відбувається під дією повітряного потоку та просіювання через систему решіт.

У ході аналізу існуючих конструкцій решіт зерноочисних машин розглянуто основні типи решіт, що застосовуються у сучасних машинах: перфоровані, щілинні та стержньові. Встановлено, що кожен із цих типів має певні переваги та недоліки. Перфоровані решета характеризуються простотою конструкції та широким застосуванням, проте вони схильні до забивання отворів при роботі з вологим або засміченим зерном. Щілинні решета мають більшу пропускну здатність, однак також можуть забиватися домішками. Стержньові решета відрізняються більш відкритою конструкцією і меншою схильністю до забивання, але у традиційних конструкціях вони мають постійну ширину щілин, що обмежує можливості розділення зернової суміші.

Проведений аналіз решітної системи базової машини МЗС-25 показав, що основними недоліками її конструкції є можливість забивання отворів решіт, обмежена ефективність розділення зернової суміші на декілька фракцій, а також

недостатньо повне використання робочої площі решета. Це може призводити до зниження продуктивності машини та погіршення якості очищення зерна.

Також встановлено, що ефективність процесу сепарації зернової суміші значною мірою залежить від параметрів решета, зокрема розміру і форми отворів або щілин, площі відкритої поверхні, швидкості переміщення матеріалу по решету та товщини шару зернової маси. Оптимізація цих параметрів є важливим напрямом підвищення ефективності роботи зерноочисних машин.

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що одним із найбільш перспективних напрямів удосконалення зерноочисної машини МЗС-25 є модернізація її решітної системи. Для цього доцільно застосувати конструкцію решета, у якій щілини змінюють свою ширину у напрямку руху матеріалу, що дозволяє підвищити ефективність сепарації та зменшити ймовірність забивання робочої поверхні.

Таким чином, для підвищення ефективності очищення зернової суміші доцільно модернізувати решітну систему машини МЗС-25 шляхом застосування удосконаленого каскадного стержньового решета зі змінною шириною щілин. Реалізація такого конструктивного рішення дозволить покращити умови проходження частинок через решето, забезпечити більш ефективне розділення зернового матеріалу та підвищити експлуатаційні показники зерноочисної машини.

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Обґрунтування конструкції модернізованого решета.

Як було встановлено у попередньому розділі, ефективність очищення зернової суміші значною мірою залежить від конструкції решітної системи зерноочисної машини. У базовій конструкції машини МЗС-25 застосовуються перфоровані решета з отворами постійного розміру. Такі решета мають ряд недоліків, зокрема схильність до забивання отворів, обмежену ефективність розділення матеріалу на декілька фракцій та недостатньо повне використання робочої площі решета.

Для усунення зазначених недоліків у даній роботі пропонується модернізувати решітну систему машини МЗС-25 шляхом застосування каскадного стержньового решета зі змінною шириною щілин. Конструкція такого решета запропонована у патенті на корисну модель, у якому робоча поверхня утворена набором повздовжніх стержнів, між якими формуються щілини, що розширюються у напрямку руху оброблюваного матеріалу.

Запропоноване решето складається з декількох каскадів повздовжніх стержнів різного діаметра, які закріплені на осях за допомогою калібруючих шайб. Кожний каскад утворює щілини певної ширини, які поступово збільшуються у напрямку руху зернової суміші (рис. 3.1).

Решето складається з декількох каскадів, сформованих повздовжніми стержнями 1, 2, 3 різного діаметра d_1 , d_2 , d_3 . У кінцевій частині стержні мають вигнуту форму, як показано на рисунку 3.2 (виноска Б), і з'єднані між собою за допомогою осей 4, 5, 6, 7 та калібруючих шайб 8, 9, 10, 11. Калібруючі шайби забезпечують необхідну відстань між стержнями та формують робочі щілини решета. Завдяки тому, що на кожному наступному каскаді діаметр стержнів d_1 , d_2 , d_3 поступово зменшується, відповідно збільшується відстань між ними, що призводить до поступового збільшення ширини щілин a , b , c .

Така каскадна побудова решета дозволяє створити змінну ширину щілин уздовж робочої поверхні. У початковій частині решета ширина щілин є меншою,

					МЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

що забезпечує відділення дрібних домішок. У подальших каскадах ширина щілин збільшується, завдяки чому відбувається подальше розділення матеріалу за розмірами частинок.

