

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:

«Механізація вирощування гороху з удосконаленням зерноочисної машини»

Виконав здобувач вищої освіти __IV__ курсу,
групи AI-23мб-1
ОПП «Агроінженерія»
спеціальності 208 «Агроінженерія»
_____ Сидоров Сергій Вячеславович
«_____» _____ 2026 р.

Керівник проекту
доцент, канд. техн. наук

«_____» _____ 2026 р.

Рецензент
доцент, канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет агротехнічний

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 20 «Аграрні науки та продовольство»

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Освітньо-професійна програма «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«__» _____ 2026 року

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

Сидоров Сергій Вячеславович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи (проекту) Механізація вирощування гороху з удосконаленням зерноочисної машини

2. Керівник кваліфікаційної роботи (проекту) _____

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

3. Строк подання роботи до захисту _____

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи Підвищення ефективності механізації вирощування гороху шляхом удосконалення процесу первинного очищення зерна із застосуванням відцентрового сепаратора з удосконаленим конічним решетом.

Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати технологію вирощування гороху;
- розглянути процес післязбиральної доробки зерна;
- обґрунтувати конструкцію удосконаленого решета відцентрового сепаратора;
- виконати технологічні, енергетичні та міцнісні розрахунки запропонованої конструкції.

5. Перелік графічного матеріалу 1. Технологічна карта вирощування гороху – ф. А1.

2. Операційна карта очищення гороху – ф. А1. 3. Сепаратор відцентровий – ф. А2. 4. Решетна частина – ф. А1. Деталювання – ф. А2.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	2	3
1	Складання технічного завдання на виконання роботи	до 10.04.2026 р.
2	Аналіз типової технології вирощування горох з визначенням шляхів її удосконалення	до 08.05.2026 р.
3	Підготовка та подання керівнику роботи: - операційної технології виконання заданої операції - інженерної частин - охорони праці - вступу та висновків	до 20.05.2026 р. до 20.05.2026 р. до 20.05.2026 р. до 25.05.2026 р.
4	Доопрацювання розділів з урахуванням зауважень	до 27.05.2026 р.
5	Подання робочого варіанту роботи керівнику	до 30.05.2026 р.
6	Доопрацювання роботи з урахуванням зауважень керівника. Одержання відгуку	до 10.06.2026 р.
7	Перевірка роботи на плагіат	за 10 днів до захисту
8	Проходження нормо-контролю	за 8 робочих днів до захисту
9	Подання роботи завідувачу кафедри на перевірку	за 6 робочих днів до захисту
10	Доопрацювання роботи з урахуванням зауважень завідувача кафедри. Допуск роботи до захисту	за 4 робочі дні до захисту
11	Рецензування кваліфікаційної роботи	за 3 робочі дні до захисту
12	Підготовка документів, що подаються до ЕК	за 2 робочі дні до захисту
13	Подання кваліфікаційної роботи та документів до ЕК	за день до захисту
14	Захист кваліфікаційної роботи	за графіком кафедри

Дата видачі завдання

«___» _____ 2026 р.

Підпис керівника _____

(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2026 р.

Підпис здобувача _____

Сергій СИДОРОВ

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У роботі виконано аналіз технології вирощування гороху та процесу післязбиральної доробки зерна. Розглянуто існуючі конструкції зерноочисних машин, їх переваги та недоліки. Встановлено, що одним із основних недоліків традиційних зерноочисних машин є забивання решіт, що призводить до зниження продуктивності та якості очищення зерна.

Запропоновано конструкцію відцентрового сепаратора з удосконаленим конічним решетом стержньового типу, у якому щілини між стержнями мають змінну ширину та розширюються в напрямку руху зернового матеріалу. Така конструкція забезпечує покращення умов проходження частинок через решето, зменшення ймовірності заклинювання та підвищення ефективності процесу сепарації.

У роботі виконано технологічні, енергетичні та міцнісні розрахунки, у результаті яких обґрунтовано параметри роботи зерноочисної машини та підтверджено надійність запропонованої конструкції.

горох, зерноочисна машина, відцентровий сепаратор, конічне решето

ABSTRACT

The thesis presents an analysis of pea cultivation technology and the process of post-harvest grain processing. Existing designs of grain cleaning machines, their advantages and disadvantages are considered. It has been established that one of the main drawbacks of conventional grain cleaning machines is the clogging of sieves, which leads to a decrease in productivity and grain cleaning quality.

A design of a centrifugal separator with an improved conical rod-type sieve is proposed, in which the slots between the rods have variable width and expand in the direction of grain material movement. Such a design improves the conditions for particle passage through the sieve, reduces the probability of clogging, and increases the efficiency of the separation process.

Technological, energy, and strength calculations were performed in the study, as a result of which the operating parameters of the grain cleaning machine were substantiated and the reliability of the proposed design was confirmed.

peas, grain cleaning machine, centrifugal separator, conical sieve

ЗМІСТ

	Стор.
1. ВСТУП	5
2. АНАЛІЗ ТИПОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ГОРОХУ З ВИЗНАЧЕННЯМ ШЛЯХІВ ЇЇ УДОСКОНАЛЕННЯ	7
2.1. Біологічні особливості гороху	7
2.2. Місце гороху в сівозміні	9
2.3. Система удобрення гороху	10
2.4. Основний і передпосівний обробіток ґрунту	11
2.5. Підготовка насіння і сівба	13
2.6. Догляд за посівами	15
2.7. Збирання врожаю	16
2.8. Післязбиральна доробка зерна	18
2.9. Висновки по розділу	20
3. ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОНАННЯ СІВБИ ГОРОХУ .	22
3.1. Умови роботи	22
3.2. Агротехнічні вимоги	24
3.3. Комплектування агрегату	25
3.4. Підготовка зерноочисної машини до роботи	27
3.5. Організація роботи агрегату	29
3.6. Контроль якості очищення зерна	34
3.7. Висновки по розділу	35
4. ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА	37
4.1. Аналіз існуючих конструкцій зерноочисних машин	37
4.2. Обґрунтування конструкції удосконаленого решета	39
4.3. Технологічний розрахунок	41
4.4. Енергетичний розрахунок	44
4.5. Розрахунок деталей та вузлів на міцність	47
4.6. Очікувана ефективність модернізації	50
4.7. Висновки по розділу	52
5. ОХОРОНА ПРАЦІ	54
5.1. Аналіз умов праці при післязбиральній доробці зерна	54
5.2. Вимоги безпеки до зерноочисного обладнання	54
5.3. Заходи безпеки при експлуатації обладнання	54
5.4. Висновки по розділу	55
6. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	58
Додатки	62

1. ВСТУП

Горох є однією з найважливіших зернобобових культур, що вирощуються в Україні. Він має велике продовольче та кормове значення завдяки високому вмісту білка, який становить 20–25 %. Зерно гороху широко використовується у харчовій промисловості для виробництва круп, борошна та консервованої продукції, а також у тваринництві як високобілковий компонент комбикормів. Крім того, горох має важливе агротехнічне значення, оскільки здатний накопичувати в ґрунті азот за рахунок діяльності бульбочкових бактерій, що сприяє підвищенню родючості ґрунту та покращує умови вирощування наступних культур у сівозміні.

