

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломного проєкту

ступеня вищої освіти «Бакалавр» на тему:

**Модернізація вібраційної машини для післязбиральної обробки
зернового вороху**

Виконав: здобувач 4 курсу групи АІ-4-22

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

Горобець Владислав Юрійович_____

Керівник: _____ Золотовська Олена Володимирівна

Рецензент: _____

Дніпро – 2026

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

ТСГМ

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис) (прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 2026 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ**

Горобець Владислав Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Модернізація вібраційної машини для післязбиральної
обробки зернового вороху

Керівник роботи Золотовська Олена Володимирівна, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

« 5 » травня 2026 року № 912

2. Строк подання студентом роботи 10.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту Аналіз виробничої діяльності підприємства.
Аналіз літературних джерел та обґрунтування актуальності дипломного
проєкту. Аналіз конструктивно-режимних параметрів вібраційної
машини для післязбиральної обробки зернового вороху

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які
потрібно розробити). 1. Обґрунтування існуючих технологій, конструкцій
та обґрунтування теми дипломного проєкту 2. Обґрунтування схем та
конструкцій вібраційних машин. 3 Конструкторська проробка проєкту. 4.

Охорона праці та захист навколишнього середовища. 5. Техніко-економічна оцінка проєктних рішень. Висновки. Бібліографічний список.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Характеристика господарства (A1). 2. Аналіз схем. (A1). 3. Вібраційна машина. Загальний вигляд. (A1). 4. Стан решітний. Складальне креслення (A1). 5 Вал-екцентрик. (A3). Шків (A3). Вісь (A4). Пружина. (A4). Толкатель (A4). Втулка (A4). 6. Економічний аналіз.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1,2,3,4,5	Золотовська О.В., доцент		
Нормо-контроль	Бойко В.Б., доцент		

7. Дата видачі завдання: 09.03.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика господарства	11.03.26-11.04.26	
2	Аналіз актуальності проєкту	13.03.26-13.05.26	
3	Технологічно-конструктивний	14.04.26-21.05.26	
4	Охорона праці	15.04.26-20.05.26	
5	Економічний	19.04.26-7.06.26	
6	Графічна частина	10.05.65-7.06.65	

Здобувач

(підпис)

Горобець В.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Золотовська О.В.

(прізвище та ініціали)

[illegible]

*Відомості
дипломного
проекту*

ДДАЕУ
Група АІ-4-22

Анотація

Горобець В.Ю. Модернізація вібраційної машини для післязбиральної обробки зернового вороху/ Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026

У дипломному проєкті розглянуто питання підвищення ефективності післязбиральної обробки зернового вороху шляхом модернізації вібраційної машини. У роботі проаналізовано виробничі умови фермерського господарства, стан післязбиральної доробки зерна, а також особливості використання зерноочисних машин у технологічному процесі. Проведено аналіз існуючих конструкцій машин для очищення зернового вороху та встановлено, що найбільш перспективним напрямом є удосконалення приводу коливального руху вібраційної машини.

У проєкті запропоновано модернізацію приводу, до складу якого входять вал-ексцентрик, толкатель, пружина, вісь, втулка та шків. Виконано розрахунок основних конструктивно-режимних параметрів машини, визначено продуктивність, параметри коливального руху, а також проведено перевірку на міцність основних деталей модернізованого вузла. Установлено, що продуктивність машини після модернізації становить 5,0 т/год. Обґрунтовано вибір електродвигуна та параметри приводу.

У розділі з охорони праці розроблено заходи щодо безпечної експлуатації машини, зниження впливу шуму, вібрації та запиленості на працівників. Техніко-економічне обґрунтування показало, що впровадження модернізованої машини забезпечує зростання продуктивності, зменшення втрат повноцінного зерна та скорочення експлуатаційних витрат.

Ключові слова: вібраційна машина, зерновий ворох, післязбиральна обробка, очищення зерна, модернізація, вал-ексцентрик, привід коливального руху, економічний ефект.

ЗМІСТ

Анотація	5
ВСТУП	7
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ТА СТАН ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНОВОГО ВОРОХУ	9
1.1 Загальні відомості про господарство	9
1.2 Природно-кліматичні умови господарства	10
1.3 Структура посівних площ і виробничий напрям діяльності	11
1.4 Показники виробництва зернових культур у господарстві	12
1.5 Машинно-тракторний парк та матеріально-технічна база господарства	13
1.6 Організація післязбиральної обробки зернового вороху в господарстві	15
1.7 Аналіз існуючих засобів механізації післязбиральної обробки зерна	16
2 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ВІБРАЦІЙНОЇ МАШИНИ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ЇЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ	20
2.1 Призначення, будова та принцип дії вібраційної машини	20
2.2 Технологічний процес післязбиральної обробки зернового вороху	23
2.3 Аналіз існуючих машин для післязбиральної обробки зернового вороху	26
3 РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЙНОЇ МАШИНИ	34
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	51
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів	51
4.2 Вимоги безпеки під час експлуатації вібраційної машини	53
4.3 Безпека під час технічного обслуговування і ремонту машини	56
4.4 Заходи із захисту навколишнього середовища	57
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ	59
ВИСНОВКИ	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	71

ВСТУП

Сучасне сільськогосподарське виробництво неможливо уявити без ефективного виконання операцій післязбиральної обробки зерна. Саме на цьому етапі формується кінцева якість зернової продукції, знижуються втрати, забезпечуються умови для тривалого зберігання та подальшого використання зерна за призначенням. Після збирання зерновий ворох являє собою неоднорідну суміш, до складу якої входять зерно основної культури, домішки органічного і мінерального походження, пошкоджені зернівки, полова та інші включення. Тому своєчасне і якісне очищення зернового вороху є однією з найважливіших умов підвищення ефективності роботи господарства.

У виробничих умовах до машин для післязбиральної обробки зерна висуваються підвищені вимоги щодо продуктивності, надійності, енергоощадності та якості сепарації. Одним із поширених типів обладнання, яке використовується для очищення та сортування зернових матеріалів, є вібраційні машини. Їх застосування дає змогу інтенсифікувати процес розділення компонентів зернового вороху, покращити якість очищення, зменшити втрати корисного зерна та забезпечити стабільну роботу в умовах господарства. Разом із тим існуючі конструкції вібраційних машин не завжди повною мірою відповідають сучасним вимогам виробництва. У процесі експлуатації виявляються недоліки, пов'язані з недостатньою ефективністю коливального механізму, нерівномірністю руху матеріалу по робочих поверхнях, підвищеними динамічними навантаженнями, зносом окремих деталей приводу та перевитратами енергії.

У зв'язку з цим питання модернізації вібраційних машин для післязбиральної обробки зернового вороху є актуальним і має важливе практичне значення для аграрного виробництва. Удосконалення конструкції приводу коливального руху, а також уточнення основних конструктивно-режимних параметрів машини дозволяють підвищити продуктивність

обладнання, покращити якість очищення зерна, знизити навантаження на вузли і механізми та забезпечити більш надійну роботу машини в експлуатаційних умовах.

Актуальність теми дипломного проєкту зумовлена необхідністю підвищення технічного рівня машин для післязбиральної обробки зерна, зменшення втрат зернової продукції, зниження питомих витрат енергії та вдосконалення конструкцій робочих органів і приводних механізмів. Особливе значення має модернізація вузлів, що безпосередньо формують параметри коливального руху робочого органу, оскільки саме вони визначають ефективність сепарації зернового матеріалу.

Метою дипломного проєкту є підвищення ефективності післязбиральної обробки зернового вороху шляхом модернізації вібраційної машини та обґрунтування раціональних конструктивно-режимних параметрів її приводу.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати виробничо-господарську діяльність сільськогосподарського підприємства та стан організації післязбиральної обробки зернового вороху; розглянути існуючі засоби механізації очищення і сортування зерна та виконати аналіз конструкції базової вібраційної машини; виявити основні недоліки існуючої конструкції та обґрунтувати напрям її модернізації; розробити удосконалений привід коливального руху вібраційної машини; виконати розрахунок основних параметрів машини та її деталей; оцінити питання безпеки праці під час експлуатації модернізованої машини; визначити техніко-економічну доцільність запропонованого технічного рішення.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ТА СТАН ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНОВОГО ВОРОХУ

Ефективність післязбиральної обробки зернового вороху значною мірою визначається не лише технічним рівнем машин, а й умовами конкретного господарства, обсягами виробництва, структурою посівів, сезонним навантаженням на техніку, а також організацією приймання, очищення, сушіння й зберігання зерна. Саме тому обґрунтування модернізації вібраційної машини доцільно починати з аналізу виробничих умов сільськогосподарського підприємства, для якого така техніка призначається.

У даному розділі розглянуто показники середнього за розмірами господарства зерново-олійного напрямку, розташованого в степовій зоні України. Такі умови є типовими для багатьох аграрних підприємств, де після збирання основних культур виникає потреба в оперативному очищенні значного обсягу зернового вороху, що надходить від комбайнів нерівномірно та має різний ступінь засміченості й вологості.

1.1 Загальні відомості про господарство

Досліджуване господарство спеціалізується на вирощуванні зернових та олійних культур. Основу виробничої програми становлять озима пшениця, ярий ячмінь, кукурудза на зерно та соняшник. Допоміжне місце займають зернобобові культури й озимий ріпак. Така структура є характерною для підприємств степової зони, де поєднуються товарне зерновиробництво та виробництво олійної сировини.

Земельний фонд господарства сформований переважно за рахунок орних земель. Частка ріллі є високою, що свідчить про інтенсивний напрям використання території. Для виробничої діяльності підприємство має

ремонтну зону, машинний двір, зерноскладські приміщення, навіси для техніки та майданчик післязбиральної обробки продукції.

Таблиця 1.1

Структура земельних угідь господарства

Види угідь	Площа, га	Частка, %
Рілля	1980	90,0
Багаторічні насадження	40	1,8
Сіножаті	80	3,6
Пасовища	70	3,2
Під господарськими будівлями, дорогами та майданчиками	30	1,4
Усього	2200	100,0

Наведені дані показують, що господарство орієнтоване саме на польове рослинництво. Значна частка ріллі забезпечує можливість формувати достатній валовий збір зерна, однак одночасно створює підвищене сезонне навантаження на технічні засоби, які забезпечують приймання та доведення продукції до кондиційного стану.

Виробничий напрям господарства можна визначити як зерново-олійний. За такого напрямку особливого значення набуває своєчасне очищення зернового вороху, оскільки затримка після збирання призводить до самозігрівання маси, втрати сипкості, зростання частки пошкодженого зерна й зниження загальної якості партії.

1.2 Природно-кліматичні умови господарства

Господарство розташоване в степовій зоні, для якої характерні жарке літо, порівняно м'яка зима, тривалі бездошові періоди та нерівномірний розподіл опадів протягом року. Такі умови загалом сприятливі для вирощування зернових та олійних культур, проте під час збирання врожаю часто виникають

ситуації, коли зерновий ворох надходить на тік з підвищеною вологістю або значною домішкою пилу, полови, часток стебел і насіння бур'янів.

Ґрунтовий покрив представлений переважно чорноземами звичайними та південними. Вони мають достатній рівень природної родючості, однак через дефіцит вологи врожайність культур помітно залежить від погодних умов конкретного року. Це особливо впливає на кукурудзу та ячмінь, а також на фізичний стан зернової маси при збиранні.

Таблиця 1.2

Основні природно-кліматичні показники зони розміщення господарства

Показник	Значення
Середньорічна температура повітря, °С	10,2
Середня температура липня, °С	23,4
Середня температура січня, °С	-3,8
Річна кількість опадів, мм	430–460
Тривалість безморозного періоду, діб	175–185
Переважаючі вітри в теплий період	східні, південно-східні
Тип ґрунтів	чорноземи звичайні та південні

Кліматичні особливості безпосередньо впливають на параметри зернового вороху. Після періодів нестійкої погоди в зібраній масі збільшується вологість, зростає кількість легких домішок, а частина зернівок може бути недозрілою або травмованою. Саме тому для таких умов важливо використовувати машини, які здатні працювати стабільно при змінних характеристиках матеріалу.

1.3 Структура посівних площ і виробничий напрям діяльності

Посівна структура господарства сформована з урахуванням попиту на зерно, придатності ґрунтів, рівня механізації та необхідності дотримання сівозмін. Найбільшу площу займають озима пшениця та соняшник, дещо

меншу - кукурудза на зерно. Ярий ячмінь і горох використовуються як культури, що доповнюють виробничу програму та покращують чергування в польовій сівозміні.

Таблиця 1.3

Структура посівних площ

Культура	Площа, га	Частка у ріллі, %
Озима пшениця	620	31,3
Ярий ячмінь	280	14,1
Кукурудза на зерно	410	20,7
Соняшник	500	25,3
Горох	90	4,5
Ріпак озимий	80	4,1
Усього	1980	100,0

Структура посівів свідчить, що в господарстві переважають культури, після збирання яких утворюється значний обсяг зернового вороху з різними фізико-механічними властивостями. Це вимагає застосування універсальних засобів попереднього очищення й сортування.