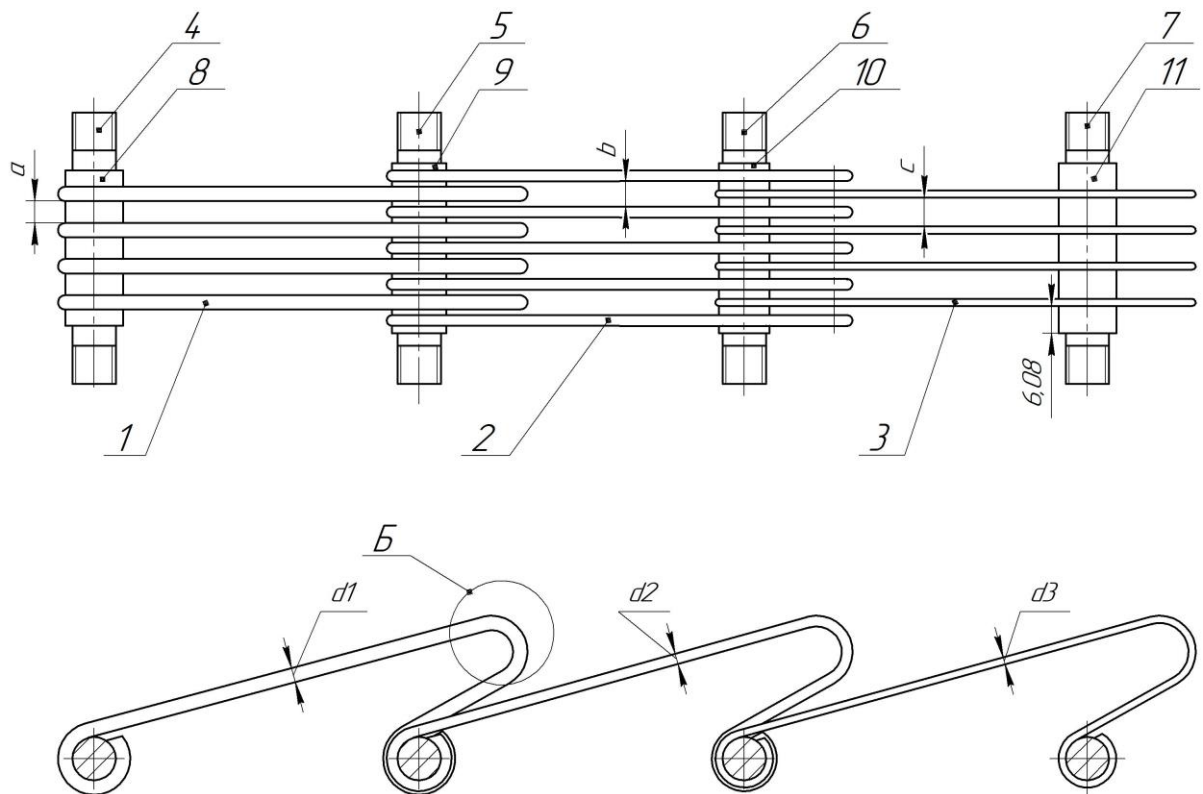


Рисунок 3.1 – Конструкція каскадного стержньового решета: 1, 2, 3 – повздовжні стержні; 4, 5, 6, 7 – поперечні осі; 8, 9, 10, 11 – калібруючі шайби

Принцип роботи решета полягає у послідовному розділенні зернової суміші під час її переміщення по каскадах робочої поверхні (рис. 3.2). Матеріал, що підлягає сепарації, надходить на перший каскад решета. Частинки, розміри яких менші за ширину щілин першого каскаду, проходять крізь них і утворюють першу фракцію (фракція I). Матеріал, що не пройшов через щілини першого каскаду, переміщується далі по решету до наступного каскаду.

На другому каскаді ширина щілин є більшою, тому через них проходять частинки більшого розміру, що утворюють другу фракцію (фракція II). Аналогічно на третьому каскаді відбувається виділення ще більш крупних частинок, які формують третю фракцію (фракція III). Частинки, розміри яких перевищують ширину щілин усіх каскадів, сходять з кінцевої частини решета і утворюють четверту фракцію (фракція IV).

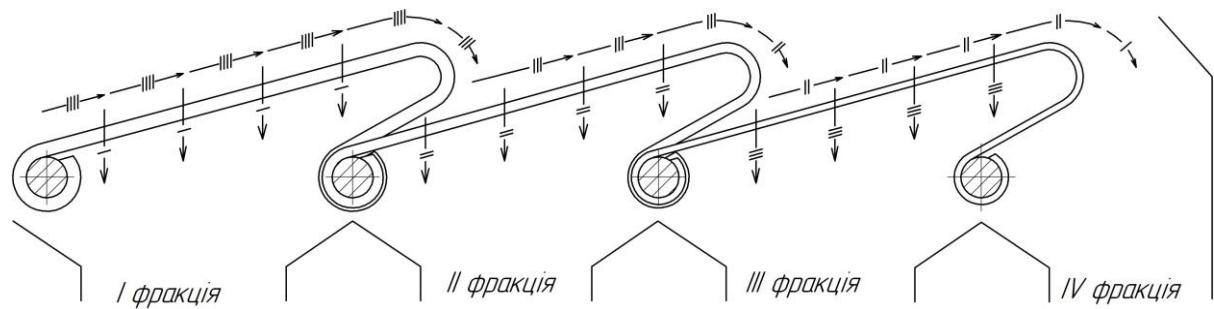


Рисунок 3.2 – Схема технологічного процесу роботи решета

Особливістю запропонованої конструкції є наявність вигину у кінцевій частині стержнів. Під дією ваги оброблюваного матеріалу повздовжні стержні можуть незначно деформуватися у місцях вигину (виноска Б на рисунку 3.1). Унаслідок цього відбувається тимчасове збільшення ширини щілин у напрямку руху матеріалу. Такий ефект сприяє кращому проходженню частинок через решето та запобігає заклинюванню домішок у щілинах.

Завдяки цьому робоча поверхня решета має властивість самоочищення. При проходженні зернової маси по поверхні решета стержні здійснюють незначні пружні деформації, що змінюють геометрію щілин і запобігають їх забиванню. Це забезпечує стабільну роботу решета навіть при очищенні вологого або сильно засміченого зернового вороху.

Порівняно з традиційними перфорованими решетами запропонована конструкція має ряд суттєвих переваг. По-перше, змінна ширина щілин дозволяє ефективніше використовувати робочу площу решета та забезпечує послідовне розділення матеріалу на декілька фракцій. По-друге, відкрита конструкція робочої поверхні значно зменшує ймовірність забивання щілин домішками. По-третє, каскадна будова решета дозволяє виконувати декілька операцій сепарації на одному робочому органі, що спрощує конструкцію решітного стану зерноочисної машини.