Ефективне виробництво зерна гороху значною мірою залежить від рівня механізації технологічних процесів. Сучасна технологія вирощування цієї культури передбачає виконання комплексу механізованих операцій, серед яких основний і передпосівний обробіток ґрунту, внесення добрив, сівба, догляд за посівами, збирання врожаю та післязбиральна доробка зерна. Використання сучасних машин і агрегатів дозволяє підвищити продуктивність праці, знизити виробничі витрати та забезпечити дотримання агротехнічних вимог при виконанні технологічних операцій.

Одним із важливих етапів виробництва зерна є післязбиральна обробка. Після збирання зернова маса містить значну кількість різних домішок: рослинні рештки, насіння бур'янів, частинки ґрунту, пошкоджене або недорозвинене зерно. Наявність таких домішок знижує якість зерна, ускладнює його транспортування та зберігання, а також може призводити до втрат продукції.

У сучасному сільськогосподарському виробництві для очищення зерна застосовуються різні типи машин і апаратів, які використовують відмінності фізико-механічних властивостей компонентів зернової суміші. Найбільш

					МВГ 00.000 ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.	Сидоров				Механізація вирощування гороху з удосконаленням зерноочисної машини		Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.							5	62	
							ЦНТУ, гр. АІ-23мб-1.2		
Н. контр.									
Затв.									

поширеними є решітні, повітряні, трієрні та комбіновані зерноочисні машини. Одним із перспективних напрямів удосконалення процесу очищення зерна є використання відцентрових сепараторів, у яких розділення матеріалу відбувається під дією відцентрових сил.

Ефективність роботи відцентрових сепараторів значною мірою залежить від конструкції їх робочих органів, зокрема решітних поверхонь. У процесі роботи традиційних решіт можливе їх забивання частинками зернової суміші, розміри яких близькі до розмірів отворів, що знижує продуктивність машини та погіршує якість сепарації. Одним із напрямів підвищення ефективності роботи таких машин є удосконалення конструкції решіт, зокрема використання решіт зі щілинами змінної ширини, які розширюються в напрямку руху зернового матеріалу.

У зв'язку з цим актуальним є вдосконалення конструкції робочих органів зерноочисних машин, що дозволить підвищити ефективність процесу очищення зерна та знизити енерговитрати. Одним із можливих шляхів вирішення цього завдання є використання удосконаленого конічного решета у відцентровому сепараторі, робоча поверхня якого утворена набором стержнів, що формують щілини змінної ширини.

Метою даної бакалаврської роботи є підвищення ефективності механізації вирощування гороху шляхом удосконалення процесу первинного очищення зерна із застосуванням відцентрового сепаратора з удосконаленим конічним решетом.

Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати технологію вирощування гороху;
- розглянути процес післязбиральної доробки зерна;
- обґрунтувати конструкцію удосконаленого решета відцентрового сепаратора;
- виконати технологічні, енергетичні та міцнісні розрахунки запропонованої конструкції.

2. АНАЛІЗ ТИПОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ГОРОХУ З ВИЗНАЧЕННЯМ ШЛЯХІВ ЇЇ УДОСКОНАЛЕННЯ

2.1. Біологічні особливості гороху.

Горох (*Pisum sativum* L.) є однорічною зернобобовою культурою родини бобових (*Fabaceae*), яка широко вирощується в різних ґрунтово-кліматичних зонах України. Завдяки високій поживній цінності зерна та здатності покращувати родючість ґрунту горох має велике значення у землеробстві. Зерно цієї культури містить у середньому 20–25 % білка, 50–55 % вуглеводів, а також значну кількість мінеральних речовин і вітамінів. Це робить його важливою продовольчою та кормовою культурою.

Горох належить до культур помірного клімату і характеризується відносно коротким вегетаційним періодом, який залежно від сорту та умов вирощування становить приблизно 70–110 днів. Насіння гороху починає проростати вже за температури 1–2 °С, а оптимальною температурою для росту і розвитку рослин є 15–20 °С. Сходи гороху здатні витримувати короточасні весняні заморозки до – 4...–6 °С, що дозволяє висівати цю культуру у ранні строки (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Горох (*Pisum sativum* L.)

Коренева система гороху стрижнева і добре розвинена. Основний корінь проникає в ґрунт на глибину до 1 м, а численні бічні корені забезпечують ефективне засвоєння вологи і поживних речовин. На коренях утворюються

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

бубльбочки, у яких розвиваються азотфіксуючі бактерії роду *Rhizobium*. Завдяки їхній діяльності горох здатний засвоювати атмосферний азот і збагачувати ним ґрунт. У результаті цього після збирання гороху в ґрунті може залишатися до 50–70 кг/га біологічного азоту, що позитивно впливає на врожайність наступних культур у сівозміні.

Стебло гороху трав'янисте, порожнисте, висотою від 40 до 150 см залежно від сорту. Рослини можуть бути як прямостоячими, так і вилягаючими. Листки складні, парноперисті, з вусиками, які допомагають рослині чіплятися за сусідні рослини або опори. Квітки гороху переважно білі або рожеві, самозапильні. Плід – біб, у якому формується від 4 до 10 насінин округлої форми.

Горох належить до культур, досить вимогливих до умов вирощування. Найкраще він росте на родючих, добре структурованих ґрунтах із нейтральною або слабколужною реакцією середовища. Найбільш придатними для вирощування є чорноземи, темно-сірі та сірі лісові ґрунти. Культура погано переносить підвищену кислотність ґрунту, а також надмірне перезволоження.

Важливим фактором для нормального росту і розвитку гороху є забезпечення рослин вологою. Найбільша потреба у волозі спостерігається у період проростання насіння, формування бутонів та наливу зерна. Нестача вологи у ці періоди може значно знизити врожайність культури.

Біологічні особливості гороху визначають і певні вимоги до технології його вирощування. Оскільки ця культура є ранньою ярою, її необхідно висівати у ранні строки, щоб максимально використати запаси ґрунтової вологи. Крім того, важливе значення має якісна підготовка насіння, своєчасне виконання агротехнічних заходів та використання ефективних засобів механізації.

Таким чином, горох є цінною зернобобовою культурою, що має важливе значення для сільськогосподарського виробництва. Його біологічні особливості визначають специфіку технології вирощування та вимоги до механізованих операцій, зокрема до процесів збирання та післязбиральної доробки зерна. Це обумовлює необхідність застосування ефективних машин і обладнання для

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

очищення зерна, що є важливою складовою технологічного процесу виробництва продукції.

2.2. Місце гороху в сівозміні.

Горох є однією з важливих культур у системі польових сівозмін. Завдяки своїм біологічним особливостям він не тільки забезпечує отримання високобілкової продукції, але й позитивно впливає на родючість ґрунту. У процесі росту рослини гороху здатні фіксувати атмосферний азот за допомогою бульбочкових бактерій, що сприяє накопиченню в ґрунті біологічного азоту та покращенню поживного режиму для наступних культур.

У структурі сівозміни горох зазвичай розміщують після озимих або просапних культур, які залишають після себе чисте від бур'янів поле і добре підготовлений ґрунт. Найкращими попередниками для гороху є озима пшениця, озимий ячмінь, кукурудза на зерно, картопля, цукрові буряки та інші просапні культури. Після таких попередників ґрунт має достатню кількість поживних речовин і сприятливу структуру, що забезпечує добрий розвиток рослин гороху.

Не рекомендується висівати горох після інших зернобобових культур, таких як соя, квасоля, люпин або інші бобові, оскільки це може призвести до накопичення спільних хвороб і шкідників у ґрунті. Крім того, повторне вирощування гороху на одному полі протягом короткого періоду сприяє поширенню коренових гнилей та інших захворювань, що негативно впливає на врожайність.