З виробничого погляду така структура є доцільною, оскільки забезпечує диверсифікацію продукції. Проте з технічного боку вона створює різнотипне навантаження на післязбиральну лінію: ранні зернові надходять у стислі строки влітку, кукурудза - пізніше, часто з вищою вологістю, а насіння окремих культур потребує більш делікатного очищення.

1.4 Показники виробництва зернових культур у господарстві

Оцінка результатів виробництва за декілька років дозволяє визначити фактичне навантаження на систему післязбиральної обробки. Для господарства, що має значну частку зернових культур, особливе значення мають валовий збір і сезонна концентрація надходження врожаю.

Урожайність і валовий збір основних зернових культур

Культура	Площа, га	Урожайність 2023 р., т/га	Валовий збір 2023 р., т	Урожайність 2024 р., т/га	Валовий збір 2024 р., т	Урожайність 2025 р., т/га	Валовий збір 2025 р., т
Озима пшениця	620	4,6	2852	4,3	2666	4,8	2976
Ярий ячмінь	280	3,8	1064	3,5	980	4,0	1120
Кукурудза на зерно	410	6,3	2583	5,9	2419	6,5	2665
Горох	90	2,5	225	2,3	207	2,7	243
Усього зернових	1400	-	6724	-	6272	-	7004

З таблиці видно, що обсяг зерна, який щороку проходить через післязбиральну лінію, є суттєвим. Навіть за несприятливішого року валовий збір зернових перевищує 6 тис. т, а в сприятливі роки сягає 7 тис. т і більше. Такий масштаб виробництва вимагає наявності надійної техніки для оперативного очищення та підготовки продукції до зберігання або реалізації.

Отримані показники свідчать про те, що післязбиральна дільниця господарства працює в умовах значного й нерівномірного сезонного навантаження. У період масового надходження зерна навіть короткочасне зниження продуктивності машин призводить до накопичення черги транспорту, збільшення простоїв комбайнів та додаткових витрат.

1.5 Машинно-тракторний парк та матеріально-технічна база господарства

Рівень механізації виробничих процесів у господарстві визначається складом машинно-тракторного парку та станом післязбиральної інфраструктури. Для своєчасного виконання польових робіт підприємство

забезпечене тракторами різних тягових класів, зернозбиральними комбайнами, транспортними засобами, ґрунтообробною та посівною технікою. Разом з тим вирішальним для теми дипломного проєкту є забезпечення току засобами очищення, транспортування, сушіння й зберігання зерна.

Таблиця 1.5

Основний склад машинно-тракторного парку

Найменування техніки	Марка або тип	Кількість, шт.	Призначення
Колісний трактор	МТЗ-82.1	3	допоміжні та транспортні роботи
Колісний трактор	Case Puma 210	1	основні польові роботи
Колісний трактор	John Deere 8335R	1	енергоємні операції
Зернозбиральний комбайн	New Holland TC5.90	2	збирання зернових культур
Причіп тракторний	2ПТС-4	4	перевезення зерна і матеріалів
Автомобіль зерновоз	КамАЗ	3	доставка зерна від поля до току
Сівалка зернова	СЗ-5,4	2	сівба зернових культур
Культиватор	КПС-4	3	передпосівний обробіток
Дискова борона	БДТ	2	лущення і поверхневий обробіток
Очисна машина	ОВС-25	1	первинне очищення
Вібраційна машина	плоскорешітного типу	1	сортування та додаткове очищення
Зерносушарка	шахтного типу	1	сушіння вологого зерна

Матеріально-технічна база господарства в цілому забезпечує можливість вирощування, збирання та короткочасного зберігання зернової продукції. Однак найбільш чутливою ділянкою є післязбиральна обробка, де поєднуються одразу кілька операцій: приймання зерна, видалення грубих і

дрібних домішок, сушіння, повторне очищення та відвантаження на зберігання.

Пропускна спроможність окремих машин на току не завжди відповідає фактичному темпу надходження зерна з поля. Особливо це проявляється в періоди масового обмолоту пшениці та ячменю, коли добове навантаження на очисні машини помітно зростає. За таких умов ефективність роботи кожного вузла післязбиральної лінії має принципове значення.

1.6 Організація післязбиральної обробки зернового вороху в господарстві

Після обмолоту комбайнами зерновий ворох надходить транспортними засобами на тік, де проходить попереднє приймання та оцінку стану. Далі матеріал спрямовується на очищення, а за підвищеної вологості - на сушіння з подальшим повторним очищенням. Після доведення до нормативних показників зерно надходить у склад або відвантажується споживачам.

Ефективність цієї схеми залежить від того, наскільки стабільно працює очисне обладнання. У разі нерівномірної подачі матеріалу, підвищеної кількості домішок або вібраційних перевантажень зростає ризик забивання робочих поверхонь, зниження якості сепарації й збільшення втрат кондиційного зерна.

Для оцінки навантаження на очисне обладнання доцільно розглянути характеристики зернового вороху, який надходить від основних культур.

Таблиця 1.6

Характеристика зернового вороху, що надходить на післязбиральну обробку

Культура	Середня вологість при надходженні, %	Середній вміст домішок, %	Особливості вороху
----------	--------------------------------------	---------------------------	--------------------

Озима пшениця	15,2	4,8	полова, насіння бур'янів, подрібнені рослинні рештки
Ярий ячмінь	14,8	5,1	легкі домішки, ламані зернівки, пил
Кукурудза на зерно	19,5	7,6	листові частки, стрижні качанів, підвищена вологість
Горох	15,8	6,2	биті зерна, частки стебел, сухі домішки

З наведених даних видно, що зерновий ворох є неоднорідним як за вологістю, так і за вмістом домішок. Для пшениці та ячменю головною задачею є швидке видалення легкої та дрібної фракції. Для кукурудзи, окрім очищення, важливим стає узгодження роботи очисних і сушильних машин. Для гороху критичним фактором виступає акуратність сепарації, оскільки насіння цієї культури легше травмується.

На практиці робота післязбиральної лінії часто ускладнюється нерівномірним надходженням транспорту з поля. У пікові дні ворох подається великими партіями, внаслідок чого окремі машини працюють із перевантаженням. Якщо при цьому вібраційна машина не забезпечує стійких параметрів коливального руху, знижується інтенсивність просіювання, збільшується час обробки і формується черга на приймальному майданчику.

1.7 Аналіз існуючих засобів механізації післязбиральної обробки зерна

У господарствах для очищення зернового вороху застосовують повітряно-решітні, барабанні, плоскорешітні та вібраційні машини. Кожен тип має власні переваги та експлуатаційні обмеження. Вибір конкретної машини залежить від призначення, складу домішок, необхідної продуктивності та вимог до якості очищення.

Таблиця 1.7

Порівняльна характеристика основних типів машин для очищення зерна

Тип машини	Основні переваги	Основні недоліки	Доцільність застосування
Барабанна	проста схема руху матеріалу, можливість роботи з грубими домішками	нижча точність поділу фракцій, складніше очищення робочої поверхні	попереднє очищення
Повітряно-решітна	поєднання аеродинамічного та ситового поділу, достатня універсальність	чутливість до нерівномірної подачі, потреба в точному регулюванні повітряного потоку	попереднє і первинне очищення
Плоскорешітна	відносно висока якість сепарації, простота обслуговування	значне навантаження на решета, залежність якості від стабільності коливань	первинне та вторинне очищення
Вібраційна	інтенсивне переміщення матеріалу, кращі умови для розділення сумішей, можливість підвищення продуктивності	підвищені вимоги до коливального приводу, знос вузлів при нераціональному режимі	очищення, сортування, калібрування

Для умов досліджуваного господарства найбільший інтерес становить саме вібраційна машина, оскільки вона забезпечує поєднання достатньої продуктивності з можливістю якісного поділу вороху на фракції. Завдяки коливальному руху матеріал рівномірніше розподіляється по ситовій поверхні, підвищується інтенсивність контакту з решетом і поліпшується просіювання. Це особливо важливо в умовах, коли зерновий ворох відрізняється за вологістю, засміченістю та гранулометричним складом.

Разом із тим ефективність такої машини багато в чому визначається надійністю приводу, який формує параметри коливального руху. Якщо вузол приводу має підвищені люфти, недостатню жорсткість або працює в режимі нестійких навантажень, виникають негативні явища: погіршується

рівномірність руху матеріалу, підвищується шум, посилюється знос втулок, осей, шківів і ексцентрикових елементів.

Для виявлення причин, що знижують ефективність роботи машини, доцільно узагальнити основні експлуатаційні недоліки наявної конструкції.

Таблиця 1.8

Основні недоліки базової вібраційної машини та їх вплив на
технологічний процес

Виявлений недолік	Прояв у роботі машини	Наслідок для господарства
Нестабільна амплітуда коливань	нерівномірне переміщення вороху по сити	зниження якості очищення
Підвищений знос втулок і осей	збільшення люфтів у механізмі	часті ремонти, додаткові витрати
Недостатньо раціональна робота пружного елемента	втрата плавності коливань	зростання динамічних навантажень
Обмежені можливості регулювання приводу	складність налаштування під різні культури	зниження універсальності машини
Нерівномірне навантаження на робочий орган	локальне перевантаження сит	забивання отворів, втрати продуктивності

Отже, у виробничих умовах господарства вібраційна машина має достатній потенціал, однак її фактична ефективність стримується недосконалістю приводу коливального руху. Це і є технічною передумовою для модернізації, що розглядатиметься в наступному розділі.

Висновки

Аналіз виробничих умов показав, що досліджуване господарство має зерново-олійний напрям спеціалізації та щорічно формує значний валовий збір зернових культур. Основне навантаження на післязбиральну лінію припадає на період масового збирання пшениці, ячменю та кукурудзи, коли на тік надходять великі партії зернового вороху з різним вмістом вологи та домішок.

Встановлено, що наявна система післязбиральної обробки в цілому забезпечує виконання основних технологічних операцій, однак її робота

значною мірою залежить від надійності й продуктивності очисного обладнання. Серед машин, які використовуються для доведення зерна до необхідних кондицій, важливе місце займає вібраційна машина, оскільки саме вона забезпечує інтенсивне ситове розділення матеріалу та впливає на якість очищення.

Разом із тим у роботі базової конструкції виявлено недоліки, пов'язані зі станом приводу коливального руху, нерівномірністю переміщення зернової маси по робочих поверхнях, зносом окремих деталей та обмеженими можливостями стабільного регулювання режиму. Це дає підстави вважати модернізацію вібраційної машини технічно доцільною.

У подальшому в дипломному проєкті необхідно виконати аналіз конструкції машини, обґрунтувати напрям модернізації приводу, визначити раціональні параметри роботи коливального механізму, провести розрахунок основних деталей і оцінити виробничу та економічну ефективність запропонованого рішення.

2 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ВІБРАЦІЙНОЇ МАШИНИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЇЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ

2.1 Призначення, будова та принцип дії вібраційної машини

Вібраційні машини широко застосовуються в технологічних лініях післязбиральної обробки зернового вороху, де необхідно забезпечити відокремлення основного зерна від домішок, а також виконати його поділ за розмірами та якістю. Використання коливального руху робочих органів дає змогу інтенсифікувати процес сепарації, підвищити продуктивність машини та покращити рівномірність переміщення матеріалу по ситових поверхнях. Саме тому машини такого типу є важливим елементом обладнання зерноочисних пунктів і господарських токів.

Основне призначення вібраційної машини полягає у механізованому очищенні та сортуванні зернового вороху, що надходить після збирання з поля. У процесі роботи з вихідної зернової маси видаляються великі, легкі та дрібні домішки, а також здійснюється розподіл зерна за фракціями. Це дає можливість довести матеріал до стану, придатного для подальшого сушіння, зберігання, реалізації або використання як насіннєвого матеріалу. Для господарств, що працюють з великими сезонними обсягами зерна, така машина має особливе значення, оскільки дозволяє знизити втрати, підвищити товарну якість продукції і зменшити навантаження на інші ланки післязбиральної доробки.

Конструктивно базова вібраційна машина (рис.2.1) складається зі станини, на якій встановлено корпус із ситовими ярусами, завантажувальним пристроєм, системою відведення очищеного зерна та домішок, а також приводом коливального руху. Робочий орган машини являє собою багатоярусний ситовий блок, розміщений у корпусі. У верхній частині передбачено завантажувальний бункер або лоток, через який зерновий ворох

надходить на ситову поверхню. У нижній і бокових частинах машини розміщені патрубки або вивантажувальні канали для відведення окремих фракцій.