Застосування такого решета у конструкції зерноочисної машини МЗС-25 дозволяє підвищити ефективність очищення зернової суміші, зменшити втрати зерна та підвищити стабільність технологічного процесу.

Для забезпечення ефективної роботи модернізованого решета необхідно обґрунтувати його основні конструктивні та технологічні параметри. До таких параметрів належать ширина щілин, довжина каскадів, відстань між стержнями, а також швидкість переміщення зернової суміші по поверхні решета. У зв'язку з цим у подальших підрозділах буде виконано технологічні та інженерні розрахунки модернізованого решета.

3.2. Технологічні розрахунки модернізованого решета.

Технологічний розрахунок модернізованого решета полягає у визначенні основних параметрів його робочої поверхні, які забезпечують ефективне розділення зернової суміші на фракції. До таких параметрів належать ширина щілин решета, довжина робочої поверхні, швидкість переміщення зернового матеріалу по решету та товщина шару зернової маси.

Визначення цих параметрів є необхідним для забезпечення стабільної роботи зерноочисної машини МЗС-25 та досягнення необхідної продуктивності очищення.

Продуктивність зерноочисної машини визначається кількістю зернової маси, що проходить через робочу поверхню решета за одиницю часу. Для машини МЗС-25 приймаємо продуктивність $Q=25$ т/год.

Переведемо продуктивність у кг/с

$$Q = \frac{25000}{3600} = 6,94 \text{ кг/с.}$$

Товщина шару зерна на поверхні решета повинна бути такою, щоб частинки матеріалу могли вільно переміщуватися та контактувати з робочою поверхнею решета. При надмірній товщині шару ефективність сепарації значно знижується.

Для зерноочисних машин подібного типу товщина шару зернової маси на решеті зазвичай знаходиться в межах

$$h = 20...40 \text{ мм.}$$

Прийmemo $h = 30$ мм.

					МЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Швидкість переміщення зернової суміші по решету залежить від частоти та амплітуди коливань решітного стану. Для зерноочисних машин вона зазвичай становить

$$v = 0,2 \dots 0,4 \text{ м/с.}$$

Для подальших розрахунків приймаємо

$$v = 0,3 \text{ м/с.}$$

Визначення необхідної площі решета/ Площа робочої поверхні решета визначається з умови пропускної здатності

$$F = \frac{Q}{\rho \cdot h \cdot v}, \quad (3.1)$$

де ρ – насипна густина зерна, кг/м^3 ; (для зернових культур приймаємо $\rho = 750 \text{ кг/м}^3$).

Підставляємо значення

$$F = \frac{6,94}{750 \cdot 0,03 \cdot 0,3} = 1,03 \text{ м}^2.$$

Отже, необхідна площа робочої поверхні решета становить приблизно $F \approx 1,0 \text{ м}^2$.

Визначення довжини решета. Ширина решітного стану зерноочисних машин типу МЗС-25 зазвичай становить $B = 0,9 \dots 1,0 \text{ м}$.

Прийmemo $B = 1,0 \text{ м}$. Тоді довжину решета визначаємо

$$L = \frac{F}{B}. \quad (3.2)$$

$$L = \frac{1,03}{1,0} \approx 1,0 \text{ м.}$$

Таким чином, довжина робочої поверхні модернізованого решета становить приблизно $L \approx 1,0 \text{ м}$.

					МЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Визначення ширини щілин решета. Ширина щілин решета визначається розмірами частинок, які необхідно відокремити від основної зернової маси. Для очищення зерна пшениці від дрібних домішок ширина щілин першого каскаду може становити

$$a = 2,0 \dots 2,5 \text{ мм.}$$

Прийmemo $a = 2,5$ мм. Для другого каскаду ширина щілин становить $b = 3,5 \dots 4,0$. Приймемо $b = 4,0$ мм. Для третього каскаду $c = 5,0 \dots 6,0$. Приймемо $c = 5,5$ мм.

Таким чином забезпечується поступове збільшення ширини щілин у напрямку руху зернової суміші, що дозволяє ефективно розділяти матеріал на декілька фракцій.

3.3. Кінематичний аналіз руху зернової суміші по решету.

Ефективність роботи решітного стану зерноочисної машини значною мірою залежить від характеру його руху. Коливальний рух решета забезпечує переміщення зернової суміші вздовж робочої поверхні, а також створює умови для просіювання частинок через щілини. Тому при проектуванні модернізованого решета необхідно проаналізувати кінематичні параметри його руху.

У зерноочисних машинах типу МЗС-25 решітний стан здійснює зворотно-поступальні коливання, які створюються кривошипно-шатунним механізмом приводу. Під час роботи решітний стан рухається по похилій траєкторії, що сприяє одночасному переміщенню зернової суміші вздовж решета та її розпушуванню.

Коливальний рух решітного стану характеризується такими основними параметрами: амплітуда коливань; частота коливань; швидкість руху решета; прискорення робочої поверхні.

Амплітуда коливань решета визначається радіусом кривошипа механізму приводу. Для зерноочисних машин подібного типу амплітуда коливань зазвичай знаходиться в межах

$$A = 10 \dots 20 \text{ мм.}$$

Прийmemo для подальших розрахунків $A = 15$ мм. Частота коливань решітного стану залежить від частоти обертання приводного вала. У зерноочисних машинах вона зазвичай становить

$$n = 300 \dots 450 \text{ кол/хв.}$$

Прийmemo

$$n = 360 \text{ кол/хв.}$$

Тоді кругова частота коливань визначається за формулою

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}, \quad (3.3)$$

де n – частота коливань, кол/хв.