Оптимальний період повернення гороху на попереднє поле становить приблизно 4–5 років. Така перерва дозволяє зменшити накопичення шкідників і хвороб та створює більш сприятливі умови для формування високого врожаю.

Горох є добрим попередником для багатьох сільськогосподарських культур. Після його вирощування у ґрунті залишається значна кількість органічних решток і біологічного азоту, що покращує родючість ґрунту. Тому після гороху часто висівають озимі зернові культури, зокрема озиму пшеницю, яка дає підвищену врожайність на полях після зернобобових.

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

Крім того, горох є ранньою культурою, яка рано звільняє поле після збирання врожаю. Це створює сприятливі умови для якісної підготовки ґрунту під наступну культуру та виконання необхідних агротехнічних заходів. Завдяки цьому горох широко використовується у різних типах сівозмін — польових, кормових та спеціалізованих.

Таким чином, правильне розміщення гороху в сівозміні має велике значення для забезпечення високої врожайності культури та ефективного використання земельних ресурсів. Раціональне чергування культур дозволяє зменшити поширення бур'янів, шкідників і хвороб, покращити родючість ґрунту та підвищити ефективність механізованих технологічних процесів вирощування сільськогосподарських культур.

2.3. Система удобрення гороху.

Система удобрення гороху є важливою складовою технології вирощування цієї культури і спрямована на забезпечення рослин необхідними поживними речовинами протягом усього періоду їх росту і розвитку. Раціональне застосування добрив сприяє підвищенню врожайності, покращенню якості зерна та ефективному використанню родючості ґрунту.

Горох характеризується відносно високою потребою в поживних речовинах, особливо у початковий період росту. Для формування 1 т зерна і відповідної кількості побічної продукції рослини гороху в середньому споживають близько 45–60 кг азоту, 10–15 кг фосфору та 20–30 кг калію. Проте завдяки симбіозу з бульбочковими бактеріями значна частина потреби в азоті може забезпечуватися за рахунок біологічної фіксації атмосферного азоту.

Найбільше значення для гороху мають фосфорні та калійні добрива, які сприяють розвитку кореневої системи, підвищують стійкість рослин до несприятливих умов та забезпечують формування високого врожаю. Фосфор особливо важливий у початковий період розвитку рослин, оскільки він стимулює утворення бульбочок на коренях і активізує діяльність азотфіксуючих бактерій.

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Калій сприяє покращенню водного режиму рослин, підвищує їх стійкість до хвороб і сприяє кращому наливу зерна.

Фосфорні та калійні добрива, як правило, вносять під основний обробіток ґрунту. Норми внесення добрив визначають залежно від родючості ґрунту, попередника та запланованої врожайності. У середньому рекомендується вносити 40–60 кг/га діючої речовини фосфору і 40–50 кг/га калію.

Азотні добрива застосовують у невеликих кількостях, оскільки надлишок азоту може пригнічувати розвиток бульбочкових бактерій і зменшувати біологічну фіксацію атмосферного азоту. Зазвичай перед сівбою вносять 10–20 кг/га діючої речовини азоту, що забезпечує початковий ріст рослин до активного функціонування бульбочкових бактерій.

Важливим елементом системи удобрення гороху є використання бактеріальних препаратів для передпосівної обробки насіння. Обробка насіння препаратами, що містять бульбочкові бактерії (*Rhizobium leguminosarum*), сприяє кращому утворенню бульбочок на коренях, підвищує інтенсивність азотфіксації та забезпечує рослини додатковим джерелом азоту.

На малородючих ґрунтах або за недостатнього забезпечення мікроелементами рекомендується застосовувати мікродобрива, зокрема препарати, що містять молібден і бор. Молібден активізує процес фіксації атмосферного азоту, а бор покращує розвиток генеративних органів рослин і сприяє формуванню бобів.

Таким чином, правильно організована система удобрення гороху дозволяє створити оптимальні умови для росту і розвитку рослин, забезпечити ефективне використання біологічного азоту та отримати високий і стабільний урожай. Рациональне застосування добрив у поєднанні з іншими агротехнічними заходами є важливим фактором підвищення ефективності технології вирощування гороху.

2.4. Основний і передпосівний обробіток ґрунту.

Обробіток ґрунту є важливою складовою технології вирощування гороху і спрямований на створення оптимальних умов для проростання насіння, росту і

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

розвитку рослин, а також для накопичення і збереження вологи в ґрунті. Правильно організована система обробітку ґрунту забезпечує знищення бур'янів, покращує структуру ґрунту, сприяє накопиченню поживних речовин та підвищує ефективність використання добрив.

Система обробітку ґрунту при вирощуванні гороху включає основний (зяблевий) та передпосівний обробіток.

Основний обробіток ґрунту проводять після збирання попередника. Його основною метою є накопичення вологи в ґрунті, знищення бур'янів, загортання рослинних решток та добрив, а також створення сприятливих умов для розвитку кореневої системи рослин. Залежно від попередника і стану поля основний обробіток ґрунту може включати кілька технологічних операцій.

Після збирання зернових культур зазвичай виконують лушення стерні на глибину 6–8 см. Ця операція сприяє знищенню падалиці та бур'янів, а також зменшує випаровування вологи з ґрунту. Для лушення стерні використовують дискові лушпильники або важкі дискові борони.

Через 2–3 тижні після лушення стерні проводять оранку на глибину 20–25 см. Оранка є основною операцією обробітку ґрунту і забезпечує глибоке розпушування ґрунту, загортання рослинних решток та добрив, а також створення сприятливого водно-повітряного режиму ґрунту. Для виконання цієї операції застосовують плуги, агреговані з тракторами відповідного тягового класу.

У районах із недостатнім зволоженням або на полях з легкими ґрунтами інколи застосовують безполицевий обробіток, який дозволяє краще зберігати вологу та зменшувати ерозійні процеси. У такому випадку використовують чизельні культиватори або глибокорозпушувачі.

Передпосівний обробіток ґрунту проводять навесні і він спрямований на підготовку посівного шару ґрунту до сівби. Основними завданнями передпосівного обробітку є вирівнювання поверхні поля, розпушування верхнього шару ґрунту, знищення бур'янів та створення дрібногрудкуватої структури ґрунту.

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Першою операцією весняного обробітку є ранньовесняне боронування, яке проводять одразу після підсихання поверхні ґрунту. Боронування сприяє руйнуванню ґрунтової кірки, зменшує втрати вологи та вирівнює поверхню поля.

Наступною операцією є культивація на глибину 5–8 см, яку виконують безпосередньо перед сівбою. Під час культивації відбувається розпушування ґрунту, знищення бур'янів та вирівнювання поверхні поля. Для виконання цієї операції використовують культиватори, обладнані стрілочастими лапами та боролами.

У деяких випадках перед сівбою проводять коткування, яке сприяє ущільненню ґрунту в посівному шарі та забезпечує кращий контакт насіння з ґрунтом. Це особливо важливо при вирощуванні гороху, оскільки рівномірне загортання насіння і щільний контакт із ґрунтом сприяють дружному появленню сходів.

Таким чином, правильно організована система основного і передпосівного обробітку ґрунту забезпечує створення сприятливих умов для росту і розвитку рослин гороху, підвищує ефективність використання вологи і поживних речовин та сприяє формуванню високого врожаю. Комплекс механізованих операцій з обробітку ґрунту є важливою складовою технології вирощування цієї культури.

2.5. Підготовка насіння і сівба.