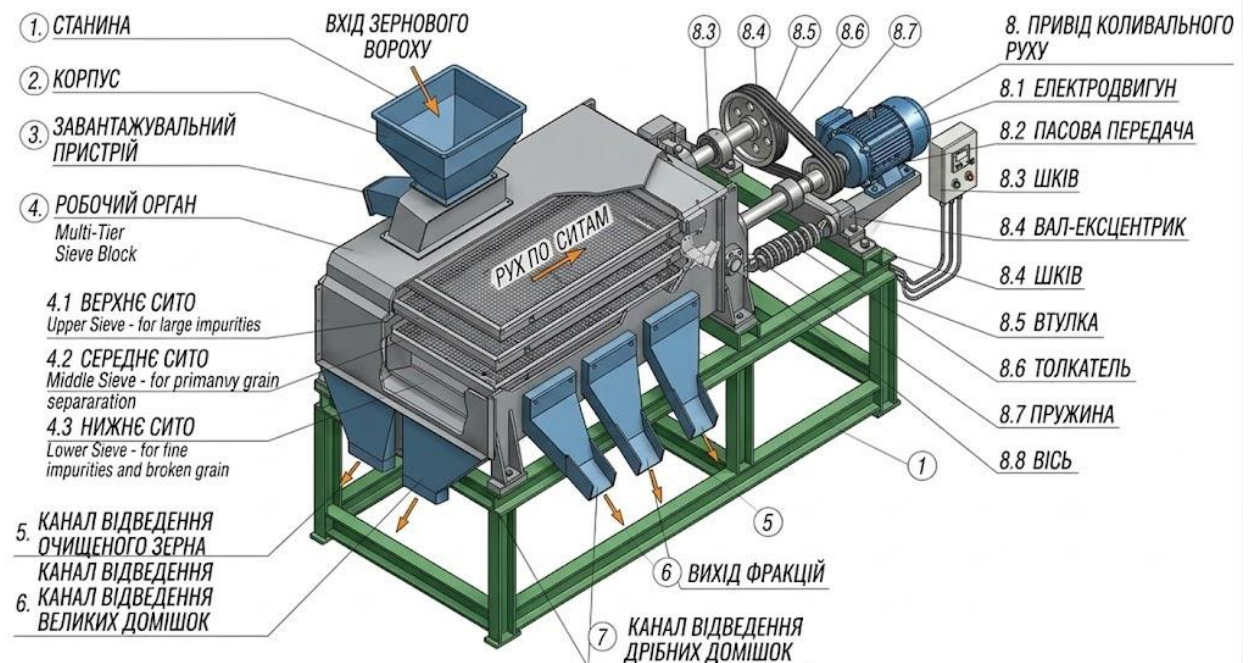


Рисунок 2.1 – Конструктивна схема вібраційної машини.

Особливу роль у роботі машини відіграє привід коливального руху. У розглянутій конструкції він включає електродвигун, пасову передачу, шків, вал-ексцентрик, втулку, толкатель, пружину та вісь. Електродвигун створює обертальний рух, який через пасову передачу передається на шків і далі на вал-ексцентрик. Завдяки наявності ексцентриситету обертання вала перетворюється на періодичний зворотно-поступальний або коливальний рух толкателя, який передає зусилля на робочий орган машини. Пружина у цій схемі виконує функцію пружного елемента, що забезпечує плавність роботи механізму, зменшує ударні навантаження та сприяє стабілізації режиму коливань.

Ситова частина машини може містити декілька ярусів, кожен з яких призначений для виділення певної групи домішок або фракцій зерна. Верхні решета зазвичай використовують для затримання великих домішок, тоді як нижні - для відділення дрібних часток, битого зерна або сипких включень

меншого розміру. Основне зерно, проходячи через систему сит, поступово очищується і надалі спрямовується до відповідного вивантажувального каналу. При зміні культури або вимог до якості очищення можливе встановлення сит з іншими розмірами отворів, що підвищує універсальність машини.

Принцип дії вібраційної машини ґрунтується на поєднанні просіювання і переміщення зернового матеріалу по робочій поверхні під впливом коливань. Після надходження на сито зерновий ворох рівномірно розподіляється по його ширині та під дією вібрації переміщується у напрямку вивантаження. У процесі цього руху частинки, розміри яких менші за отвори сита, проходять крізь нього, тоді як більші залишаються на поверхні та сходять окремим потоком. Якщо машина має декілька ситових ярусів, то кожен наступний ступінь забезпечує додаткове очищення та уточнення поділу матеріалу на фракції.

Ефективність роботи такої машини значною мірою залежить від параметрів коливального руху, а саме від амплітуди, частоти та характеру траєкторії переміщення робочого органу. Якщо ці параметри підібрані вдало, матеріал рівномірно рухається по ситу, не накопичується в окремих зонах, а процес сепарації проходить стабільно. У разі недостатньої або надмірної інтенсивності коливань погіршується контакт зернової маси з ситовою поверхнею, знижується якість очищення, збільшуються втрати корисного зерна та зростає динамічне навантаження на деталі приводу.

Перевагою вібраційної машини є відносно проста кінематична схема, можливість роботи з різними культурами, достатньо висока продуктивність і задовільна якість очищення. Крім того, машина такого типу може бути пристосована до умов конкретного господарства шляхом зміни сит, регулювання режиму подачі матеріалу та вдосконалення приводу. Разом із тим на практиці саме вузол, який формує коливальний рух, найчастіше визначає надійність і довговічність усієї конструкції, оскільки працює в умовах змінних навантажень і підвищеного зносу.

Таким чином, вібраційна машина для післязбиральної обробки зернового вороху є технічним засобом, що забезпечує очищення та сортування зернової маси шляхом її переміщення по багатоярусних ситах під дією примусових коливань. Конструкція машини поєднує ситовий корпус і механічний привід, у якому обертальний рух електродвигуна перетворюється на коливальний рух робочого органу. Саме від узгодженості роботи цих вузлів залежить продуктивність машини, якість сепарації та доцільність подальшої модернізації конструкції.

2.2 Технологічний процес післязбиральної обробки зернового вороху

Післязбиральна обробка зернового вороху є обов'язковим етапом технологічного циклу виробництва зерна (рис.2.1), оскільки саме на цій стадії забезпечується доведення зібраної маси до стану, придатного для зберігання, реалізації або використання як насіннєвого матеріалу. Зерновий ворох, що надходить від зернозбиральних комбайнів, не є однорідною масою. Окрім зерна основної культури, у ньому містяться різні домішки, серед яких можуть бути частки соломи, полови, насіння бур'янів, уламки колосків, пил, мінеральні включення, а також щупле, травмоване чи подрібнене зерно. Крім того, вологість зернової маси не завжди відповідає нормативним вимогам, що також ускладнює її подальше зберігання.

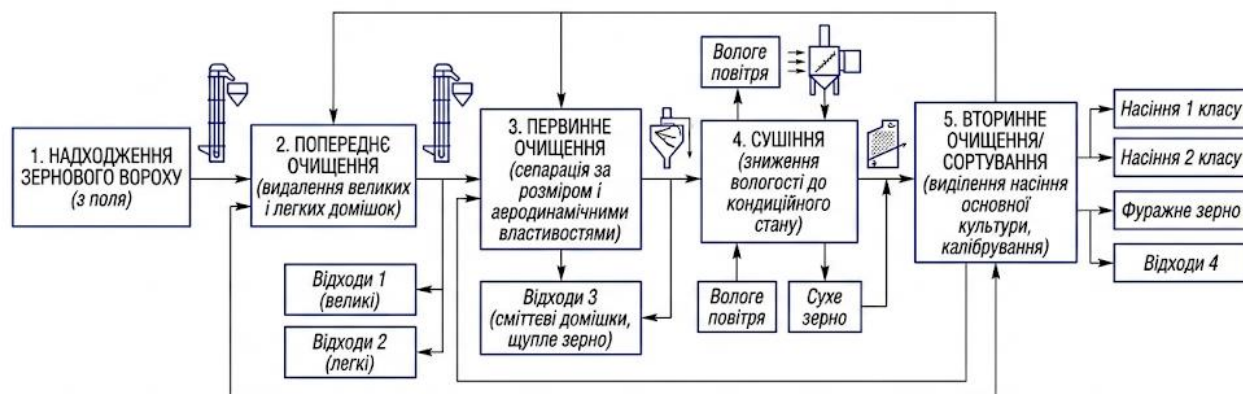


Рисунок 2.1 - Технологічна послідовність післязбиральної обробки зернового вороху

Основною метою післязбиральної обробки є відокремлення сторонніх домішок, зниження вологості зерна до безпечного рівня та формування однорідної за якістю партії продукції. У виробничих умовах цей процес виконується послідовно і включає кілька взаємопов'язаних операцій. До них належать приймання зернового вороху, попереднє очищення, первинне очищення, за потреби сушіння, вторинне очищення або сортування, а також подальше спрямування підготовленого зерна на зберігання чи реалізацію.

Першою операцією є надходження зернового вороху з поля на післязбиральний пункт господарства. Після вивантаження транспортними засобами зернова маса потрапляє на приймальний майданчик або в завальну яму, де здійснюється її первинне накопичення та візуальна оцінка стану. На цьому етапі враховується приблизний рівень засміченості, вологість, наявність великих домішок і загальний стан зібраної продукції. Така оцінка потрібна для вибору подальшого режиму обробки.

Наступним етапом є попереднє очищення зернового вороху. Його основне завдання полягає у видаленні найбільших і найлегших домішок, які ускладнюють подальшу роботу машин та можуть спричиняти забивання робочих органів. У результаті цієї операції із зернової маси видаляються грубі рослинні рештки, великі сторонні предмети, полова, частина пилу та інші включення, що різко відрізняються від основного зерна за розмірами або аеродинамічними властивостями. Попереднє очищення має важливе практичне значення, оскільки дозволяє зменшити навантаження на наступні машини технологічної лінії.

Після попереднього очищення зернова маса надходить на первинне очищення. Саме на цій стадії найбільш повно реалізуються можливості вібраційної машини. У процесі первинного очищення матеріал проходить через систему ситових поверхонь, де відбувається його розділення за геометричними ознаками частинок. Під дією коливального руху робочого органу зерновий ворох переміщується по ситах, а окремі компоненти суміші відокремлюються залежно від їхніх розмірів, форми і маси. Великі домішки

затримуються на верхніх ситах, дрібні частинки проходять крізь отвори нижніх сит, тоді як основне зерно спрямовується у відповідний вихідний канал. За наявності аспіраційного або повітряного супроводу одночасно може відбуватися й часткове відокремлення легких домішок.

У тих випадках, коли зерно після очищення має підвищену вологість, у технологічну схему включається операція сушіння. Вона необхідна для зниження вологості до кондиційного значення, за якого виключається самозігрівання зерна під час зберігання та зменшується ризик розвитку мікрофлори. Сушіння є особливо важливим для кукурудзи, гороху та зерна, зібраного за нестійких погодних умов. Після проходження сушильного обладнання зернова маса повторно подається на очищення або сортування, оскільки в процесі сушіння може змінюватися сипкість матеріалу та відокремлюваність домішок.

Вторинне очищення виконується для більш точного відокремлення залишкових домішок і поділу зерна на фракції. На цій стадії із загальної маси можуть виділяти насіння основної культури з підвищеними посівними якостями, фуражне зерно, а також некондиційні відходи. Якщо мова йде про підготовку насіннєвого матеріалу, то вторинне очищення часто поєднується з калібруванням, під час якого зерно розподіляють за розмірами та вирівняністю. Це дає можливість відібрати найбільш повноцінну фракцію, придатну для сівби.

З технологічного погляду важливо, щоб усі операції післязбиральної обробки були узгоджені між собою за продуктивністю. Якщо одна з машин працює повільніше за інші, утворюється накопичення зернової маси перед її входом, що призводить до простоїв транспорту та перевантаження окремих вузлів. У практичних умовах особливу увагу приділяють саме очисним машинам, оскільки вони безпосередньо впливають на якість доведення зерна та на ритмічність роботи всієї лінії.

Технологічний процес післязбиральної обробки можна подати у такій послідовності: надходження зернового вороху з поля, попереднє очищення,

первинне очищення, за потреби сушіння, вторинне очищення або сортування, після чого готова продукція спрямовується на зберігання або реалізацію. Побічні продукти у вигляді великих, дрібних та легких домішок відводяться окремими потоками. Така схема дає змогу не лише зменшити засміченість зерна, а й забезпечити його розподіл за господарським призначенням.

Для роботи вібраційної машини в межах цього технологічного процесу особливо важливими є рівномірність подачі матеріалу, стійкість коливального режиму та достатня інтенсивність переміщення зернової маси по ситах. Якщо подача вороху здійснюється нерівномірно або коливальний механізм працює нестабільно, на ситових поверхнях можуть виникати перевантажені зони. Це знижує якість сепарації, підвищує ймовірність забивання отворів і негативно позначається на продуктивності машини. Саме тому при вдосконаленні конструкції вібраційної машини доцільно приділяти увагу не тільки загальній схемі руху матеріалу, а й приводу, який забезпечує необхідні параметри коливань.

Отже, технологічний процес післязбиральної обробки зернового вороху є послідовністю операцій, спрямованих на покращення якісного стану зернової маси, видалення домішок, зменшення вологості та формування готових фракцій продукції. Вібраційна машина займає в цій схемі одне з ключових місць, оскільки саме вона виконує основну роботу з механічного очищення і сортування матеріалу. Від її конструктивного виконання та режиму роботи значною мірою залежить загальна ефективність післязбиральної доробки зерна в господарстві.

2.3 Аналіз існуючих машин для післязбиральної обробки зернового вороху

Післязбиральна обробка зернового вороху є однією з найбільш відповідальних стадій у загальному технологічному циклі виробництва зерна. Саме на цьому етапі формується якість готової продукції, зменшуються

втрати, забезпечується можливість безпечного зберігання та подальшого використання зерна. Для виконання цих операцій у господарствах застосовують різні типи машин, які відрізняються за принципом дії, продуктивністю, якістю очищення та конструктивною складністю.