Підставляємо значення

$$\omega = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 360}{60} = 37,7 \text{ с}^{-1}.$$

Швидкість руху решета. Максимальна швидкість руху решітного стану визначається виразом

$$v = A \cdot \omega, \quad (3.4)$$

де A – амплітуда коливань, м;

ω – кругова частота коливань, с^{-1} .

Переведемо амплітуду у метри

$$A = 0,015 \text{ м.}$$

Тоді

$$v = 0,015 \cdot 37,7 = 0,57 \text{ м/с.}$$

Отримане значення відповідає робочим режимам зерноочисних машин.

Прискорення робочої поверхні решета. Прискорення решета визначається залежністю

$$a = A \cdot \omega^2. \quad (3.5)$$

Підставляємо значення

					МЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

$$a = 0,015 \cdot 37,7^2 = 21,3 \text{ м/с}^2.$$

Таке прискорення забезпечує інтенсивне розпушування зернової суміші на поверхні решета, що сприяє ефективнішому проходженню частинок через щілини.

Під час роботи решітного стану зернова суміш переміщується по його поверхні під дією сили інерції, що виникає при коливальному русі. Одночасно на частинки зерна діють такі сили: сила тяжіння; сила інерції; сили тертя між зерном і поверхнею решета; сили взаємодії між частинками зернової маси.

У результаті дії цих сил зерновий матеріал здійснює складний рух, що поєднує поступальне переміщення уздовж решета та періодичне підкидання частинок. Такий режим руху призводить до розпушування шару зернової суміші, що значно покращує умови просіювання. Дрібні частинки швидше досягають поверхні решета і проходять через щілини, тоді як більші частинки переміщуються до наступних каскадів.

У модернізованому решеті додатковим фактором підвищення ефективності сепарації є змінна ширина щілин. У міру переміщення зернової суміші по поверхні решета вона потрапляє на каскади з більшою шириною щілин, що дозволяє послідовно відокремлювати частинки різного розміру.

Таким чином, кінематичні параметри руху решітного стану забезпечують: переміщення зернової суміші по поверхні решета; розпушування шару матеріалу; інтенсивне просіювання частинок через щілини; ефективне розділення зернової суміші на фракції.

Отримані результати кінематичного аналізу дозволяють перейти до визначення сил, що діють на елементи решета, та виконати подальший розрахунок його конструкції.

3.4. Силовий аналіз роботи модернізованого решета.

Для забезпечення надійної роботи модернізованого решета необхідно визначити сили, що діють на його конструктивні елементи під час роботи.

Силовий аналіз дозволяє встановити навантаження, які сприймають повздовжні стержні, осі кріплення та інші елементи конструкції.

Під час роботи на решето діють такі основні сили: вага шару зернової суміші; сили інерції, що виникають при коливальному русі; сили тертя між зерном і поверхнею решета; реакції опорних елементів конструкції.

Визначення сили ваги шару зерна. Сила ваги зернової маси визначається за формулою

$$G = m \cdot g, \quad (3.6)$$

де m – маса зернового шару на решеті, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 .

Маса шару зерна визначається

$$m = \rho \cdot F \cdot h, \quad (3.7)$$

де ρ – насипна густина зерна, кг/м^3 ;

F – площа решета, м^2 ;

h – товщина шару зерна, м.

Приймаємо $\rho = 7500 \text{ кг/м}^3$, $F = 1,0 \text{ м}^2$, $h = 0,03 \text{ м}$.

Тоді

$$m = 750 \cdot 1,0 \cdot 0,03 = 22,5 \text{ кг.}$$

Сила ваги шару зерна

$$G = 22,5 \cdot 9,81 = 220 \text{ Н.}$$

При коливальному русі решета на зернову масу діє сила інерції

$$F_i = m \cdot a, \quad (3.8)$$

Тоді

$$F_i = 22,5 \cdot 21,3 = 479 \text{ Н.}$$

Отже, сила інерції перевищує силу ваги зернового шару, що забезпечує інтенсивне розпушування матеріалу на поверхні решета.

Сили тертя. Під час руху зернової суміші по поверхні решета виникає сила тертя

$$F_t = f \cdot G, \quad (3.9)$$

де f – коефіцієнт тертя зерна по сталі.

Для зернових культур $f = 0,35$.

Тоді

$$F_t = 0,35 \cdot 220 = 77 \text{ Н.}$$

Сила тертя частково перешкоджає переміщенню зернової маси, але одночасно сприяє її рівномірному розподілу по поверхні решета.

Навантаження на стержні решета. Сумарне навантаження, що діє на робочу поверхню решета, визначається як сума сили ваги та сили інерції

$$F = G + F_i. \quad (3.10)$$

$$F = 220 + 479 = 699 \text{ Н.}$$

Це навантаження розподіляється між повздовжніми стержнями решета. Якщо кількість стержнів становить $n = 20$, то навантаження на один стержень

$$F_1 = \frac{F}{n}. \quad (3.11)$$

$$F_1 = \frac{699}{20} = 35 \text{ Н.}$$

Отримане значення навантаження використовується у подальших розрахунках на міцність елементів решета.

Проведений силовий аналіз показав, що основне навантаження на робочу поверхню решета створюється силою інерції зернової маси, яка виникає під час коливального руху решітного стану. Це навантаження рівномірно розподіляється між повздовжніми стержнями решета.

3.5. Розрахунок живого перерізу та пропускної здатності каскадного решета.

Ефективність роботи зерноочисної машини значною мірою визначається параметрами решітного пристрою. Однією з основних характеристик решета є живий переріз, який визначає площу отворів, через які може проходити очищений матеріал. Від величини живого перерізу залежить інтенсивність сепарації, пропускна здатність машини та якість очищення зернового матеріалу.