Якість насіння та правильна організація сівби мають вирішальне значення для формування високого врожаю гороху. Використання кондиційного насіння, своєчасне проведення передпосівної підготовки та дотримання оптимальних строків сівби забезпечують дружні сходи, рівномірний розвиток рослин і формування продуктивного стеблостою.

Для сівби використовують добре очищене і відкаліброване насіння, яке відповідає вимогам державних стандартів за чистотою, схожістю та вологістю. Насіння повинно мати високу енергію проростання та схожість не нижче 90–95 %. Перед висіванням його очищають від механічних домішок, пошкодженого та щуплого зерна на зерноочисних машинах.

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Одним із важливих елементів передпосівної підготовки насіння є протруювання, яке проводять для захисту рослин від грибкових та бактеріальних захворювань. Для цього використовують спеціальні протруйники, які забезпечують рівномірне нанесення препарату на поверхню насіння.

Крім того, насіння гороху часто обробляють бактеріальними препаратами, що містять бульбочкові бактерії. Така обробка сприяє кращому утворенню бульбочок на коренях рослин і підвищує інтенсивність фіксації атмосферного азоту. У результаті рослини краще забезпечуються азотом, що позитивно впливає на їх ріст і розвиток.

Горох належить до ранніх ярих культур, тому його висівають у ранні строки, як тільки ґрунт досягне фізичної стиглості і стане придатним для проведення польових робіт. Рання сівба дозволяє максимально використати запаси ґрунтової вологи та уникнути негативного впливу високих температур у період цвітіння і наливу зерна.

Сівбу гороху проводять звичайним рядковим способом із міжряддям 15 см. Для цього використовують зернові сівалки, які забезпечують рівномірний розподіл насіння по площі поля та необхідну глибину загортання.

Норма висіву насіння залежить від сорту, ґрунтово-кліматичних умов та якості насіннєвого матеріалу. У середньому вона становить 180–250 кг/га, що забезпечує формування оптимальної густоти стояння рослин. Густота посіву повинна становити приблизно 0,9–1,2 млн рослин на гектар.

Глибина загортання насіння залежить від механічного складу ґрунту та його вологості. На важких ґрунтах насіння загортають на глибину 4–5 см, а на легких ґрунтах – 5–7 см. Надмірно глибоке або мілке загортання насіння може призвести до нерівномірних сходів і зниження врожайності.

Після сівби, особливо на легких або недостатньо зволжених ґрунтах, часто проводять коткування посівів. Ця операція сприяє ущільненню верхнього шару ґрунту, покращує контакт насіння з ґрунтом і забезпечує дружні сходи.

Таким чином, правильна підготовка насіння та дотримання оптимальних строків і параметрів сівби є важливими факторами отримання високого врожаю

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

гороху. Виконання цих технологічних операцій із застосуванням сучасних засобів механізації забезпечує рівномірні сходи рослин і створює передумови для формування високопродуктивних посівів.

2.6. Догляд за посівами.

Догляд за посівами гороху є важливим етапом технології вирощування культури і спрямований на створення сприятливих умов для росту та розвитку рослин, зменшення негативного впливу бур'янів, шкідників і хвороб, а також забезпечення формування високого врожаю. Основними заходами догляду за посівами є боронування, боротьба з бур'янами, шкідниками та хворобами.

Після появи сходів інколи проводять боронування посівів, яке дозволяє зруйнувати ґрунтову кірку, покращити аерацію ґрунту та знищити ранні сходи бур'янів. Цю операцію виконують легкими боролами у фазі 3–5 листків рослин, коли вони достатньо укорінені і менш чутливі до механічного пошкодження. Боронування проводять уперек напрямку рядків або по діагоналі до них.

Одним із найважливіших заходів догляду за посівами є боротьба з бур'янами, оскільки горох на початкових етапах розвитку росте повільно і не може ефективно конкурувати з бур'янами за світло, воду та поживні речовини. Для знищення бур'янів застосовують механічні та хімічні методи боротьби.

Механічні методи передбачають проведення міжрядних обробітків на широкорядних посівах або боронування на ранніх стадіях розвитку рослин. Однак у сучасних технологіях вирощування гороху найчастіше використовують гербіциди, які дозволяють ефективно контролювати бур'яни на ранніх стадіях їх розвитку. Гербіциди можуть застосовуватися як до появи сходів культури, так і після їх появи.

Важливим елементом догляду за посівами є захист рослин від шкідників і хвороб. Найбільш поширеними шкідниками гороху є горохова зернівка, попелиці та різні види довгоносиків. Для боротьби з ними використовують інсектициди, які застосовують у період масового розмноження шкідників.

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Серед хвороб гороху найчастіше зустрічаються аскохітоз, фузаріоз та борошниста роса. Для зменшення шкодочинності цих хвороб використовують комплекс заходів, що включає правильне чергування культур у сівозміні, використання стійких сортів, протруювання насіння та застосування фунгіцидів у період вегетації.

У деяких випадках при вирощуванні гороху застосовують підживлення рослин мікроелементами, які сприяють покращенню росту і розвитку рослин та підвищують їх стійкість до несприятливих умов. Найчастіше використовують препарати, що містять бор, молібден та інші мікроелементи.

Таким чином, своєчасне проведення заходів догляду за посівами гороху дозволяє забезпечити оптимальні умови для росту і розвитку рослин, зменшити втрати врожаю від бур'янів, шкідників і хвороб та отримати високий і стабільний урожай. Комплекс механізованих операцій догляду за посівами є важливою складовою сучасної технології вирощування гороху.

2.7. Збирання врожаю.

Збирання врожаю є завершальним етапом технології вирощування гороху і має велике значення для отримання якісної продукції та зменшення втрат зерна. Несвоєчасне або неправильне проведення цієї операції може призвести до значних втрат врожаю через осипання зерна, пошкодження бобів або ураження рослин хворобами.

Горох характеризується нерівномірним дозріванням бобів на рослині. Спочатку досягають нижні боби, тоді як верхні можуть ще залишатися зеленими. Крім того, при перезріванні боби можуть розтріскуватися, що призводить до осипання зерна на поверхню ґрунту. Тому важливим є правильне визначення оптимальних строків збирання врожаю.

Збирання гороху зазвичай починають тоді, коли 70–80 % бобів досягають повної стиглості, а вологість зерна становить приблизно 16–18 %. У цей період рослини набувають жовтого або бурого забарвлення, більшість бобів підсихає, а зерно досягає характерного для сорту розміру і кольору.

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

Існують два основні способи збирання гороху: роздільний (двофазний) і пряме комбайнування (однофазний спосіб).

Роздільний спосіб збирання застосовують у випадках нерівномірного дозрівання посівів або значної забур'яненості поля. При цьому спочатку виконують скошування рослин у валки за допомогою валкових жаток. Скошені рослини підсихають у валках протягом кількох днів, після чого проводять обмолот валків зернозбиральними комбайнами.

У більшості випадків при вирощуванні гороху застосовують пряме комбайнування, яке передбачає одночасне зрізування рослин і обмолот зерна комбайном. Цей спосіб є більш продуктивним і дозволяє скоротити витрати праці та часу на збирання врожаю.

Для збирання гороху використовують зернозбиральні комбайни, обладнані спеціальними пристроями для роботи з низькорослими культурами. Важливе значення має правильне налаштування робочих органів комбайна, зокрема висоти зрізу, швидкості руху, частоти обертання молотильного барабана та зазорів між барабаном і підбарабанням.