Найбільш поширеними є повітряно-решітні, барабанні, трієрні, пневматичні та вібраційні машини. Кожен із зазначених типів має свої переваги, однак жоден із них не є універсально досконалим. Вибір конкретної конструкції визначається складом зернового вороху, рівнем його засміченості, вологістю, вимогами до продуктивності та умовами експлуатації в господарстві.

Повітряно-решітні машини (рис.2.2) широко використовуються для первинного очищення зерна. Їх робота базується на поєднанні повітряного потоку та решітного поділу. Такі машини досить ефективно видаляють легкі домішки, пил, полови та частково розділяють матеріал за розміром. Їх перевагою є відносна універсальність і можливість використання для різних культур. Разом з тим робота цих машин суттєво залежить від стабільності повітряного режиму. За нерівномірної подачі вороху або зміни вологості матеріалу якість очищення помітно знижується. Крім того, системи аспірації потребують додаткового регулювання та обслуговування.

Барабанні зерноочисні машини працюють за принципом проходження зернової маси через обертові решітні поверхні. Їх перевагою є конструктивна простота та можливість відділення грубих домішок при значній подачі матеріалу. Однак барабанні системи менш придатні для точного сортування, особливо у випадках, коли потрібно розділити зерно та домішки, що близькі за розмірами. У таких умовах якість сепарації виявляється недостатньою, а частина корисного зерна може потрапляти у відходи.

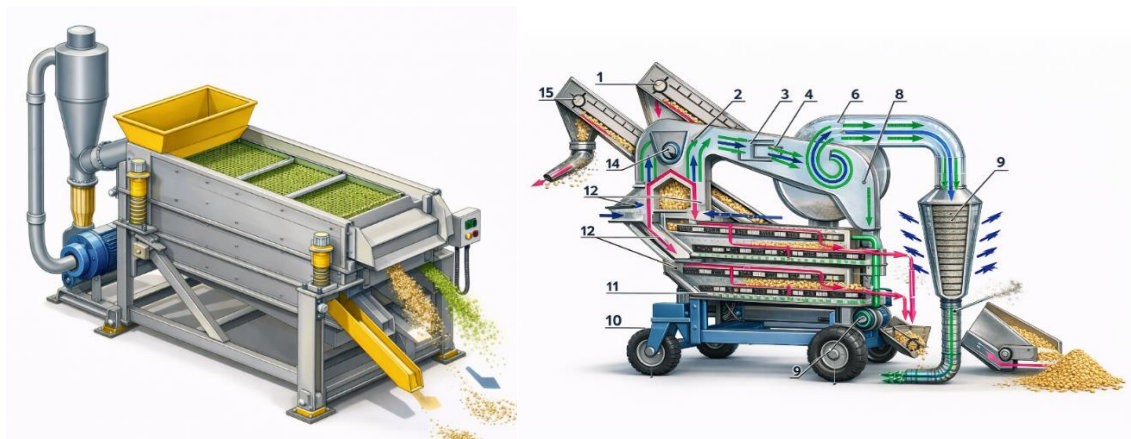


Рисунок 2.2 – Повітряно-решітна машина

1 – завантажувальний транспортер; 2 – приймальна камера; 3 – повітропровід; 4 – заслінка; 5 – вентилятор; 6 – камера; 7 – пиловідокремлювач; 8 – пневмотранспортер; 9 – шнек відходів; 10 – колесо; 11 – рама; 12 – решітні стани; 13 – пневмосепарувальні канали; 14 – шнек розподільний; 15 – вивантажувальний транспортер

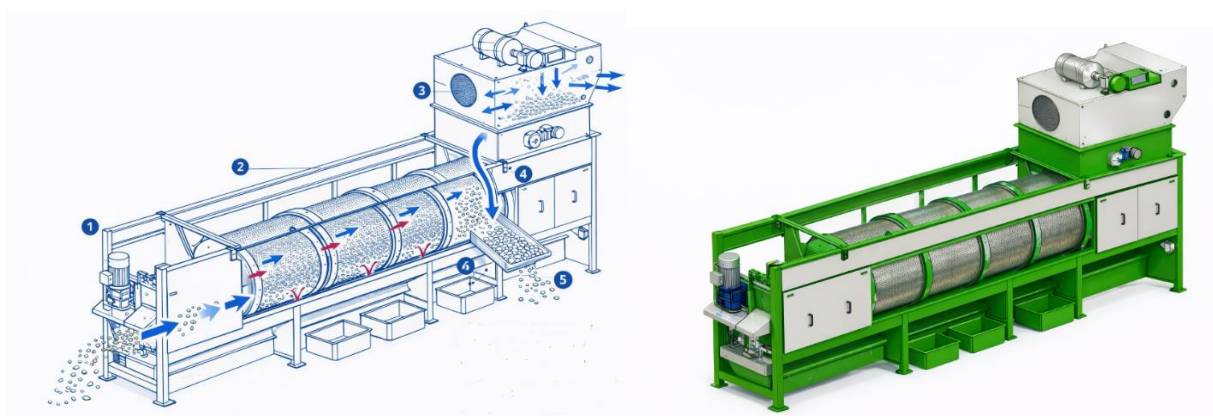


Рисунок 2.3 - Барабанні зерноочисні машини

1 - подача брудного зерна; 2 - сепарацийний барабан; 3 - видалення легких домішок; 4 - видалення сміття та дрібних домішок; 5 - Подача очищеного зерна

Трієрні машини призначені переважно для більш точного очищення і сортування зерна за довжиною частинок. Вони дозволяють ефективно відокремлювати домішки, які відрізняються від основної культури за геометричною формою. Разом із тим їх застосування доцільне здебільшого як додатковий етап очищення, а не як основна машина у складі післязбиральної

лінії. Таке обладнання має складніший робочий процес, порівняно вузьку спеціалізацію і зазвичай використовується після попереднього очищення.

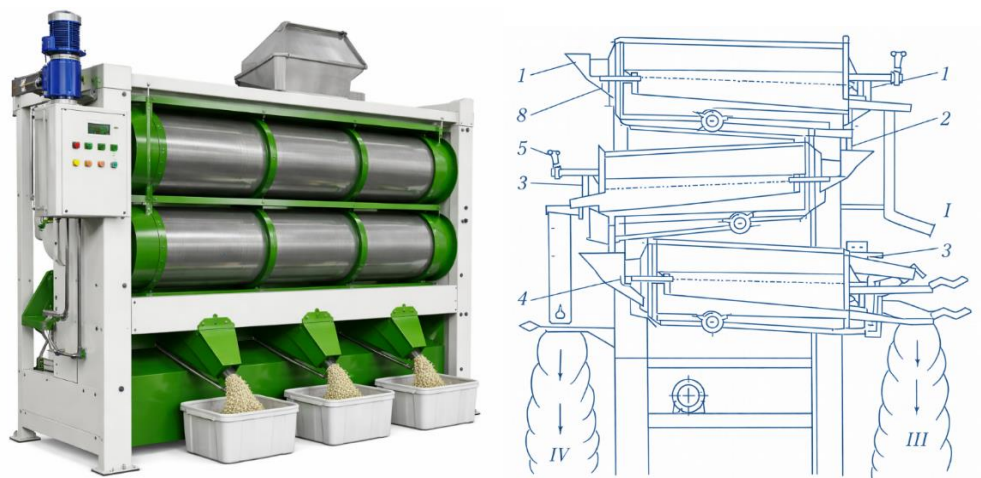


Рисунок 2.4 – Трієрні машини

- 1 – лотік; 2 і 5 – прохідні лійки; 3 – лопатеве колесо;
4, 7 і 8 – трієрні циліндри; 6 – важіль положення лотка;
9 – приймальна лійка; I – IV – виходи

Пневматичні (рис.2.5) сепаратори забезпечують поділ компонентів вороху за аеродинамічними властивостями. Вони є ефективними для видалення пилу, полови, легких органічних домішок та щуплого зерна. Проте відокремлення часток, близьких за масою або формою до основного зерна, за допомогою лише повітряного потоку є недостатньо точним. Через це пневматичні системи частіше застосовують у поєднанні з іншими типами машин.

На цьому фоні вібраційні машини займають особливе місце. Їх перевага полягає в тому, що процес очищення відбувається внаслідок інтенсивного коливального руху ситових поверхонь, завдяки чому зерновий ворох активно перерозподіляється по робочому органу, краще контактує з ситом і ефективніше розділяється на окремі фракції. Машини такого типу можуть забезпечувати достатньо високу продуктивність, добру якість очищення та можливість роботи з різними культурами. Окрім того, вони порівняно добре

пристосовуються до умов середніх і великих господарств, де потрібна стабільна робота в період масового надходження зерна з поля.

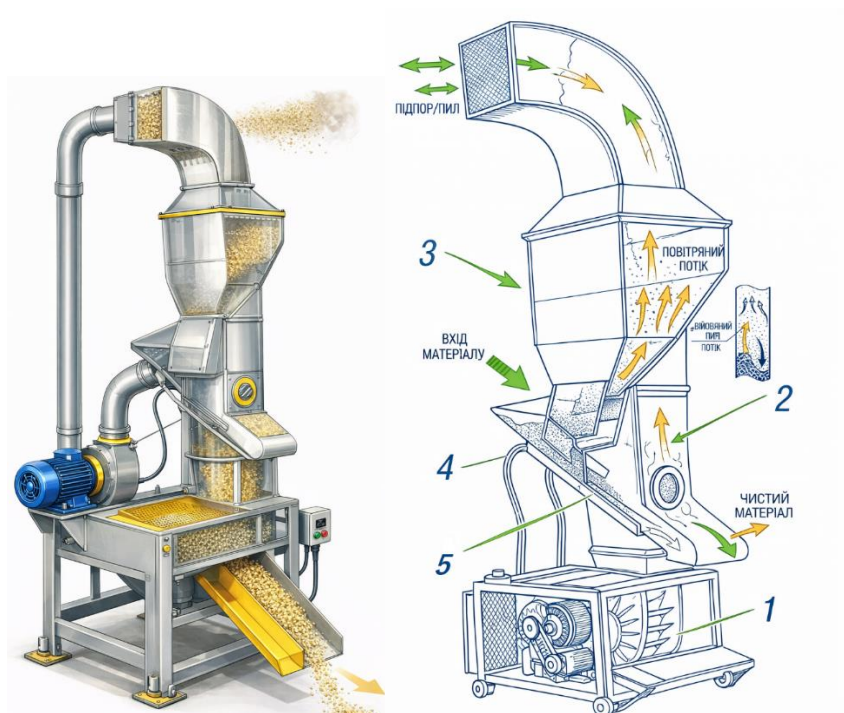


Рисунок 2.5 – Пневматичні сепаратори

1 – вентилятор; 2 – повітряний канал; 3 – осаджувальна камера;
4 – приймальний бункер; 5 – сітка

Разом з тим практика експлуатації показує, що наявні конструкції вібраційних машин також мають низку недоліків. Найбільш проблемним вузлом є привід коливального руху, оскільки саме він працює в умовах змінних навантажень, вібрації та циклічного навантаження на деталі. При недостатньо раціональній конструкції вала-ексцентрика, втулок, толкателя, пружини або елементів передачі виникають підвищені люфти, нерівномірність коливань, посилений знос і погіршення технологічного процесу очищення. У результаті знижується якість сепарації, збільшуються втрати корисного зерна та зростають витрати на технічне обслуговування.

Таблиця 2.1

Порівняльна характеристика існуючих машин для післязбиральної
обробки зернового вороху

Тип машини	Принцип дії	Переваги	Недоліки	Оцінка придатності для господарства
Повітряно-решітна	поєднання повітряного потоку і решітного поділу	універсальність, ефективне видалення легких домішок	чутливість до нерівномірної подачі, потреба в регулюванні і аспірації	придатна для первинного очищення
Барабанна	просіювання в обертовому барабані	проста конструкція, добра робота з грубими домішками	нижча точність поділу, обмежені можливості тонкого сортування	доцільна для попереднього очищення
Трієрна	розділення за довжиною частинок	висока точність для окремих домішок	вузька спеціалізація, не є основною машиною лінії	доцільна як додатковий етап
Пневматична	поділ за аеродинамічними властивостями	добре видаляє легкі домішки, пил і половику	недостатня точність для важких домішок	ефективна лише в комбінації з іншими машинами
Вібраційна	поділ на ситах під дією коливального руху	висока інтенсивність сепарації, добра продуктивність, можливість сортування	залежність ефективності від стану приводу, знос вузлів коливального механізму	найбільш доцільна для модернізації

Із наведеної таблиці видно, що саме вібраційна машина найбільш повно відповідає умовам господарства, де зерновий ворох надходить у значних

обсягах, має різну засміченість і потребує не лише очищення, а й поділу на окремі фракції. На відміну від барабанних і суто пневматичних систем, вона забезпечує більш інтенсивний і керований процес сепарації. На відміну від трієрів, вібраційна машина є придатною не для вузькоспеціалізованої, а для основної технологічної операції.