У модернізованій конструкції використовується каскадне решето, утворене системою паралельних стержнів різного діаметра, розташованих послідовними каскадами. Така конструкція дозволяє поступово змінювати розмір щілин між стержнями, що сприяє більш ефективному розподілу зернової маси по поверхні решета та підвищує якість сепарації.

Живий переріз решета визначають як відношення сумарної площі отворів до загальної площі робочої поверхні решета. Цей показник характеризує проникність решітної поверхні для зернової суміші

$$F_{жс} = \frac{F_0}{F_p} \cdot 100\%. \quad (3.12)$$

де $F_{жс}$ – живий переріз решета, %;

F_0 – сумарна площа отворів решета, м²;

F_p – загальна площа робочої поверхні решета, м².

Для щілинних решіт, які утворені паралельними стержнями, живий переріз визначають через співвідношення ширини щілини та кроку розташування стержнів.

$$F_{жс} = \frac{b}{b + d} \cdot 100\%. \quad (3.13)$$

де b – ширина щілини між стержнями, мм;

d – діаметр стержня, мм.

Живий переріз решета показує, яку частину від загальної площі поверхні решета займають отвори (щілини), через які може проходити зернова суміш. Ширина щілини між сусідніми стержнями решета це відстань між поверхнями

двох сусідніх стержнів, через яку проходять частинки зернової суміші. Діаметр стержня решета – товщина металевого прутка, з якого сформована решітна поверхня. Крок розташування стержнів – це відстань між осями двох сусідніх стержнів, яка включає ширину щілини та діаметр одного стержня.

Формула показує, яка частина поверхні решета є відкритою для проходження матеріалу. Якщо ширина щілин збільшується, живий переріз зростає, а отже підвищується пропускна здатність решета. Водночас надмірне збільшення щілин може призвести до погіршення якості очищення зерна.

Визначення площі робочої поверхні решета

Площа робочої поверхні каскадного решета визначається як добуток його довжини та ширини:

$$F_p = L \cdot B, \quad (3.14)$$

де L – довжина решета, м;

B – ширина решета, м.

Якщо довжина решета становить $L=1,2$ м, а ширина $B=0,6$, то площа робочої поверхні становить

$$F_p = 1,2 \cdot 0,6 = 0,72 \text{ м}^2.$$

Розрахунок сумарної площі отворів. Для каскадного решета сумарна площа отворів визначається як добуток кількості щілин, їх довжини та ширини

$$F_0 = n \cdot L \cdot b, \quad (3.15)$$

де n – кількість щілин;

L – довжина щілини, м;

b – ширина щілини, м.

При кількості щілин $n=30$, довжині $L=1,2$ м та ширині щілини $b=0,004$ м.

$$F_0 = 30 \cdot 1,2 \cdot 0,004 = 0,144 \text{ м}^2.$$

Тоді живий переріз решета становитиме

					МЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

$$F_{жс} = \frac{0,144}{0,72} \cdot 100 = 20\%.$$

Отримане значення відповідає рекомендованим параметрам решіт зерноочисних машин, де живий переріз зазвичай знаходиться в межах 18–25 %.

Розрахунок пропускної здатності решета. Пропускна здатність решета характеризує кількість зернової суміші, яка може пройти через решітну поверхню за одиницю часу.

$$Q = F_0 \cdot v \cdot \rho, \quad (3.16)$$

де Q – пропускна здатність решета, кг/с;

F_0 – площа отворів решета, м²;

v – середня швидкість проходження матеріалу через отвори, м/с;

ρ – насипна густина зернової суміші, кг/м³.

Для зернових культур середня швидкість проходження частинок через отвори решета приймається в межах $v = 0,3 \dots 0,5$ м/с, а насипна густина зернової суміші становить приблизно $\rho = 700 \dots 800$ кг/м³.

Приймаємо $v = 0,4$ м/с, $\rho = 750$ кг/м³.

Тоді пропускна здатність становитиме

$$Q = 0,144 \cdot 0,4 \cdot 750 = 43,2 \text{ кг/с.}$$

або

$$Q = 155,5 \text{ т/год.}$$

З урахуванням нерівномірності подачі матеріалу, коливань решета та часткового перекриття отворів зерною масою фактична пропускна здатність становить приблизно 40–50 % від теоретичної, тобто

$$Q_{\phi} = 60 - 80 \text{ т/год.}$$

Проведений розрахунок показав, що живий переріз каскадного решета становить близько 20 %, що відповідає оптимальним значенням для

					МЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

зерноочисних машин. При заданих параметрах решета сумарна площа отворів складає 0,144 м², що забезпечує теоретичну пропускну здатність до 155 т/год.

З урахуванням реальних умов роботи зерноочисної машини фактична продуктивність становитиме 60–80 т/год, що забезпечує ефективне очищення зернової маси при збереженні високої якості сепарації.

У модернізованій конструкції зерноочисної машини застосовується каскадне решето, що складається з декількох послідовно розташованих каскадів, сформованих поздовжніми стержнями різного діаметра. Така конструкція дозволяє поступово змінювати розмір щілин між стержнями, що покращує розподіл зернової маси по поверхні решета та підвищує ефективність сепарації.

Оскільки кожен каскад має різний діаметр стержнів, живий переріз визначається окремо для кожного каскаду.

Розрахунок живого перерізу першого каскаду. Живий переріз щілинного решета визначається залежністю

Прийmemo для першого каскаду діаметр стержнів – $d_1 = 4$ мм, ширина щілини $b_1 = 3$ мм.