Висота зрізу рослин повинна бути мінімальною, щоб зменшити втрати бобів, які часто розміщуються у нижній частині рослини. Зазвичай вона становить 5–7 см. Частоту обертання молотильного барабана встановлюють у межах 400–600 об/хв, що забезпечує ефективний обмолот бобів без значного пошкодження зерна.

Під час збирання врожаю важливо також забезпечити своєчасне транспортування зерна від комбайнів до місць первинної доробки. Для цього використовують транспортні засоби, які працюють у складі збирально-транспортних комплексів.

Таким чином, правильна організація процесу збирання гороху дозволяє значно зменшити втрати врожаю, зберегти якість зерна та забезпечити ефективність технології вирощування культури. Після збирання зерно потребує проведення післязбиральної доробки, яка включає очищення, сушіння та підготовку до зберігання. Саме процес первинного очищення зерна є важливим

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

етапом технологічного процесу і потребує використання ефективних зерноочисних машин.

2.8. Післязбиральна доробка зерна.

Після збирання врожаю зерно гороху потребує проведення комплексу технологічних операцій, які забезпечують доведення його до кондиційного стану, придатного для зберігання або подальшої переробки. Сукупність таких операцій називають післязбиральною доробкою зерна. Основною метою післязбиральної доробки є видалення різних домішок із зернової маси, зниження вологості зерна до безпечного рівня, а також сортування зерна за розмірами і якістю.

Зернова маса, яка надходить із зернозбирального комбайна, є неоднорідною сумішшю, що складається не лише із зерна основної культури, але й із різноманітних домішок. До таких домішок належать рослинні рештки (частини стебел, листя, бобів), насіння бур'янів, частинки ґрунту, щупле або пошкоджене зерно, а також пил. Вміст домішок у зерновій масі може становити від 5 до 20 % і більше залежно від умов збирання врожаю, стану посівів та технічного стану збиральної техніки.

Наявність домішок у зерновій масі негативно впливає на якість зерна та ускладнює його зберігання. Домішки підвищують вологість зернової маси, сприяють розвитку мікроорганізмів і можуть викликати самозігрівання зерна під час зберігання. Крім того, домішки знижують товарну якість продукції та ускладнюють подальшу переробку зерна. Тому після збирання врожаю необхідно проводити очищення зерна на спеціальних машинах.

Післязбиральна доробка зерна зазвичай включає такі основні технологічні операції: первинне очищення зерна; сушіння зерна (за необхідності); вторинне очищення та сортування; підготовку зерна до зберігання.

Першим етапом післязбиральної доробки є первинне очищення зерна, яке проводять безпосередньо після надходження зернової маси від комбайнів. Метою цієї операції є видалення грубих та легких домішок, які можуть погіршувати умови подальшої обробки зерна. Первинне очищення дозволяє зменшити

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

вологість зернової маси, поліпшити її сипкість та підготувати зерно до сушіння або подальшого очищення.

Для первинного очищення зерна використовують різні типи зерноочисних машин, у яких процес сепарації відбувається за рахунок відмінностей фізико-механічних властивостей компонентів зернової суміші. Найчастіше застосовують машини, що використовують такі принципи розділення: розділення за розмірами частинок (решітні сепаратори); розділення за аеродинамічними властивостями (повітряні сепаратори); розділення за щільністю і формою частинок.

Одним із ефективних способів очищення зернової маси є використання відцентрових сепараторів, у яких процес розділення відбувається під дією відцентрових сил. У таких машинах зернова суміш подається на конічну поверхню решета, по якій переміщується під дією інерційних сил. Частинки зерна і домішок розділяються залежно від їх розмірів і фізико-механічних властивостей.

Ефективність процесу очищення зерна значною мірою залежить від конструкції робочих органів зерноочисних машин. Однією з основних проблем під час роботи традиційних решіт є їх забивання частинками зернової суміші, розміри яких близькі до розмірів отворів. Це призводить до зниження продуктивності машини, погіршення якості очищення та збільшення енерговитрат.

Одним із перспективних напрямів удосконалення процесу очищення зерна є застосування решіт зі щілинами змінної ширини, які розширюються в напрямку руху зернової маси. Така конструкція сприяє самоочищенню робочої поверхні решета та зменшує ймовірність заклинювання частинок. У результаті підвищується ефективність процесу сепарації та продуктивність зерноочисної машини.

Таким чином, післязбиральна доробка зерна є важливою складовою технології виробництва зерна гороху. Використання сучасних і вдосконалених зерноочисних машин дозволяє підвищити якість очищення зерна, зменшити втрати продукції та забезпечити ефективну підготовку зерна до зберігання або

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

подальшої переробки. Це обумовлює необхідність удосконалення конструкції зерноочисних машин, зокрема робочих органів відцентрових сепараторів, що буде розглянуто в подальших розділах роботи.

2.9. Висновки по розділу.

У результаті проведеного аналізу технології вирощування гороху встановлено, що ця культура має важливе значення для сільськогосподарського виробництва завдяки високій поживній цінності зерна та здатності покращувати родючість ґрунту. Біологічні особливості гороху визначають специфіку технології його вирощування та потребу у своєчасному виконанні комплексу механізованих операцій.

Встановлено, що технологія вирощування гороху включає систему взаємопов'язаних агротехнічних заходів, до яких належать підготовка ґрунту, внесення добрив, підготовка насіння і сівба, догляд за посівами, збирання врожаю та післязбиральна доробка зерна. Виконання цих операцій із застосуванням сучасних засобів механізації дозволяє підвищити продуктивність праці та забезпечити дотримання агротехнічних вимог при вирощуванні культури.

Особливу увагу в технології виробництва зерна гороху приділяють післязбиральній доробці, оскільки зернова маса, що надходить від зернозбиральних комбайнів, містить значну кількість різноманітних домішок. Наявність домішок погіршує якість зерна, ускладнює його транспортування та зберігання, а також може призводити до втрат продукції.

Однією з основних операцій післязбиральної доробки є первинне очищення зерна, яке дозволяє видалити грубі та легкі домішки із зернової маси. Для виконання цієї операції використовують зерноочисні машини різних типів, у яких розділення компонентів зернової суміші відбувається за рахунок відмінностей їх фізико-механічних властивостей.

Аналіз сучасних способів очищення зерна показує, що перспективним напрямом підвищення ефективності сепарації є використання відцентрових

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

сепараторів. У таких машинах процес розділення зернової суміші відбувається під дією відцентрових сил, що забезпечує інтенсивне переміщення матеріалу по робочій поверхні решета та ефективне відокремлення домішок.

Разом з тим під час роботи традиційних зерноочисних машин можливе забивання решіт частинками матеріалу, розміри яких близькі до розмірів отворів. Це призводить до зниження продуктивності машини та погіршення якості очищення зерна. У зв'язку з цим актуальним є удосконалення конструкції робочих органів зерноочисних машин, зокрема решітних поверхонь.

Одним із перспективних напрямів удосконалення зерноочисних машин є використання конічних решіт зі щілинами змінної ширини, які розширюються в напрямку руху зернового матеріалу. Така конструкція дозволяє зменшити ймовірність заклинювання частинок, покращити самоочищення решета та підвищити ефективність процесу сепарації.

Отже, для підвищення ефективності післязбиральної доробки зерна гороху доцільним є застосування удосконалених конструкцій зерноочисних машин. Подальші дослідження в роботі спрямовані на розробку та обґрунтування конструкції удосконаленого відцентрового сепаратора з конічним решетом, що забезпечує підвищення ефективності процесу очищення зерна.

3. ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОНАННЯ СІВБИ ГОРОХУ

3.1. Умови роботи.

Первинне очищення зерна гороху здійснюється безпосередньо після збирання врожаю і є однією з основних операцій післязбиральної доробки. У процесі очищення із зернової суміші видаляються грубі, дрібні та легкі домішки, що дозволяє підвищити якість зерна та забезпечити його подальше зберігання.

Зернова маса, що надходить після збирання, являє собою зерновий ворох, який складається із зерна основної культури та різноманітних домішок. Склад вороху залежить від умов вирощування, ступеня забур'яненості посівів, технічного стану комбайнів та погодних умов під час збирання.

Для подальших розрахунків приймемо типовий склад зернового вороху гороху.

Таблиця 3.1

Склад зернового вороху

№ п/п	Найменування компонентів	Вміст, %
1	Зерно гороху	85
2	Соломисті домішки	7
3	Насіння бур'янів	4
4	Дрібні домішки (пісок, пил)	4
	Разом	100

Розрахунок масового балансу зернової суміші. Прийнята продуктивність сепаратора – $Q=5$ т/год, або $Q=5000$ кг/год.

Визначимо масу кожного компонента зернової суміші.

1. Маса зерна гороху

$$Q_z = 0,85 \cdot 5000 = 4250 \text{ кг/год.}$$

2. Соломисті домішки

$$Q_c = 0,07 \cdot 5000 = 350 \text{ кг/год.}$$

3. Насіння бур'янів

$$Q_{\text{с}} = 0,04 \cdot 5000 = 200 \text{ кг/год.}$$

4. Дрібні домішки

$$Q_{\text{д}} = 0,04 \cdot 5000 = 200 \text{ кг/год.}$$

Перевірка балансу

$$4250 + 350 + 200 + 200 = 5000 \text{ кг/год}$$

Баланс виконується.

Аналіз зернової суміші. Отримані результати показують, що з 5 т/год зернової маси: 4,25 т/год – це корисне зерно, 0,75 т/год – домішки. Це означає, що вміст домішок – 15%. Така кількість домішок є типовою для зерна, що надходить після збирання, і потребує обов'язкового очищення.

Процес очищення зерна в даній роботі здійснюється у відцентровому сепараторі з конічним решетом. Під час роботи: зернова суміш подається на нижню частину решета; під дією відцентрових сил переміщується вздовж його поверхні; частинки розділяються за розмірами.

Основними факторами, що впливають на ефективність очищення, є: склад зернової суміші; рівномірність подачі матеріалу; вологість зерна (16–20%); геометричні параметри решета; швидкість руху зернової маси.

Особливістю запропонованої конструкції є використання щілин змінної ширини, що розширюються в напрямку руху матеріалу. Це дозволяє: зменшити заклинювання частинок; покращити самоочищення решета; підвищити ефективність сепарації.

У результаті аналізу умов роботи встановлено, що зерновий ворох гороху містить близько 15 % домішок, що потребує ефективного очищення. Проведений розрахунок масового балансу показав, що при продуктивності 5 т/год на очищення надходить 4250 кг/год основного зерна та 750 кг/год домішок.

Отримані дані є вихідними для подальших розрахунків параметрів роботи зерноочисного агрегату та обґрунтування його ефективності.

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

3.2. Агротехнічні вимоги.

Агротехнічні вимоги до процесу первинного очищення зерна визначають основні показники якості виконання цієї технологічної операції. Дотримання встановлених вимог забезпечує отримання кондиційного зерна, придатного для зберігання або подальшої переробки, а також сприяє зменшенню втрат зерна і підвищенню ефективності роботи зерноочисних машин.

Первинне очищення зерна проводять безпосередньо після надходження зернової маси від зернозбиральних комбайнів. Основним завданням цієї операції є видалення грубих і легких домішок, які погіршують сипкість зернової маси, підвищують її вологість та ускладнюють подальшу обробку.

До основних агротехнічних вимог процесу первинного очищення зерна гороху належать такі показники.

1. Ступінь очищення зерна. Після первинного очищення вміст домішок у зерні не повинен перевищувати 3–5 %. При цьому повинні бути видалені основні грубі домішки, такі як частини стебел, бобів, великі рослинні рештки та сторонні предмети.

2. Втрати зерна. Під час очищення втрати повноцінного зерна разом із домішками не повинні перевищувати 0,5–1 % від загальної маси зернової суміші.

3. Пошкодження зерна. У процесі очищення необхідно забезпечити мінімальне механічне пошкодження зерна. Частка пошкодженого зерна після очищення не повинна перевищувати 1 %.

4. Рівномірність подачі зерна. Для забезпечення ефективної роботи зерноочисної машини зернова маса повинна подаватися на робочі органи рівномірним потоком. Нерівномірна подача матеріалу призводить до перевантаження машини, зниження якості очищення та підвищення втрат зерна.

5. Вологість зерна. Вологість зерна, яке надходить на первинне очищення, зазвичай становить 16–20 %. При більшій вологості зернова маса має знижену сипкість, що ускладнює процес сепарації і може призводити до забивання робочих органів машини.

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

6. Продуктивність машини. Продуктивність зерноочисної машини повинна відповідати обсягам надходження зерна від зернозбиральних комбайнів і забезпечувати безперервність технологічного процесу післязбиральної доробки.

Для забезпечення зазначених вимог необхідно правильно підбирати тип зерноочисної машини, регулювати режими її роботи та своєчасно виконувати технічне обслуговування обладнання.

Виконання агротехнічних вимог до процесу первинного очищення зерна дозволяє підвищити якість продукції, зменшити втрати зерна і створити сприятливі умови для подальших операцій післязбиральної доробки.

3.3. Комплектування агрегату.

Комплектування агрегату для первинного очищення зерна гороху здійснюється з урахуванням продуктивності технологічної лінії, фізико-механічних властивостей зернової суміші та конструктивних особливостей зерноочисної машини. Основною вимогою до агрегату є забезпечення безперервної роботи, необхідної продуктивності та заданої якості очищення зерна.

У даній роботі для виконання операції первинного очищення зерна використовується відцентровий сепаратор з конічним решетом, продуктивність якого становить $Q=5$ т/год. До складу агрегату входять: приймальний бункер; завантажувальний пристрій; відцентровий сепаратор; аспіраційна система; транспортні пристрої для відведення очищеного зерна і домішок.

Розрахунок масової подачі матеріалу. Секундна продуктивність машини

$$Q_c = \frac{5000}{3600} = 1,39 \text{ кг/с.}$$

Отже, для стабільної роботи сепаратора необхідно забезпечити рівномірну подачу зернової суміші – $Q_c = 1,39$ кг/с.

Розрахунок об'ємної подачі зерна. Для визначення об'ємної подачі використаємо формулу

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

$$Q_v = \frac{Q}{\rho}, \quad (3.1)$$

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

Тоді

$$Q_v = \frac{5000}{750} = 6,67 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Секундна подача

$$Q_v = \frac{6,67}{3600} = 0,00185 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Розрахунок геометричних параметрів решета. Робочим органом сепаратора є конічне решето, яке має форму зрізаного конуса. Приймаємо: більший діаметр – $D = 0,6 \text{ м}$, менший діаметр – $d = 0,3 \text{ м}$, висота конуса – $H = 0,45 \text{ м}$.