Отже, проблема полягає не в тому, що сама схема вібраційного очищення є недосконалою. Навпаки, саме цей спосіб є достатньо перспективним для умов післязбиральної обробки. Недосконалість полягає переважно у конструктивному виконанні окремих вузлів приводу, які не завжди забезпечують стабільний режим коливань робочого органу. Через це резерв підвищення ефективності полягає не у повній заміні машини іншим типом обладнання, а у її цілеспрямованій модернізації.

Актуальність модернізації пояснюється кількома причинами. По-перше, у виробничих умовах якість очищення зерна безпосередньо впливає на збереження його товарних і посівних властивостей. По-друге, нестабільна робота приводу викликає нерівномірне переміщення вороху по ситах, а це зменшує ефективність виділення домішок. По-третє, знос деталей коливального механізму призводить до частіших зупинок, ремонтів і додаткових витрат. По-четверте, у разі вдосконалення саме приводу можна підвищити продуктивність машини без принципової зміни загальної технологічної схеми.

У розглянутій конструкції ключовими деталями приводу є електродвигун, пасова передача, шків, вал-ексцентрик, втулка, толкатель, пружина та вісь. Саме ці елементи формують кінематичний режим роботи машини і визначають амплітуду, частоту та стабільність коливального руху ситового корпусу. Якщо хоча б один із зазначених вузлів працює нераціонально, це відразу позначається на всьому процесі очищення. Тому модернізація приводу коливального руху є технічно виправданим напрямом підвищення ефективності машини.

Причини, що обумовлюють необхідність модернізації вібраційної
машини

Виробнича проблема	Її прояв у базовій машині	Наслідок	Напрямок усунення
Нестабільний коливальний режим	нерівномірний рух вороху по ситах	зниження якості очищення	удосконалення приводу
Підвищений знос вузлів	люфти у втулках, осях, з'єднаннях	скорочення ресурсу машини	уточнення конструкції сполучень
Недостатня адаптивність до різних культур	складність налаштування режиму	зниження універсальності	обґрунтування режимних параметрів
Динамічні перевантаження	вібраційні удари, шум, підвищене навантаження	збільшення витрат на ремонт	оптимізація ексцентриково-пружинного механізму
Втрати корисного зерна	неповне відокремлення домішок або винесення зерна у відходи	економічні збитки	стабілізація процесу сепарації

Висновки

Таким чином, аналіз існуючих машин показує, що для умов післязбиральної обробки зернового вороху найбільш перспективною є саме вібраційна схема очищення. Її технічні переваги дозволяють забезпечити інтенсивний поділ матеріалу, високу продуктивність і прийнятну якість очищення. Водночас наявні конструктивні недоліки приводу коливального руху знижують потенційну ефективність машини. Саме тому модернізація вібраційної машини, спрямована на вдосконалення її приводу, є актуальною, технічно обґрунтованою та доцільною для впровадження у виробничих умовах.

3 РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЙНОЇ МАШИНИ

У цьому розділі виконано розрахунок основних параметрів модернізованої вібраційної машини для післязбиральної обробки зернового вороху. Основну увагу приділено визначенню продуктивності, параметрів коливального руху та перевірці міцності деталей приводу. Розрахунок проведено для варіанта, у якому коливальний рух робочого органу створюється за допомогою ексцентрикового механізму через систему «вал-ексцентрик – толкатель – пружина».

Для проведення розрахунку приймаємо такі вихідні дані:

проектна культура - пшениця;

насипна густина зернового вороху $\rho = 750 \text{ кг/м}^3$;

вологість вороху $W = 15...17 \%$;

засміченість вороху - $5...7 \%$;

довжина одного сита $L = 1,4 \text{ м}$;

ширина одного сита $b = 0,8 \text{ м}$;

кількість ситових ярусів $z = 3$;

маса рухомої частини машини $m = 220 \text{ кг}$;

кількість пружин $n_{\text{п}} = 4$;

радіус ексцентрика $e = 5 \text{ мм} = 0,005 \text{ м}$;

додаткова сила опору руху зернової маси $F_{\text{оп}} = 650 \text{ Н}$;

частота обертання електродвигуна $n_1 = 1450 \text{ хв}^{-1}$;

матеріал вала-ексцентрика, осі і толкателя - сталь 45;

матеріал пружини - сталь 60С2А;

матеріал втулки - бронза.

Прийняті параметри відповідають умовам роботи машини в господарстві середньої потужності та забезпечують можливість подальшого вибору раціональних конструктивних розмірів.

Сумарна площа сит визначається за формулою:

$$F = b \cdot L \cdot z$$

де

b - ширина сита, м;

L - довжина сита, м;

z - кількість ситових ярусів.

Підставляючи числові значення, одержимо:

$$F = 0,8 \cdot 1,4 \cdot 3 = 3,36 \text{ м}^2$$

Проектну продуктивність машини визначаємо за питомим навантаженням на ситову поверхню:

$$Q = F \cdot q \cdot \varphi$$

де

$q = 1,8 \text{ т}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ - питоме навантаження на сито;

$\varphi = 0,85$ - коефіцієнт використання площі сит.

Тоді

$$Q = 3,36 \cdot 1,8 \cdot 0,85 = 5,14 \text{ т/год}$$

Для перевірки продуктивності виконаємо додатковий розрахунок за об'ємною подачею:

$$Q_1 = 3600 \cdot b \cdot h \cdot v \cdot \rho \cdot \varphi_1$$

де

$h = 0,013 \text{ м}$ - середня товщина шару матеріалу;

$v = 0,23$ м/с - швидкість переміщення матеріалу по сити;

$\rho = 750$ кг/м³ - насипна густина вороху;

$\varphi_1 = 0,72$ - коефіцієнт заповнення потоку.

Тоді

$$Q_1 = 3600 \cdot 0,8 \cdot 0,013 \cdot 0,23 \cdot 750 \cdot 0,72 = 4650 \text{ кг/год} = 4,65 \text{ т/год}$$

Отримані значення є близькими, тому для подальших розрахунків приймаємо проектну продуктивність:

$$Q = 5,0 \text{ т/год}$$

Для ефективної сепарації необхідно, щоб максимальне прискорення робочого органу перевищувало прискорення вільного падіння. Цю умову записуємо у вигляді:

$$a_{\max} = \psi \cdot g$$

де

$\psi = 1,15$ - коефіцієнт інтенсивності коливань;

$g = 9,81$ м/с²

З іншого боку, для гармонічного руху:

$$a_{\max} = \omega^2 \cdot e$$

звідки кутова швидкість:

$$\omega = \sqrt{\frac{\psi \cdot g}{e}}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{1,15 \cdot 9,81}{0,005}} = 47,5 \text{ с}^{-1}$$

Частота обертання вала-ексцентрика:

$$n = \frac{\omega \cdot 30}{\pi}$$

тоді

$$n = \frac{47,5 \cdot 30}{3,14} = 453,6 \text{ хв}^{-1}$$

Приймаємо:

$$n = 454 \text{ хв}^{-1}$$

Повна амплітуда коливань:

$$A = 2e = 2 \cdot 5 = 10 \text{ мм}$$

Максимальна швидкість коливального руху:

$$v_{\max} = \omega \cdot e = 47,5 \cdot 0,005 = 0,238 \text{ м/с}$$

Максимальне прискорення:

$$a_{max} = \omega^2 \cdot e = 47,5^2 \cdot 0,005 = 11,28 \text{ м/с}^2$$

Інерційна сила, що діє на рухому частину машини,

$$F_i = m \cdot e \cdot \omega^2$$

тому

$$F_i = 220 \cdot 0,005 \cdot 47,5^2 = 2482 \text{ Н}$$

Повна сила, яку повинен сприймати приводний механізм, становить:

$$F_{\Sigma} = F_i + F_{on}$$

$$F_{\Sigma} = 2482 + 650 = 3132 \text{ Н}$$

Отже, привод повинен забезпечити коливальний режим із частотою близько 454 хв^{-1} та повною амплітудою 10 мм.

Вал-ексцентрик працює на згин і кручення. Приймаємо:

проліт між опорами $l = 0,18 \text{ м}$;

консольне винесення шківів $l_1 = 0,08 \text{ м}$;

сила від толкателя $F_{\Sigma} = 3132 \text{ Н}$;

радіальне навантаження від пасової передачі $F_T = 375 \text{ Н}$.

Максимальний згинальний момент від сили толкателя:

$$M_1 = \frac{F_{\Sigma} \cdot l}{4}$$

$$M_1 = \frac{3132 \cdot 0,18}{4} = 140,9 \text{ Н/м}$$

Згинальний момент від радіального навантаження пасової передачі:

$$M_2 = F_T \cdot l_1$$

$$M_2 = 375 \cdot 0,08 = 30,0 \text{ Н/м}$$

Сумарний згинальний момент:

$$M = M_1 + M_2 = 140,9 + 30,0 = 170,9 \text{ Н/м}$$

Крутний момент на валу:

$$T = \frac{9550 \cdot P}{n}$$

де

$P = 1,22 \text{ кВт}$ - розрахункова потужність;

$n = 451 \text{ хв}^{-1}$

Тоді

$$T = \frac{9550 \cdot 1,22}{451} = 25,8 \text{ Н/м}$$

Еквівалентний момент:

$$M_{екв} = \sqrt{M^2 + 0,75 \cdot T^2}$$

$$M_{екв} = \sqrt{170,9^2 + 0,75 \cdot 25,8^2} = 172,4 \text{ Н/м}$$

Необхідний діаметр вала визначаємо з умови міцності:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{екв}}{\pi [\sigma]}}$$

де $[\sigma] = 50 \text{ МПа}$ - допустиме напруження.

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 172400}{3,14 \cdot 50}} = 32,7 \text{ мм}$$

Приймаємо конструктивно:

$$d = 35 \text{ мм}$$

Перевірочне напруження згину:

$$\sigma = \frac{32 \cdot M_{екв}}{\pi \cdot d^3}$$

$$\sigma = \frac{32 \cdot 172400}{3,14 \cdot 35^3} = 40,96 \text{ МПа}$$

Оскільки:

$$\sigma < [\sigma]$$

то міцність вала-ексцентрика забезпечується.

Для уникнення резонансного режиму власну кутову частоту системи приймаємо на рівні:

$$\omega_0 = 0,6\omega$$

$$\omega_0 = 0,6 \cdot 47,5 = 28,5 \text{ с}^{-1}$$

Сумарна жорсткість усіх пружин:

$$k_{\Sigma} = m \cdot \omega_0^2$$

$$k_{\Sigma} = 220 \cdot 28,5^2 = 178699 \text{ Н/м}$$

Жорсткість однієї пружини:

$$k_1 = \frac{k_{\Sigma}}{n_p} = \frac{178699}{4} = 44675 \text{ Н/м}$$

Приймаємо:

діаметр дроту $d_p = 12 \text{ мм}$;

середній діаметр витка $D = 72 \text{ мм}$;

кількість активних витків $n_a = 13$.

Жорсткість пружини стиску:

$$k = \frac{Gd_p^4}{8D^3n_a}$$

де $G = 8 \cdot 10^{10} \text{ Па}$.

$$k = \frac{8 \cdot 10^{10} \cdot 0,012^4}{8 \cdot 0,072^3 \cdot 13} = 42735 \text{ Н/м}$$

Статичне навантаження на одну пружину:

$$F_{cm} = \frac{mg}{4}$$

$$F_{cm} = \frac{220 \cdot 9,81}{4} = 539,6 \text{ Н}$$

Динамічне навантаження на одну пружину:

$$F_{дин} = \frac{F_{\Sigma}}{4} = \frac{3132}{4} = 783,0 \text{ Н}$$

Максимальне навантаження:

$$F_{\max} = F_{cm} + F_{дин} = 539,6 + 783,0 = 1322,6 \text{ Н}$$

Індекс пружини:

$$C = \frac{D}{d_p} = \frac{72}{12} = 6$$

Коефіцієнт Вала:

$$k_w = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0,615}{C} = 1,25$$

Максимальне дотичне напруження:

$$\tau_{\max} = \frac{8F_{\max} D k_w}{\pi d_p^3}$$

$$\tau_{\max} = 175,8 \text{ МПа}$$

Робоча деформація пружини:

$$f = \frac{F_{\max}}{k}$$

$$f = \frac{1322,6}{42735} = 0,0309 \text{ м} = 30,9 \text{ мм}$$

Отже, прийнята пружина забезпечує необхідну жорсткість і має достатню міцність.

Толкатель працює переважно на стиск. Приймаємо:

діаметр толкателя $d_t = 16 \text{ мм}$;

робочу довжину $l_t = 260 \text{ мм} = 0,26 \text{ м}$;

сила стиску $F_{\Sigma} = 3132 \text{ Н}$.

Напруження стиску:

$$\sigma_{\text{ст}} = \frac{4F_{\Sigma}}{\pi d_t^2}$$

$$\sigma_{\text{ст}} = \frac{4 \cdot 3132}{3,14 \cdot 16^2} = 15,6 \text{ МПа}$$

Перевіримо стійкість толкателя за формулою Ейлера:

$$P_{\text{кр}} = \frac{\pi^2 EI}{l_t^2}$$

Де

$$E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па};$$

$$I = \frac{\pi d_t^4}{64}.$$

$$P_{\text{кр}} = 93,9 \text{ кН}$$

Коефіцієнт запасу стійкості:

$$n_{cm} = \frac{P_{kp}}{F_{\Sigma}} = \frac{93900}{3132} \approx 30$$

Отже, толкатель діаметром 16 мм має достатню міцність і стійкість.