Тоді

$$F_{ж1} = \frac{3}{3+4} \cdot 100 = 42,9\%.$$

Розрахунок живого перерізу другого каскаду. Для другого каскаду приймаємо діаметр стержнів – $d_2 = 5$ мм, ширина щілини $b_2 = 3$ мм.

Тоді

$$F_{ж2} = \frac{3}{3+5} \cdot 100 = 37,5\%.$$

Розрахунок живого перерізу третього каскаду. Для третього каскаду приймаємо діаметр стержнів – $d_3 = 6$ мм, ширина щілини $b_3 = 3$ мм.

Тоді

$$F_{ж3} = \frac{3}{3+6} \cdot 100 = 33,3\%.$$

Середній живий переріз каскадного решета. Оскільки решето складається з трьох каскадів, визначимо середній живий переріз

$$F_{ж.сер} = \frac{F_{ж1} + F_{ж2} + F_{ж3}}{3}. \quad (3.17)$$

$$F_{ж.сер} = \frac{42,9 + 37,5 + 33,3}{3} = 37,9\%.$$

Отже, середній живий переріз каскадного решета становить приблизно 38 %.

Розрахунок пропускної здатності каскадного решета. Пропускна здатність решета при площі отворів $F_0 = 0,144 \text{ м}^2$, швидкості проходження зернової суміші через отвори $v = 0,4 \text{ м/с}$, насипній густині зернової маси $\rho = 750 \text{ кг/м}^3$

$$Q = 0,144 \cdot 0,4 \cdot 750 = 43,2 \text{ кг/с},$$

$$Q = 155,5 \text{ т/год}.$$

З урахуванням реальних умов роботи зерноочисної машини (нерівномірність подачі, перекриття отворів зерновою масою, коливання решета) фактична продуктивність становить 40–50 % від теоретичної.

$$Q_{\phi} = 60...80 \text{ т/год}.$$

Проведений розрахунок показав, що середній живий переріз каскадного решета становить приблизно 38 %, що забезпечує достатню проникність решітної поверхні для проходження зернової суміші. Теоретична пропускна здатність решета складає 155 т/год, а фактична продуктивність з урахуванням експлуатаційних факторів становить 60–80 т/год, що забезпечує ефективне очищення зерна та стабільну роботу зерноочисної машини.

3.6. Розрахунок руху зернової суміші по поверхні каскадного решета.

Ефективність роботи решітного пристрою зерноочисної машини значною мірою залежить від характеру руху зернової суміші по його поверхні. При

коливальному русі решета частинки матеріалу переміщуються вздовж його поверхні під дією інерційних сил, сили тяжіння та сил тертя.

У процесі роботи зерноочисної машини решето здійснює зворотно-поступальні коливання, внаслідок чого зернова суміш періодично підкидається та переміщується у напрямку нахилу решета.

Сили, що діють на частинку зерна. На окрему частинку зернової суміші, яка знаходиться на поверхні решета, діють такі основні сили:

сила тяжіння

$$G = mg, \quad (3.18)$$

де m – маса частинки, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 .

сила інерції, яка виникає внаслідок коливального руху решета

$$P = ma, \quad (3.19)$$

де a – прискорення коливального руху решета.

сила тертя

$$F = fN, \quad (3.20)$$

де f – коефіцієнт тертя зерна по поверхні решета;

N – нормальна реакція поверхні.

Умова початку переміщення зерна. Частинка зерна починає рухатися по поверхні решета тоді, коли інерційна сила перевищує силу тертя.

$$P > F, \quad (3.21)$$

або

$$ma > fN. \quad (3.22)$$

Оскільки нормальна реакція приблизно дорівнює силі тяжіння $N = mg$ умову руху можна записати у вигляді $ma > fmg$, або $a > fg$.

Це означає, що прискорення коливального руху решета повинно перевищувати добуток коефіцієнта тертя на прискорення вільного падіння.

Для зернових культур коефіцієнт тертя по металевій поверхні становить $f = 0,35 \dots 0,45$. Прийmemo $f = 0,4$. Тоді необхідне прискорення становить

$$a > 0,4 \cdot 9,81 = 3,92 \text{ м/с}^2.$$

Отже, для забезпечення переміщення зернової суміші по поверхні решета прискорення коливань повинно бути більшим за $3,9 \text{ м/с}^2$.

Визначення прискорення коливального руху решета. Прискорення коливального руху визначається залежністю

$$a = \omega^2 r, \quad (3.23)$$

де r – радіус кривошипа (амплітуда коливань), м;

ω – кутова швидкість коливань, с^{-1} .

Кутова швидкість визначається

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}, \quad (3.24)$$

де n – частота коливань решета, хв^{-1} .

Прийmemo частоте коливань решета $n = 300 \text{ хв}^{-1}$, радіус кривошипа $r = 0,02 \text{ м}$.

Тоді

$$\omega = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 300}{60} = 31,4 \text{ с}^{-1}.$$

Прискорення

$$a = 31,4^2 \cdot 0,02 = 19,7 \text{ м/с}^2.$$

Порівняємо отримане прискорення з умовою початку руху зерна $a = 19,7 \text{ м/с}^2$, $a_{\min} = 3,92 \text{ м/с}^2$.

Оскільки

$$19,7 > 3,92$$

умова переміщення зернової суміші по поверхні решета виконується з достатнім запасом.

Це забезпечує інтенсивне перемішування зернової суміші; рівномірний розподіл матеріалу по поверхні решета; ефективне проходження дрібних домішок через щілини каскадного решета.