Визначимо довжину твірної конуса

$$l = \sqrt{\left(\frac{D+d}{2}\right)^2 + H^2}. \quad (3.2)$$

$$l = \sqrt{(0,15)^2 + (0,45)^2} = 0,474 \text{ м.}$$

Розрахунок площі робочої поверхні решета. Площа бічної поверхні зрізаного конуса визначається

$$S = \pi \frac{D+d}{2} \cdot l. \quad (3.3)$$

$$S = 3,14 \cdot \frac{0,6+0,3}{2} \cdot 0,474 = 0,67 \text{ м}^2.$$

Розрахунок питомого навантаження на решето. Питоме навантаження визначається як відношення продуктивності до площі решета

$$q = \frac{Q}{S}. \quad (3.4)$$

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

$$q = \frac{5000}{0,67} = 7463 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}).$$

або

$$q = 7,46 \text{ т}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}).$$

Це значення відповідає інтенсивному режиму роботи відцентрового сепаратора.

Розрахунок коефіцієнта завантаження сепаратора. Коефіцієнт завантаження визначається як відношення фактичної продуктивності до максимально допустимої.

Приймаємо допустиме навантаження $q = 8 \text{ т}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}).$

Тоді

$$k = \frac{7,46}{8} = 0,93,$$

Отже, сепаратор працює з коефіцієнтом завантаження $k = 0,93$, що відповідає ефективному режиму роботи.

У результаті комплектування агрегату встановлено, що для первинного очищення зерна гороху доцільно використовувати відцентровий сепаратор продуктивністю 5 т/год із конічним решетом діаметром 600 мм. Розрахунки показали, що масова подача становить – 1,39 кг/с; об'ємна подача – 6,67 м³/год; площа робочої поверхні решета – 0,67 м²; питоме навантаження – 7,46 т/(м²·год); коефіцієнт завантаження – 0,93. Отримані значення підтверджують доцільність використання прийнятих параметрів агрегату та забезпечують ефективне виконання процесу очищення зерна.

3.4. Підготовка зерноочисної машини до роботи.

Підготовка зерноочисної машини до роботи є важливим етапом, від якого значною мірою залежить ефективність процесу очищення зерна, продуктивність агрегату та якість отриманої продукції. Неправильне налаштування машини

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

може призвести до зниження якості очищення, підвищених втрат зерна та збільшення енерговитрат.

Перед початком роботи необхідно провести зовнішній огляд зерноочисної машини, під час якого перевіряють: технічний стан основних вузлів і механізмів; надійність кріплення деталей; відсутність сторонніх предметів у робочих органах; стан привідних елементів (пасів, муфт, підшипників).

Особливу увагу приділяють робочому органу – конічному решету, оскільки саме воно визначає ефективність процесу сепарації. Перевіряють: правильність встановлення решета; стан стержнів; відсутність деформацій і забруднень; рівномірність зазорів між стержнями.

Щілини між стержнями повинні відповідати розмірам зерна гороху та домішок. У запропонованій конструкції щілини мають змінну ширину, яка збільшується в напрямку руху зернового матеріалу. Це забезпечує поступове відокремлення домішок і зменшує ймовірність забивання решета.

Регулювання подачі зернової суміші. Однією з основних умов ефективної роботи сепаратора є рівномірна подача матеріалу. Для цього налаштовують завантажувальний пристрій, який повинен забезпечувати подачу зернової маси відповідно до розрахункової продуктивності $Q=5$ т/год.

Подача матеріалу не повинна перевищувати допустиме значення, оскільки це може призвести до перевантаження решета і зниження якості очищення.

Регулювання режиму роботи сепаратора. Важливим параметром є частота обертання решета, яка визначає інтенсивність дії відцентрових сил. Для забезпечення ефективного переміщення зернової маси по поверхні решета частота обертання повинна бути в межах $n=350\ldots450$ об/хв. Зі збільшенням частоти обертання підвищується швидкість руху зерна, однак надмірне її значення може призвести до погіршення якості сепарації та збільшення втрат зерна.

Регулювання аспіраційної системи. Аспіраційна система призначена для видалення легких домішок (пилу, частинок соломи, лущиння). Перед початком роботи необхідно: перевірити справність вентиляторів; відрегулювати швидкість

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

повітряного потоку; забезпечити ефективне видалення легких домішок без втрат зерна.

Швидкість повітря повинна бути достатньою для видалення легких домішок, але не перевищувати значення, при якому можливе винесення зерна.

Пробний запуск і налаштування. Після завершення підготовчих операцій виконують пробний запуск машини без навантаження, під час якого перевіряють: роботу всіх механізмів; відсутність сторонніх шумів і вібрацій; стабільність обертання робочих органів.

Далі виконують пробну подачу зернової суміші і оцінюють: якість очищення; наявність втрат зерна; рівномірність розподілу матеріалу по поверхні решета. За результатами пробного запуску проводять додаткове регулювання параметрів роботи машини.

Правильна підготовка зерноочисної машини до роботи забезпечує стабільність технологічного процесу, високу якість очищення зерна та мінімальні втрати продукції. Основними умовами ефективної роботи є рівномірна подача зернової суміші, оптимальна частота обертання робочого органа та правильне регулювання аспіраційної системи.

Особливістю запропонованої конструкції є використання конічного решета зі щілинами змінної ширини, що дозволяє підвищити ефективність сепарації та зменшити ймовірність забивання робочої поверхні.

3.5. Організація роботи агрегату.

Організація роботи агрегату для первинного очищення зерна гороху повинна забезпечувати безперервність технологічного процесу, повне використання продуктивності машин та мінімальні втрати робочого часу. Рациональна організація роботи дозволяє підвищити ефективність використання техніки, зменшити витрати енергії та трудових ресурсів.

Вихідні дані для розрахунків: продуктивність агрегату – $Q=5$ т/год, тривалість зміни – $T_{зм} = 7$ год.

Розрахунок змінного виробітку. Змінний виробіток визначається

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$W_{зм} = Q \cdot T_{зм}. \quad (3.5)$$

$$W_{зм} = 5 \cdot 7 = 35 \text{ т/зм.}$$

Отже, за одну зміну агрегат очищує $W_{зм} = 35 \text{ т/зм.}$

Розрахунок добового виробітку. При двозмінній роботі

$$W_{д} = W_{зм} \cdot 2. \quad (3.6)$$

$$W_{д} = 35 \cdot 2 = 70 \text{ т/добу.}$$

Розрахунок тривалості очищення партії зерна. Для партії зерна масою G

$$t = \frac{G}{Q}. \quad (3.7)$$

Для партії зерна $G = 20 \text{ т}$

$$t = \frac{20}{5} = 4 \text{ год.}$$

Розрахунок коефіцієнта використання часу зміни. Реальний час роботи агрегату менший за змінний через простой.

Приймаємо: підготовчо-заклучний час – 0,5 год, технологічні простой – 0,5 год. Тоді ефективний час

$$T_{\text{еф}} = 7 - 1 = 6 \text{ год.}$$

Коефіцієнт використання часу

$$k_{\text{ч}} = \frac{T_{\text{еф}}}{T_{зм}}. \quad (3.8)$$

$$k_{\text{ч}} = \frac{6}{7} = 0,86.$$

Розрахунок фактичного виробітку

$$W_{\phi} = Q \cdot T_{\text{еф}}. \quad (3.9)$$

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

$$W_{\phi} = 5 \cdot 6 = 30 \text{ т/зм}$$

Розрахунок кількості агрегатів. При надходженні зерна – $Q_{\text{пот}} = 60 \text{ т/добу}$.