Приймаємо:

діаметр осі $d_B = 18$ мм;

довжина втулки $l_{BT} = 25$ мм.

Оскільки вісь працює в подвійному зрізі, напруження зрізу визначається за формулою:

$$\tau_B = \frac{F_{\Sigma}}{2 \cdot \frac{\pi d_B^2}{4}}$$

$$\tau_B = \frac{3132}{2 \cdot 3,14 \cdot 18^2 / 4} = 6,15 \text{ МПа}$$

Згинальний момент:

$$M_B = \frac{F_{\Sigma} \cdot 0,028}{4} = 21,9 \text{ Н/м}$$

Напруження згину:

$$\sigma_B = \frac{32 \cdot M_B}{\pi \cdot d_B^3}$$

$$\sigma_B = \frac{32 \cdot 21,9 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 18^3} = 38,3 \text{ МПа}$$

Питомий тиск у втулці:

$$p = \frac{F_{\Sigma}}{d_B \cdot l_{em}}$$

$$p = \frac{3132}{0,018 \cdot 0,025} = 6,96 \text{ МПа}$$

Оскільки допустимий питомий тиск для бронзових втулок становить 8...10 МПа, прийняте сполучення осі і втулки є працездатним.

Необхідне передаточне число:

$$u = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1450}{454} = 3,19$$

Приймаємо діаметри шківів:

ведучий шків $d_1 = 100$ мм;

ведений шків $d_2 = 315$ мм.

Фактичне передаточне число:

$$u_f = \frac{d_2}{d_1} = \frac{315}{100} = 3,15$$

З урахуванням ковзання $s = 0,02$ частота обертання веденого шківа становить:

$$n_2 = n_1 \cdot \frac{d_1}{d_2} \cdot (1 - s)$$

$$n_2 = 1450 \cdot \frac{100}{315} \cdot 0,98 = 451 \text{ хв}^{-1}$$

Швидкість руху паса:

$$\nu_p = \frac{\pi d_1 n_1}{60}$$

$$\nu_p = \frac{3,14 \cdot 0,1 \cdot 1450}{60} = 7,59 \text{ м/с}$$

Приймаємо міжосьову відстань:

$$a = 630 \text{ мм}$$

Розрахункова довжина паса:

$$L = 2a + \frac{\pi(d_1 + d_2)}{2} + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4a}$$

$$L = 2 \cdot 630 + \frac{3,14(100 + 315)}{2} + \frac{(315 - 100)^2}{4 \cdot 630} \approx 1930 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартну довжину паса:

$$L_{\text{ст}} = 1950 \text{ мм}$$

Кут обхвату малого шківів:

$$\alpha = 180 - 57 \frac{d_2 - d_1}{a}$$

$$\alpha = 180 - 57 \cdot \frac{315 - 100}{630} = 160,5^\circ$$

Для передачі потужності приймаємо дві клинопасові стрічки профілю А.

Різниця натягів в одному пасі:

$$\Delta F = \frac{1000P}{\nu_p z}$$

де $z = 2$ - кількість пасів.

$$\Delta F = \frac{1000 \cdot 1,22}{7,59 \cdot 2} = 80,3 \text{ Н}$$

При співвідношенні натягів $F_1/F_2 = 2,5$ одержимо:

$$F_2 = \frac{\Delta F}{2,5-1} = 53,6 \text{ Н}$$

$$F_1 = 2,5 \cdot F_2 = 133,9 \text{ Н}$$

Сумарне радіальне навантаження на вал:

$$F_r = 2(F_1 + F_2) = 374,9 \text{ Н}$$

Крутний момент, який створюється зусиллям у механізмі:

$$M_{кр} = F_{\Sigma} \cdot e$$

$$M_{кр} = 3132 \cdot 0,005 = 15,66 \text{ Н/м}$$

Необхідна потужність на валу-ексцентрику:

$$P_{номр} = \frac{M_{кр} \cdot \omega}{\eta}$$

де $\eta = 0,85$ - ККД передачі.

$$P_{номр} = \frac{15,66 \cdot 47,5}{0,85} = 875 \text{ Вт} = 0,875 \text{ кВт}$$

З урахуванням коефіцієнта запасу $k_3 = 1,4$ розрахункова потужність двигуна:

$$P_{\partial\partial} = P_{\text{ном}} \cdot k_3$$

$$P_{\partial\partial} = 0,875 \cdot 1,4 = 1,225 \text{ кВт}$$

Приймаємо стандартний асинхронний електродвигун:

$$P_{\text{ном}} = 1,5 \text{ кВт}, \quad n_{\text{ном}} = 1450 \text{ хв}^{-1}$$

Запас потужності:

$$k_{\phi} = \frac{P_{\text{ном}}}{P_{\partial\partial}} = \frac{1,5}{1,225} = 1,22$$

Отже, двигун потужністю 1,5 кВт забезпечує надійну роботу приводу.

Основною складальною одиницею модернізованої конструкції є вузол приводу коливального руху. До його складу входять: електродвигун; ведучий і ведений шків; пасова передача; вал-ексцентрик; толкатель; пружина; вісь; втулка; кронштейни та опорні елементи.

Вал-ексцентрик призначений для перетворення обертального руху у зворотно-поступальний. Деталь виготовляється зі сталі 45. Основні параметри: діаметр шийок 35 мм, ексцентриситет 5 мм.

Пружина забезпечує пружний зв'язок у механізмі та зменшує ударні навантаження. Матеріал - сталь 60С2А. Основні параметри: діаметр дроту 12 мм, середній діаметр витка 72 мм, кількість активних витків 13.

Толкатель передає зусилля від ексцентрикового вала до робочого органу. Матеріал - сталь 45. Розрахунковий діаметр - 16 мм.

Шарнірне з'єднання виконується за допомогою осі діаметром 18 мм і бронзової втулки 18×28×25 мм.

На валу двигуна встановлюється ведучий шків діаметром 100 мм, а на валу-ексцентрику - ведений шків діаметром 315 мм.

У графічній частині доцільно деталювати такі вузли: вал-ексцентрик; пружину; толкатель; вісь; втулку; шків.

У результаті виконаних розрахунків встановлено, що модернізована вібраційна машина може забезпечити проектну продуктивність

$$Q = 5,0 \text{ т/год.}$$

Рациональними параметрами коливального руху є: частота обертання вала-ексцентрика - $n = 454 \text{ хв}^{-1}$; радіус ексцентрика - $e = 5 \text{ мм}$; повна амплітуда коливань - $A = 10 \text{ мм}$.

Розрахунком встановлено, що вал-ексцентрик повинен мати діаметр 35 мм, толкатель - 16 мм, вісь шарнірного з'єднання - 18 мм. Для пружного елемента прийнято циліндричну пружину з дроту 12 мм, середнім діаметром витка 72 мм і 13 активними витками.

Для приводу машини обґрунтовано застосування двопасової клинопасової передачі зі шківками 100 і 315 мм та асинхронного електродвигуна потужністю 1,5 кВт.

Отримані результати підтверджують працездатність запропонованої конструкції та можуть бути використані для подальшого оформлення графічної частини дипломного проекту.

Висновки

У результаті виконання розрахунково-конструкторської частини встановлено, що модернізована вібраційна машина забезпечує продуктивність 5,0 т/год, що відповідає потребам сільськогосподарського господарства. Розрахунком обґрунтовано основні параметри коливального руху: частота обертання вала-ексцентрика становить 454 хв^{-1} , радіус ексцентрика - 5 мм, а повна амплітуда коливань - 10 мм.

Перевіркою на міцність підтверджено працездатність основних деталей приводу. Для вала-ексцентрика прийнято діаметр 35 мм, для толкателя - 16 мм, для осі - 18 мм. Для пружного елемента обґрунтовано застосування

циліндричної пружини з дроту 12 мм, середнім діаметром витка 72 мм і 13 активними витками. Отримані напруження не перевищують допустимих значень.

Для приводу машини прийнято шківний привід і електродвигун потужністю 1,5 кВт. Отже, виконані розрахунки підтвердили, що запропонована модернізація є технічно обґрунтованою, а прийняті конструктивні параметри забезпечують надійну та стабільну роботу вібраційної машини.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Безпечна експлуатація машин і обладнання є обов'язковою умовою ефективної діяльності сільськогосподарського підприємства. Післязбиральна обробка зернового вороху належить до тих виробничих процесів, під час яких працівник контактує з механізованими установками, рухомими вузлами, електрообладнанням, пилом органічного походження та підвищеним рівнем шуму і вібрації. Саме тому при впровадженні модернізованої вібраційної машини необхідно не лише забезпечити її технологічну ефективність, а й передбачити комплекс заходів, спрямованих на зниження професійного ризику, попередження травматизму та створення безпечних умов праці.

Особливість роботи вібраційної машини полягає в тому, що вона функціонує в умовах дії змінних динамічних навантажень. Робочий орган машини здійснює коливальний рух, а привідні вузли, передавальні елементи і шарнірні з'єднання працюють у режимі багаторазового циклічного навантаження. Це потребує підвищеної уваги до конструктивної безпеки, надійності кріплень, справності захисних кожухів, а також до організації робочого місця оператора.

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Під час роботи вібраційної машини на працівника можуть діяти як небезпечні, так і шкідливі виробничі фактори. До небезпечних факторів належать ті, які можуть спричинити травму або раптове погіршення стану здоров'я, а до шкідливих - ті, що негативно впливають на організм протягом тривалого часу.

Найбільш характерним небезпечним фактором є наявність рухомих і обертових елементів машини. До них належать вал-ексцентрик, шків, з'єднувальні вузли приводу, а також рухомі частини ситового корпусу. У разі

відсутності захисних огорожень або при їх пошкодженні існує небезпека захоплення одягу, травмування рук, ударів рухомими деталями чи потрапляння сторонніх предметів у механізм. Особливо небезпечними є зони поблизу приводу та місця обслуговування машини під час роботи.

Іншим небезпечним фактором є можливість ураження електричним струмом. Вібраційна машина приводиться в дію електродвигуном, тому несправність електричної ізоляції, пошкодження кабелю, відсутність заземлення, неправильне підключення або потрапляння вологи на елементи електромережі можуть стати причиною електротравми. Імовірність такої небезпеки зростає в умовах виробничих приміщень із підвищеним запиленням і сезонними перепадами вологості.

До шкідливих виробничих факторів належать підвищений рівень шуму та вібрації. Джерелом шуму є електродвигун, привідний механізм, ударні явища у вузлах при зношенні деталей, а також переміщення зернового матеріалу по металевих поверхнях. Тривала дія шуму викликає втому, знижує увагу працівника і негативно впливає на слуховий апарат. Вібрація, що виникає в процесі роботи машини, може передаватися через станину і конструкції приміщення, а за відсутності ефективного пружного підвішування та амортизації - впливати на самопочуття оператора і сприяти передчасному зношенню обладнання.

Значну небезпеку на зерноочисних пунктах становить запиленість повітря. Під час очищення зернового вороху в повітря робочої зони потрапляють органічний пил, дрібні рослинні частки, мікроскопічні домішки ґрунту та полови. У разі тривалого вдихання вони подразнюють органи дихання, слизові оболонки очей та можуть викликати алергічні реакції. Окрім цього, зерновий пил є пожежонебезпечним, а в певних умовах за високої концентрації - вибухонебезпечним.

Серед додаткових факторів слід виділити фізичне навантаження під час ручного обслуговування, очищення машини, заміни сит, підтягування кріплень і технічного огляду. За незручного розміщення органів керування,

недостатнього освітлення чи захаращення робочої зони зростає ризик падіння, ударів і травмування.

Отже, умови праці при експлуатації вібраційної машини потребують обов'язкового врахування комплексу технічних, санітарно-гігієнічних та організаційних заходів, спрямованих на недопущення травматизму і професійних захворювань.

4.2 Вимоги безпеки під час експлуатації вібраційної машини

Безпечна робота вібраційної машини забезпечується насамперед правильним монтажем, справним технічним станом усіх вузлів та дотриманням встановленого порядку експлуатації. Машину слід встановлювати на міцній, рівній основі, що виключає її самовільне зміщення або перекид під час роботи. Усі кріплення станини, пружних елементів і приводного механізму повинні бути надійно затягнуті, а сам агрегат - відрегульований так, щоб під час роботи не виникало перекосів, перекочування чи ударів рухомих частин об нерухомі елементи.

Перед початком роботи необхідно перевірити справність приводу, наявність і надійність захисних кожухів, стан шківа, вала-ексцентрика, осей, втулок, пружин і з'єднувальних елементів. Окрему увагу слід приділяти відсутності тріщин, надмірних люфтів, ослаблення різьбових з'єднань та інших дефектів, що можуть призвести до аварійної ситуації. Пуск машини допускається лише після перевірки, що в робочій зоні немає сторонніх предметів, а всі працівники знаходяться поза небезпечними ділянками.