Проведений розрахунок показав, що при частоті коливань решета 300 хв^{-1} та амплітуді 20 мм прискорення решітного стану становить $19,7 \text{ м/с}^2$, що значно перевищує мінімально необхідне значення для початку руху зернової суміші. Це забезпечує стабільне переміщення зерна по поверхні каскадного решета, ефективне розшарування зернової маси та підвищення якості очищення зерна.

3.7 Розрахунок коливального режиму решітного стану

Робота решітного стану зерноочисної машини ґрунтується на здійсненні ним зворотно-поступального коливального руху. Під дією таких коливань зернова суміш, що надходить на поверхню каскадного решета, переміщується вздовж його площини, розшаровується за товщиною шару, а дрібні частинки та домішки проходять крізь щілини між стержнями.

Раціональний вибір параметрів коливального режиму має важливе значення, оскільки при недостатній інтенсивності коливань погіршується транспортування матеріалу по решету, а при надмірній інтенсивності можливе підкидання зерна, порушення стабільності шару та зниження якості сепарації.

До основних параметрів коливального режиму решітного стану належать: амплітуда коливань; частота коливань; кутова швидкість; максимальна швидкість руху решета; максимальне прискорення решета; кінематичний режим роботи.

Кутова швидкість коливального руху решітного стану $\omega = 31,4 \text{ с}^{-1}$.

Амплітуда коливань решітного стану залежить від конструкції приводу та радіуса кривошипа. При кривошипно-шатунному механізмі амплітуда коливань $A = 0,02 \text{ м}$. Максимальна швидкість гармонійного коливального руху $v_{\max} = 0,63 \text{ м/с}$, $a_{\max} = 19,7 \text{ м/с}^2$.

Для оцінки інтенсивності коливального режиму часто використовують безрозмірний кінематичний показник, який характеризує відношення максимального прискорення решета до прискорення вільного падіння

					МЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

$$k = \frac{a_{\max}}{g}, \quad (3.25)$$

де k – кінематичний показник режиму;

g – прискорення вільного падіння.

Підставляємо числові значення:

$$k = \frac{19,7}{9,81} = 2,01.$$

Отже

$$k = 2,0.$$

Це означає, що максимальне прискорення решітного стану приблизно у 2 рази перевищує прискорення вільного падіння.

Для решіт зерноочисних машин раціональним вважається режим, при якому $k = 1,5 \dots 2,5$. Таким чином, отримане значення $k = 2,0$ знаходиться в оптимальних межах і відповідає ефективному режиму роботи.

3.8. Розрахунок стержнів каскадного решета на міцність.

У процесі роботи зерноочисної машини стержні каскадного решета сприймають навантаження від шару зернової суміші, а також динамічні навантаження, що виникають під час коливального руху решітного стану. Тому при проектуванні конструкції необхідно перевірити стержні на міцність, щоб запобігти їх деформації або руйнуванню в процесі експлуатації.

Стержні решета працюють переважно на згин, оскільки вони закріплені на опорних осях та сприймають навантаження від шару зернового матеріалу між точками кріплення.

Розрахункову схему стержня каскадного решета можна представити у вигляді балки, що спирається на дві опори та навантажена рівномірно розподіленим навантаженням від шару зернової маси. Рівномірно розподілене навантаження визначається вагою зернової суміші, яка знаходиться на поверхні решета. Навантаження від зернової маси визначається за формулою

$$q = \rho \cdot g \cdot h, \quad (3.26)$$

де q – інтенсивність навантаження на решето, Н/м²;

ρ – насипна густина зернової суміші, кг/м³;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

h – товщина шару зернової маси на решеті, м.

Для зернових культур приймаємо $\rho=750$ кг/м³, $h=0,03$ м.

Тоді

$$q = 750 \cdot 9,81 \cdot 0,03 = 220,7 \text{ Н/м}^2.$$

Це навантаження діє на поверхню решета. Щоб визначити навантаження на один стержень, необхідно врахувати крок розташування стержнів. Якщо крок становить $t=0,008$ м, то лінійне навантаження на один стержень

$$q_l = q \cdot t. \quad (3.27)$$

$$q_l = 220,7 \cdot 0,008 = 1,77 \text{ Н/м.}$$

Для балки з рівномірно розподіленим навантаженням максимальний згинальний момент визначається залежністю

$$M = \frac{q_l L^2}{8}. \quad (3.28)$$

де M – згинальний момент, Н·м;

q_l – лінійне навантаження, Н/м;

L – відстань між опорами стержня, м.

Прийmemo довжину стержня $L = 0,6$ м.

Тоді

$$M = \frac{1,77 \cdot 0,6^2}{8} = 0,0796 \text{ Н·м}$$

Напруження згину визначається за формулою

$$\sigma = \frac{M}{W}, \quad (3.29)$$

де σ – напруження згину, Па;

M – згинальний момент;

W – момент опору перерізу.

Для круглого стержня момент опору визначається залежністю

$$W = \frac{\pi d^3}{32}, \quad (3.30)$$

де d – діаметр стержня.

Прийmemo діаметр стержня першого каскаду $d=4$ мм.

Тоді

$$W = \frac{3,14 \cdot 0,004^3}{32} = 0,0796 \text{ м}^3.$$

Тоді напруження згину

$$\sigma = \frac{0,796}{6,28 \cdot 10^{-9}} = 21,7 \text{ МПа}.$$

Перевірка умови міцності. Стержні решета виготовляються із конструкційної сталі. Для такої сталі допустиме напруження при згині становить приблизно $[\sigma]=140\dots160$ МПа.

Умова міцності має вигляд

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

Підставляємо отримане значення

$$12,7 < 140$$

Отже, умова міцності виконується з достатнім запасом.