Подача зернового вороху в машину повинна бути рівномірною і відповідати її продуктивності. Перевантаження машини призводить не лише до погіршення якості очищення, а й до збільшення навантаження на привід, пружини та опорні вузли. При цьому зростає ризик руйнування окремих деталей, посиленого шуму та вібрації. Не допускається ручне проштовхування матеріалу в завантажувальну зону при ввімкненому механізмі.

Під час роботи забороняється відкривати захисні кожухи, підходити до рухомих частин на небезпечну відстань, торкатися руками шківів, валів, пружинних елементів або проводити очищення і регулювання механізму без зупинки електродвигуна. Усі роботи, пов'язані з оглядом, усуненням несправностей, заміною сит чи обслуговуванням приводу, необхідно виконувати лише після повного відключення машини від електромережі.

Робоче місце біля машини слід підтримувати в чистоті. Розсипане зерно, полови, пил і сторонні предмети повинні своєчасно прибиратися, оскільки вони не лише ускладнюють пересування працівника, а й підвищують пожежну небезпеку. Проходи біля машини не можна захащувати мішками, інструментом, тарою або запасними деталями.

До роботи на вібраційній машині допускаються особи, які пройшли інструктаж з охорони праці, ознайомлені з будовою обладнання, принципом його дії та порядком безпечного обслуговування. Працівник повинен бути забезпечений справним спецодягом, який не має вільно звисаючих елементів, що можуть бути захоплені рухомими деталями.

Оскільки вібраційна машина працює від електроприводу, важливе значення має дотримання вимог електробезпеки. Корпус електродвигуна, станина машини та металеві частини, які за аварійних умов можуть опинитися під напругою, мають бути надійно заземлені. Кабелі живлення повинні мати справну ізоляцію, а місця їх підключення - бути захищені від механічних пошкоджень, пилу та вологи.

Пускова апаратура повинна бути розміщена в зручному та безпечному місці, а кнопки запуску і зупинки - легко доступними для оператора. Доцільно передбачити аварійну кнопку відключення, яка дозволить швидко знеструмити машину у випадку небезпеки. Забороняється користуватися обладнанням при іскрінні контактів, запаху підгорілої ізоляції, нагріванні електродвигуна понад допустимий рівень або пошкодженні пускових пристроїв.

Пожежна безпека на ділянці післязбиральної обробки зерна має особливе значення, оскільки в зоні роботи накопичується органічний пил, сухі рослинні домішки та зернова маса. За наявності джерела займання це може стати причиною пожежі. Тому на робочому місці необхідно заборонити використання відкритого вогню, паління, проведення зварювальних робіт без спеціальних заходів, а також експлуатацію несправного електрообладнання.

Пил і рослинні рештки не повинні накопичуватися на електродвигуні, у зоні шківів, біля кабелів та на нагрітих поверхнях. Приміщення або майданчик, де працює машина, повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння. Працівник має знати порядок дій у разі пожежі, місце розташування вогнегасника та спосіб безпечного відключення обладнання від електроживлення.

Для зменшення шкідливого впливу шуму, пилу і вібрації доцільно застосовувати як конструктивні, так і організаційні заходи. Насамперед машина повинна бути технічно справною, оскільки підвищений шум найчастіше виникає через розбалансування приводу, зношення втулок, осей, підшипників, ослаблення кріплень або удари деталей одна об одну. Своєчасне технічне обслуговування дозволяє знизити рівень шуму та попередити аварійні ситуації.

Для зменшення передачі вібрації на основу і будівельні конструкції важливе значення мають пружні елементи, правильне встановлення станини та раціональне балансування рухомих частин. У модернізованій конструкції особливу роль у цьому відіграє правильно підібрана пружинна система, яка не лише забезпечує робочий режим коливань, а й знижує ударність роботи приводу.

Для боротьби із запиленістю необхідно передбачати регулярне очищення машини, робочого майданчика, жолобів і накопичувачів від домішок та пилу. Ефективним заходом є застосування місцевого відсмоктування або аспірації в зоні найбільшого пилоутворення. Якщо конструкція виробничої ділянки не

дозволяє встановити аспіраційну систему, працівників слід забезпечувати засобами індивідуального захисту органів дихання і очей.

Працівник, який обслуговує вібраційну машину, повинен користуватися спецодягом, захисними рукавицями, а за потреби - протипиловим респіратором і захисними окулярами. У разі тривалої роботи в умовах підвищеного шуму доцільно використовувати протишумні навушники або вкладиші.

4.3 Безпека під час технічного обслуговування і ремонту машини

Технічне обслуговування і ремонт вібраційної машини необхідно проводити лише після її повної зупинки, відключення від електромережі та вжиття заходів, що унеможливають випадкове повторне ввімкнення. Перед виконанням робіт слід переконатися, що рухомі частини повністю зупинилися, а пружні елементи не перебувають у небезпечному напруженому стані.

Під час обслуговування приводу особливу обережність треба дотримуватися при демонтажі шківів, вала-ексцентрика, пружини, толкателя, осі та втулки. Усі ці елементи можуть бути джерелом травмування через власну масу, гострі кромки, залишкові деформації або раптове вивільнення накопиченої енергії пружини. Роботи мають виконуватися із застосуванням справного інструменту, а важкі вузли - з використанням підйомних або допоміжних пристроїв.

Після ремонту або заміни деталей обов'язково проводять пробний пуск машини на холостому ході. Під час такого пуску перевіряють правильність складання вузлів, плавність обертання, відсутність сторонніх шумів, ударів, перегріву, надмірної вібрації та перекосів. Лише після цього допускається робота машини під навантаженням.

4.4 Заходи із захисту навколишнього середовища

Експлуатація вібраційної машини для післязбиральної обробки зернового вороху пов'язана з утворенням побічних продуктів у вигляді полови, пилу, рослинних домішок і зернових відходів. З екологічного погляду важливо організувати роботу так, щоб ці матеріали не забруднювали виробничу територію, не накопичувалися безконтрольно та не потрапляли в атмосферне повітря у значних кількостях.

Зібрані домішки і відходи повинні своєчасно вивозитися або використовуватися за господарським призначенням. Частину рослинних домішок можна застосовувати як допоміжний кормовий або підстилковий матеріал, а непридатні відходи - передавати на утилізацію. Організація локального збирання домішок дозволяє зменшити засмічення території та покращити санітарний стан виробничої ділянки.

Ще одним важливим напрямом екологічної безпеки є зменшення викидів пилу в повітря. Для цього необхідно контролювати герметичність жолобів, місць пересипання матеріалу, а також регулярно очищати поверхні від пилових відкладень. Підтримання належного технічного стану машини одночасно сприяє і зниженню шумового навантаження на виробниче середовище.

Рациональна експлуатація електродвигуна і приводу, своєчасне змащування вузлів, правильне регулювання коливального режиму та недопущення перевантаження машини сприяють зменшенню енерговитрат. Це також має позитивний екологічний ефект, оскільки скорочує непродуктивне споживання електроенергії.

Висновки

Встановлено, що безпека праці при експлуатації вібраційної машини забезпечується комплексом технічних і організаційних заходів, до яких належать заземлення електрообладнання, застосування захисних кожухів, підтримання чистоти робочої зони, зменшення шуму, пилу і вібрації, а також використання працівниками засобів індивідуального захисту.

Передбачені заходи із захисту навколишнього середовища спрямовані на зменшення запиленості, впорядковане збирання відходів, підтримання чистоти території та раціональне використання енергії. Це дає підстави вважати, що за умови дотримання встановлених вимог модернізована вібраційна машина може безпечно експлуатуватися в умовах сільськогосподарського підприємства.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ

Економічна оцінка модернізації вібраційної машини для післязбиральної обробки зернового вороху має на меті визначити доцільність упровадження запропонованого технічного рішення в умовах сільськогосподарського підприємства. У даному розділі порівнюються показники базової та модернізованої машин, визначаються експлуатаційні витрати, розраховується річний економічний ефект і строк окупності вкладень у модернізацію.

Основними джерелами економічного ефекту в даному випадку є: підвищення продуктивності машини; зменшення тривалості її роботи протягом року; зниження витрат на оплату праці; зменшення витрат електроенергії; скорочення витрат на ремонт і технічне обслуговування; зниження втрат повноцінного зерна.

Для проведення техніко-економічного розрахунку приймаємо такі вихідні дані.

Таблиця 5.1

Вихідні дані для економічного розрахунку

Показник	Позначення	Значення
Річний обсяг обробки зернового вороху, т	G_p	4200
Продуктивність базової машини, т/год	Q_b	4,2
Продуктивність модернізованої машини, т/год	Q_m	5,0
Потужність електродвигуна базової машини, кВт	N_b	1,8
Потужність електродвигуна модернізованої машини, кВт	N_m	1,5
Втрати повноцінного зерна у базовій машині, %	β_b	1,4
Втрати повноцінного зерна у модернізованій машині, %	β_m	1,0
Річні витрати на ремонт базової машини, грн	C_{pb}	18000
Річні витрати на ремонт модернізованої машини, грн	C_{pm}	11000
Вартість електроенергії, грн/(кВт/год)	C_{el}	6,50
Погодинна оплата праці оператора, грн/год	C_r	135
Ціна 1 т зерна, грн	C_z	8500
Додаткові капітальні вкладення на модернізацію, грн	ΔK	98000

Наведені дані прийнято для умов середнього сільськогосподарського господарства, у якому післязбиральна доробка зерна виконується в сезонному режимі з високим навантаженням на очисну техніку.

Річна тривалість роботи машини визначається діленням річного обсягу робіт на її годинну продуктивність.

Для базової машини:

$$T_{\text{б}} = \frac{G_p}{Q_{\text{б}}} = \frac{4200}{4,2} = 1000 \text{ год}$$

Для модернізованої машини:

$$T_{\text{м}} = \frac{G_p}{Q_{\text{м}}} = \frac{4200}{5,0} = 840 \text{ год}$$

Скорочення річної тривалості роботи становить:

$$\Delta T = T_{\text{б}} - T_{\text{м}} = 1000 - 840 = 160 \text{ год}$$

Отже, після модернізації машина виконує той самий річний обсяг робіт на 160 год менше. Це зменшує сезонне навантаження на техніку, спрощує організацію післязбиральної доробки та скорочує витрати на експлуатацію.

Для оцінки зміни продуктивності визначаємо коефіцієнт її зростання:

$$k_Q = \frac{Q_{\text{м}}}{Q_{\text{б}}} = \frac{5,0}{4,2} = 1,19$$

Таким чином, продуктивність модернізованої машини зросла приблизно на 19 %.

До складу експлуатаційних витрат у даному розрахунку включаємо: витрати на оплату праці оператора; витрати на електроенергію; витрати на ремонт і технічне обслуговування.

Річні витрати на оплату праці визначаються за формулою:

$$C_3 = T \cdot C_2$$

де

T - річна тривалість роботи машини, год;

C_2 - погодинна оплата праці оператора, грн/год.

Для базової машини:

$$C_{3б} = T_б \cdot C_2 = 1000 \cdot 135 = 135000 \text{ грн}$$

Для модернізованої машини:

$$C_{3м} = T_м \cdot C_2 = 840 \cdot 135 = 113400 \text{ грн}$$

Економія витрат на оплату праці становить:

$$\Delta C_3 = C_{3б} - C_{3м} = 135000 - 113400 = 21600 \text{ грн}$$

Отже, за рахунок підвищення продуктивності і скорочення часу роботи отримуємо щорічну економію на оплаті праці 21600 грн.

Річне споживання електроенергії визначається за формулою:

$$W = N \cdot T$$

Де

N - потужність електродвигуна, кВт;

T - річна тривалість роботи машини, год.

Для базової машини:

$$W_б = N_б \cdot T_б = 1,8 \cdot 1000 = 1800 \text{ кВт/год}$$

Для модернізованої машини:

$$W_m = N_m \cdot T_m = 1,5 \cdot 840 = 1260 \text{ кВт/год}$$

Економія електроенергії становить:

$$\Delta W = W_{\delta} - W_m = 1800 - 1260 = 540 \text{ кВт/год}$$

Річні витрати на електроенергію визначаються за формулою:

$$C_{el} = W \cdot C_{el}$$

де

C_{el} - вартість 1 кВт·год електроенергії, грн.

Для базової машини:

$$C_{el\delta} = 1800 \cdot 6,50 = 11700 \text{ грн}$$

Для модернізованої машини:

$$C_{elm} = 1260 \cdot 6,50 = 8190 \text{ грн}$$

Економія витрат на електроенергію становить:

$$\Delta C_{el} = C_{el\delta} - C_{elm} = 11700 - 8190 = 3510 \text{ грн}$$

Для більш повної оцінки визначимо питому витрату електроенергії на 1 т обробленого вороху.

Для базової машини:

$$e_{\delta} = \frac{W_{\delta}}{G_p} = \frac{1800}{4200} = 0,429 \text{ кВт/год/т}$$

Для модернізованої машини:

$$e_m = \frac{W_m}{\Gamma_p} = \frac{1260}{4200} = 0,300 \text{ кВт/год/т}$$

Зниження питомої витрати електроенергії становить:

$$\Delta e = e_{\text{б}} - e_m = 0,429 - 0,300 = 0,129 \text{ кВт/год/т}$$

Отже, модернізована машина є не лише продуктивнішою, а й енергоощаднішою.

За умовами розрахунку річні витрати на ремонт базової машини становлять 18000 грн, а модернізованої - 11000 грн. Зменшення цих витрат зумовлене більш надійною роботою модернізованого приводу, зниженням ударних навантажень та зменшенням зносу деталей.

Економія на ремонті становить:

$$\Delta C_p = C_{p\text{б}} - C_{p\text{м}} = 18000 - 11000 = 7000 \text{ грн}$$

Сумарні річні експлуатаційні витрати визначаються як сума витрат на оплату праці, електроенергію та ремонт:

$$C_e = C_z + C_{el} + C_p$$

Для базової машини:

$$C_{e\text{б}} = 135000 + 11700 + 18000 = 164700 \text{ грн}$$

Для модернізованої машини:

$$C_{e\text{м}} = 113400 + 8190 + 11000 = 132590 \text{ грн}$$

Загальна економія експлуатаційних витрат становить:

$$\Delta C_e = C_{e\text{б}} - C_{e\text{м}} = 164700 - 132590 = 32110 \text{ грн/рік}$$

Таким чином, тільки за рахунок експлуатаційних витрат модернізація забезпечує щорічну економію 32110 грн.

Окрім скорочення прямих витрат, модернізація вібраційної машини забезпечує також зменшення втрат повноцінного зерна. Це є особливо

важливим результатом, оскільки саме втрати зерна найбільше впливають на економічну ефективність післязбиральної доробки.

Маса збереженого зерна визначається за формулою:

$$\Delta \Gamma = \frac{\Gamma_p \cdot (\beta_{\delta} - \beta_m)}{100}$$

де

Γ_p - річний обсяг обробки зерна, т;

β_{δ} - втрати повноцінного зерна у базовій машині, %;

β_m - втрати повноцінного зерна у модернізованій машині, %.

$$\Delta \Gamma = \frac{4200 \cdot (1,4 - 1,0)}{100} = 16,8 \text{ т}$$

Вартість збереженого зерна визначаємо за формулою:

$$C_{\delta} = \Delta \Gamma \cdot C_z$$

де

C_z - ціна 1 т зерна, грн.

Тоді:

$$C_{\delta} = 16,8 \cdot 8500 = 142800 \text{ грн}$$

Отже, за рахунок зменшення втрат повноцінного зерна підприємство додатково одержує 142800 грн на рік.

Річний економічний ефект від модернізації складається з: економії експлуатаційних витрат; додаткового економічного результату від зменшення втрат зерна.

Річний економічний ефект визначається за формулою:

$$E_p = \Delta C_e + C_{\delta}$$

$$E_p = 32110 + 142800 = 174910 \text{ грн/рік}$$

Таким чином, загальний річний економічний ефект від модернізації вібраційної машини становить 174910 грн.

Складові річного економічного ефекту:

Джерело економії	Сума, грн/рік
Економія на оплаті праці	21600
Економія електроенергії	3510
Економія на ремонті	7000
Додатковий дохід від зменшення втрат зерна	142800
Разом річний економічний ефект	174910

З таблиці видно, що найбільшу частку економічного результату забезпечує саме скорочення втрат повноцінного зерна, що є типовим для зерноочисних машин.

Для реалізації проєкту необхідні додаткові капітальні вкладення, пов'язані з виготовленням і встановленням модернізованих вузлів приводу.

Строк окупності додаткових капітальних вкладень визначається за формулою:

$$T_{ок} = \frac{\Delta K}{E_p}$$

де

ΔK - додаткові капітальні вкладення на модернізацію, грн;

E_p - річний економічний ефект, грн/рік.

Тоді:

$$T_{ок} = \frac{98000}{174910} = 0,56 \text{ року}$$

Для наочності переведемо строк окупності в місяці:

$$T_{ок.міс} = 0,56 \cdot 12 = 6,72 \text{ міс}$$

Отже, модернізація окупається приблизно за 6,7 місяця.

Коефіцієнт економічної ефективності визначаємо за формулою:

$$E_k = \frac{E_p}{\Delta K}$$

$$E_k = \frac{174910}{98000} = 1,78$$

Таблиця 5.1

Основні техніко-економічні показники вібраційної машини до та після модернізації

Показник	Одиниця виміру	До модернізації	Після модернізації	Відхилення
Продуктивність машини	т/год	4,2	5,0	+0,8
Річна тривалість роботи	год	1000	840	-160
Потужність електродвигуна	кВт	1,8	1,5	-0,3
Втрати повноцінного зерна	%	1,4	1,0	-0,4
Загальні експлуатаційні витрати	грн	164700	132590	-32110
Річний економічний ефект	грн/рік	—	174910	+174910
Строк окупності	року	—	0,56	—

Оскільки коефіцієнт економічної ефективності більший за одиницю, а строк окупності менший одного року, запропоновану модернізацію слід вважати економічно доцільною.

У результаті техніко-економічного обґрунтування встановлено, що модернізація вібраційної машини для післязбиральної обробки зернового вороху є ефективним технічним рішенням не лише з конструктивного, а й з економічного боку.

Проведені розрахунки показали, що підвищення продуктивності машини з 4,2 до 5,0 т/год дозволяє скоротити річну тривалість роботи на 160 год. Це, у свою чергу, забезпечує зменшення витрат на оплату праці на 21600 грн за рік.

Висновки

Установлено, що завдяки зниженню потужності приводу і скороченню часу роботи річна економія електроенергії становить 540 кВт·год, або 3510 грн. Крім того, більш надійна робота модернізованого приводу дає змогу зменшити витрати на ремонт і технічне обслуговування на 7000 грн за рік.

Найвагомішим складником економічного ефекту є зниження втрат повноцінного зерна. За річного обсягу обробки 4200 т це дозволяє додатково зберегти 16,8 т зерна, що у вартісному вираженні становить 142800 грн.

Загальний річний економічний ефект від упровадження модернізованої машини дорівнює 174910 грн. При додаткових капітальних вкладеннях у сумі 98000 грн строк окупності становить 0,56 року, або близько 6,7 місяця, а коефіцієнт економічної ефективності дорівнює 1,78.

.

ВИСНОВКИ

1. Установлено, що для сільськогосподарських господарств, які спеціалізуються на вирощуванні зернових культур, важливе значення має своєчасна і якісна післязбиральна обробка зернового вороху, оскільки саме на цій стадії формуються показники чистоти зерна, зменшуються втрати продукції та забезпечуються умови для її подальшого зберігання.

2. Виконано аналіз виробничих умов сільськогосподарського господарства, структури посівних площ, обсягів виробництва зернових культур та організації післязбиральної доробки. Визначено, що наявність значних сезонних обсягів зернового вороху потребує використання машин, які забезпечують стабільну роботу, достатню продуктивність і належну якість очищення.

3. Проведений аналіз існуючих машин для післязбиральної обробки зернового вороху показав, що вібраційні машини є перспективними завдяки поєднанню відносно високої продуктивності, достатньої якості сепарації та можливості роботи з різними культурами. Водночас встановлено, що основним недоліком базової конструкції є недостатня досконалість приводу коливального руху, що негативно впливає на стабільність роботи та надійність машини.

4. Обґрунтовано напрям модернізації, який полягає в удосконаленні приводу коливального руху вібраційної машини. Запропоновано модернізований вузол, до складу якого входять вал-ексцентрик, толкатель, пружина, вісь, втулка та шків. Такий підхід дає змогу поліпшити кінематику механізму, зменшити ударні навантаження та забезпечити більш стійкий режим роботи ситового корпусу.

5. Визначено основні параметри модернізованої машини. Установлено, що проектна продуктивність становить 5,0 т/год, а раціональними параметрами коливального руху є частота обертання вала-ексцентрика 454 хв^{-1} , радіус ексцентрика 5 мм і повна амплітуда коливань 10 мм. Такі параметри

забезпечують необхідну інтенсивність впливу на зерновий ворох та сприяють ефективному відокремленню домішок.

6. Розрахунком основних деталей приводу підтверджено працездатність запропонованої конструкції. Для вала-ексцентрика прийнято діаметр 35 мм, для толкателя - 16 мм, для осі шарнірного з'єднання - 18 мм. Підібрано параметри пружини стиску та підтверджено допустимість напружень у втулці, осі, толкателі та валу-ексцентрику. Це свідчить про достатню міцність і надійність модернізованого вузла.

7. Визначено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що супроводжують експлуатацію вібраційної машини, а саме: рухомі частини приводу, можливість ураження електричним струмом, підвищені шум і вібрація, а також запиленість повітря робочої зони. Запропоновано комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпечної роботи обладнання та зменшення негативного впливу на працівників і довкілля.

8. Техніко-економічний розрахунок показав, що модернізація машини забезпечує підвищення продуктивності з 4,2 до 5,0 т/год, зменшення річної тривалості роботи на 160 год, скорочення витрат на оплату праці на 21600 грн, зниження витрат на електроенергію на 3510 грн та зменшення витрат на ремонт на 7000 грн.

9. Установлено, що за рахунок підвищення якості очищення та стабілізації режиму роботи модернізованої машини втрати повноцінного зерна знижуються з 1,4 % до 1,0 %, що дозволяє додатково зберегти 16,8 т зерна на рік. У вартісному вираженні це становить 142800 грн додаткового економічного результату.

10. Загальний річний економічний ефект від упровадження модернізованої вібраційної машини становить 174910 грн, а строк окупності додаткових капітальних вкладень у сумі 98000 грн дорівнює 0,56 року, або близько 6,7 місяця. Це підтверджує економічну доцільність запропонованого технічного

рішення та можливість його практичного використання в умовах сільськогосподарського підприємства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мазур В. А., Дідур І. М., Панцирева Г. В., Паламарчук І. І. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва : навч. посіб. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2024. 283 с.
2. Подпряттов Г. І., Бобер А. В. Післязбиральна доробка та зберігання продукції рослинництва : навч. посіб. Київ : НУБіП України, 2024. 648 с.
3. Осокіна Н. М. Якість та облік зерна за приймання, оброблення і зберігання зерна : навч. посіб. Умань, 2021. 455 с.
4. Михайлов А. Д. Машини для первинної обробки врожаю сільськогосподарських культур : метод. вказівки до виконання практичної роботи з навчальної дисципліни «Сфера діяльності інженера-механіка з агроінженерії» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія». Харків : [б. в.], 2023. 25 с.
5. Сенчук М. М., Демещук В. А. Насіннеочисні машини : навч.-метод. посіб. для самостійної роботи та лабораторно-практичних занять. Біла Церква, 2015. 195 с.
6. Подпряттов Г. І., Ящук Н. О., Насіковський В. А. Якість зерна кукурудзи за різних технологій післязбиральної доробки та зберігання : монографія. Київ : Компринт, 2017. 255 с.
7. Мазур В. А., Гончарук І. В., Дідур І. М., Панцирева Г. В., Телекало Н. В., Купчук І. М. Інноваційні аспекти технологій вирощування, зберігання і переробки зернобобових культур : монографія. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2021. 180 с.
8. Лук'яненко В. М., Лук'яненко О. В., Харук І. Д., Никифоров А. О. Випробування мехатронної вібраційної мультиплощинної насіннеочисної машини // Інженерія природокористування. 2019. № 2(12). С. 117–125.

9. Лук'яненко В. М., Никифоров А. О., Никифорова А. П. Експериментальні дослідження впливу взаємозіткнень насіння на їх рух по неперфорованим віброфрикційним площинам // Інженерія природокористування. 2020. № 2(16). С. 53–59. DOI: 10.37700/enm.2020.2(16).53-59.
10. Бажан І. М. Результати експериментального дослідження сепарації зерна на плоскому коливальному решеті із зигзаговидним розташуванням отворів // Центральнотукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2025. Вип. 12(43), ч. І. С. 164–174. DOI: 10.32515/2664-262X.2025.12(43).1.164-174.
11. Рева Ю., Галич І., Лук'яненко О. Оптимізація робочих параметрів віброочистної машини для підвищення якості очищення насіння // Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2025. Т. 21, № 4. С. 62–80. DOI: 10.31548/dopovidi/4.2025.62.
12. Сакун М. М., Москалюк І. В., Атрашкова О. О., Яковенко А. М. Охорона праці в галузях сільського господарства : навчально-методичний комплекс : навч. посіб. / за ред. М. М. Сакуна. Одеса : ВМВ, 2019. 458 с.
13. Войналович О. В., Марчишина Є. І., Білько Т. О. Охорона праці у сільському господарстві : навч. посіб. Київ : ЦУЛ, 2018. 691 с.
14. Войналович О. В., Мотрич М. М., Єременко О. І., Зубок Т. О. Охорона праці : лабораторний практикум. Київ : НУБіП України, 2024. 312 с.
15. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: zakon.rada.gov.ua/go/2694-12 (дата звернення: 12.04.2026).
16. Про затвердження Правил охорони праці у сільськогосподарському виробництві : наказ Мінсоцполітики України від 29.08.2018 № 1240 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: zakon.rada.gov.ua/go/z1090-18 (дата звернення: 12.04.2026).

ДОДАТКИ

[illegible]

[illegible]