Проведений розрахунок показав, що максимальне напруження згину у стержні каскадного решета становить приблизно 12,7 МПа, що значно менше допустимого напруження для конструкційної сталі. Таким чином, стержні решета мають достатню міцність та жорсткість, що забезпечує їх надійну роботу під час експлуатації зерноочисної машини. Отримані результати підтверджують

					МЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

працездатність запропонованої конструкції каскадного решета та можливість її використання у зерноочисних машинах.

3.9. Висновки по розділу.

У розділі виконано інженерні розрахунки параметрів модернізованого каскадного решета зерноочисної машини, що дозволило обґрунтувати працездатність запропонованої конструкції та оцінити її основні експлуатаційні характеристики.

Проведено розрахунок живого перерізу каскадного решета, який показав, що використання стержнів різного діаметра забезпечує достатню відкриту площу решітної поверхні для проходження зернової суміші та сприяє ефективному процесу сепарації. Визначено пропускну здатність решета, яка підтверджує можливість забезпечення необхідної продуктивності зерноочисної машини при заданих технологічних параметрах.

Виконано аналіз руху зернової суміші по поверхні решета, у результаті чого встановлено умову початку переміщення частинок зерна. Проведені розрахунки показали, що прискорення коливального руху решітного стану перевищує мінімально необхідне значення, що забезпечує стабільне транспортування зернової маси та її рівномірний розподіл по робочій поверхні решета.

Також виконано розрахунок коливального режиму решітного стану, у ході якого визначено кутову швидкість, амплітуду коливань, максимальну швидкість та прискорення руху решета. Отримані значення параметрів коливань відповідають рекомендованим діапазонам для зерноочисних машин і забезпечують ефективне переміщення та розшарування зернової суміші.

Крім того, проведено розрахунок стержнів каскадного решета на міцність, який показав, що максимальні напруження згину є значно меншими за допустимі для конструкційної сталі. Це свідчить про достатній запас міцності елементів решітної поверхні та підтверджує надійність роботи запропонованої конструкції.

4. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У роботі виконано модернізацію зерноочисної машини МЗС-25 шляхом удосконалення конструкції її решітної системи на основі застосування каскадного стержньового решета зі змінною шириною щілин.

Проведено аналіз технологічного процесу післязбиральної обробки зерна та конструкції самопересувної зерноочисної машини МЗС-25. Встановлено, що основним робочим органом машини є решітний стан, ефективність роботи якого значною мірою визначає якість очищення зерна та продуктивність машини. Продуктивність базової машини становить до 25 т/год, а принцип очищення зернового вороху є повітряно-решітним.

У результаті аналізу існуючих конструкцій решіт зерноочисних машин встановлено, що традиційні перфоровані та щілинні решета мають ряд недоліків, основними з яких є: схильність до забивання отворів при роботі з вологим або засміченим зерновим ворохом; обмежені можливості розділення зернової суміші на декілька фракцій; недостатньо ефективне використання робочої площі решета.

Для усунення зазначених недоліків запропоновано модернізацію решітної системи шляхом застосування каскадного стержньового решета зі змінною шириною щілин. Конструкція решета передбачає використання декількох каскадів повздовжніх стержнів різного діаметра, між якими утворюються щілини, що поступово розширюються у напрямку руху зернової маси. Це забезпечує: більш ефективне розділення зернової суміші; зменшення імовірності забивання щілин; підвищення пропускної здатності решета; самоочищення робочої поверхні.

У роботі виконано технологічні та конструктивні розрахунки параметрів удосконаленого решета. Визначено основні геометричні параметри щілин та конструкції стержнів, що забезпечують ефективне розділення зернової суміші на фракції. Розрахунками встановлено раціональні параметри робочої поверхні решета, які забезпечують необхідну пропускну здатність та ефективність сепарації зерна.

Виконано розрахунок живого перерізу решета, який характеризує частку відкритої робочої поверхні та визначає його пропускну здатність. Встановлено, що застосування каскадної конструкції дозволяє збільшити площу відкритої поверхні решета, що сприяє покращенню проходження дрібних частинок та підвищує ефективність процесу очищення зерна.

Проведено розрахунок пропускну здатності решета, який показав, що модернізована конструкція забезпечує стабільну роботу решітного стану при продуктивності машини до 25 т/год, що відповідає агротехнічним вимогам до зерноочисних машин такого типу.

Виконано розрахунки на міцність основних елементів конструкції решета, які показали, що запропонована конструкція забезпечує необхідну міцність і жорсткість елементів при робочих навантаженнях. Отримані значення напружень не перевищують допустимих для матеріалу стержнів і елементів кріплення.

У результаті проведеної модернізації очікується отримання таких технічних переваг: підвищення ефективності сепарації зернової суміші;

зменшення ймовірності забивання робочої поверхні решета; покращення умов проходження частинок через щілини; підвищення стабільності технологічного процесу очищення; зниження металоємності решітної системи машини.

Отже, запропонована модернізація зерноочисної машини МЗС-25 шляхом застосування каскадного стержньового решета зі змінною шириною щілин дозволяє підвищити ефективність процесу очищення зернового вороху та покращити експлуатаційні показники машини. Запропоноване технічне рішення може бути використане при удосконаленні зерноочисних машин аналогічного призначення.

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: ПІТО 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 сільськогосподарському

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., Богатир'єв Д.В. Наукові основи сепарації зерна на решетах з клиноподібною формою отворів. Монографія. Кіровоград: СПД ФО Лисенко В.Ф., 2013. 148 с.

18. Прохвятилов 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., Лук'яненко 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>.
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>

					МЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

ДОДАТКИ

					МЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48