Необхідна кількість машин

$$n = \frac{Q_{\text{пот}}}{W_{\text{доб}}} \quad (3.10)$$

$$n = \frac{60}{70} = 0,86 \approx 1$$

Отже, достатньо 1 агрегату.

Узгодження роботи з комбайнами. Прийmemo продуктивність комбайна $Q_k = 10 \text{ т/год}$. Кількість комбайнів

$$n = \frac{5}{10} = 0,5$$

Тобто один сепаратор обслуговує 1–2 комбайни.

Розрахунок витрат електроенергії. Приймаємо потужність $N = 5 \text{ кВт}$. Тоді витрати енергії за зміну

$$E = N \cdot T_{\text{еф}} \quad (3.11)$$

$$E = 5 \cdot 6 = 30 \text{ кВт/год.}$$

Розрахунок питомих витрат енергії

$$e = \frac{E}{W_{\phi}} \quad (3.12)$$

$$e = \frac{30}{30} = 1 \text{ кВт. год/т.}$$

Розрахунок чисельності персоналу. Приймаємо: оператор – 1, допоміжний працівник – 1.

У результаті організації роботи агрегату встановлено, що при продуктивності 5 т/год змінний виробіток становить 35 т, а фактичний – 30 т.

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

Добовий виробіток при двозмінній роботі складає 70 т, що забезпечує ефективну роботу агрегату при обслуговуванні 1–2 зернозбиральних комбайнів.

Коефіцієнт використання часу зміни становить 0,86, що відповідає нормальним умовам експлуатації. Питомі витрати електроенергії становлять 1 кВт·год/т, що є економічно доцільним показником.

Розрахунок матеріального балансу процесу очищення. На основі прийнятого складу зернового вороху (п. 3.1) визначимо розподіл компонентів після очищення. Вихідні дані: загальна подача – $Q=5000$ кг/год. Зерно – $G_z = 4250$ кг/год, домішки – $G_d = 750$ кг/год.

Приймаємо ефективність видалення домішок – $\eta=0,9$.

Розрахунок сходової фракції (домішки)

$$G_{cx} = \eta \cdot G_d. \quad (3.13)$$

$$G_{cx} = 0,9 \cdot 750 = 675 \text{ кг/год.}$$

Розрахунок домішок, що залишаються в зерні

$$G_d^{zal} = (1 - \eta) \cdot G_d. \quad (3.14)$$

$$G_d^{zal} = (1 - 0,9) \cdot 750 = 75 \text{ кг/год.}$$

Розрахунок проходкової фракції (очищене зерно)

$$G_{pr} = G_z + G_d^{zal}. \quad (3.15)$$

$$G_{pr} = 4250 + 75 = 4325 \text{ кг/год.}$$

Перевірка балансу

$$4325 + 675 = 5000 \text{ кг/год.}$$

Баланс виконується.

Розрахунок втрат зерна. Приймаємо допустимі втрати зерна $\alpha = 1\%$.

Тоді

$$G_{vtr} = 0,01 \cdot 5000 = 50 \text{ кг/год.}$$

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Отже, втрати повноцінного зерна становлять $G_{\text{втр}} = 50$ кг/год.

Розрахунок якості очищення. Якість очищення визначається ступенем зменшення вмісту домішок

$$\varepsilon = \frac{A_{\text{до}} - A_{\text{після}}}{A_{\text{до}}} \cdot 100\%. \quad (3.16)$$

де $A_{\text{до}} = 15\%$; $A_{\text{після}} = 4\%$.

$$\varepsilon = \frac{15 - 4}{15} \cdot 100\% = 73\%.$$

Отже, ступінь очищення становить – $e = 73\%$.

Розрахунок продуктивності по очищеному зерну

$$Q_{\text{ч}} = 4325 \text{ кг/год} = 4,33 \text{ т/год.}$$

Розрахунок коефіцієнта використання продуктивності

$$k_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{ч}}}{Q}. \quad (3.17)$$

$$k_{\text{пр}} = \frac{4,33}{5} = 0,87.$$

Розрахунок інтегральної ефективності агрегату. Інтегральна ефективність враховує: використання часу, використання продуктивності

$$\eta_{\text{агр}} = k_{\text{ч}} \cdot k_{\text{пр}}. \quad (3.18)$$

$$\eta_{\text{агр}} = 0,86 \cdot 0,87 = 0,75.$$

Розрахунок навантаження на оператора. Змінний виробіток – $W_{\text{ф}} = 30$ т/зм.

Кількість персоналу – $n=2$.

Навантаження на одного працівника

$$W_1 = \frac{30}{2} = 15 \text{ т/чол} \cdot \text{зм.}$$

Розрахунок ефективності використання агрегату. Коефіцієнт ефективності очищення

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

$$k_{\text{еф}} = \frac{G_{\text{сх}}}{G_{\text{д}}}. \quad (3.19)$$

$$k_{\text{еф}} = \frac{675}{750} = 0,9.$$

Проведені розрахунки показали, що при продуктивності 5 т/год відцентровий сепаратор забезпечує ефективне очищення зерна гороху. Встановлено, що після очищення отримується 4325 кг/год кондиційного зерна та 675 кг/год домішок, які відводяться із системи.

Ступінь очищення становить 73 %, що відповідає агротехнічним вимогам до первинного очищення зерна. Коефіцієнт використання продуктивності дорівнює – 0,87, а інтегральна ефективність агрегату – 0,75, що свідчить про раціональну організацію роботи агрегату.

Втрати зерна не перевищують допустимих значень і становлять 50 кг/год. Питомі витрати праці та енергії відповідають сучасним вимогам ефективності технологічних процесів.

3.6. Контроль якості очищення зерна.

Контроль якості очищення зерна є важливою складовою технологічного процесу післязбиральної доробки. Його метою є забезпечення відповідності очищеного зерна встановленим агротехнічним вимогам, а також своєчасне виявлення відхилень у роботі зерноочисної машини.

Оцінка якості очищення зерна проводиться за такими основними показниками: вміст домішок у очищеному зерні; втрати повноцінного зерна; ступінь очищення; рівномірність сепарації.

Визначення вмісту домішок. Вміст домішок визначають шляхом відбору проб зерна до і після очищення з наступним їх аналізом. Прийнято: до очищення: де $A_{\text{до}} = 15\%$; після очищення – $A_{\text{після}} = 4\%$. Отже, зерно відповідає вимогам первинного очищення (не більше 3–5 % домішок).

Контроль втрат зерна. Втрати зерна визначають як кількість повноцінного зерна, що потрапляє у відходи.

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Допустимі втрати: $\alpha=1\%$, фактичні втрати: $G_{\text{втр}} = 50$ кг/год.

Контроль здійснюють шляхом аналізу сходової фракції та відбору проб.

Контроль роботи сепаратора. Під час роботи контролюють: рівномірність подачі зерна; відсутність забивання решета; стабільність роботи механізмів; ефективність видалення легких домішок.

Особливу увагу приділяють стану конічного решета, оскільки його забруднення або деформація може значно погіршити якість очищення.

Для покращення якості очищення зерна необхідно: правильно регулювати подачу зерна; встановлювати оптимальну частоту обертання; контролювати стан решета; регулювати аспіраційну систему; своєчасно очищати робочі органи.

Контроль якості очищення зерна дозволяє забезпечити відповідність технологічного процесу встановленим вимогам та підтримувати стабільну роботу зерноочисного агрегату. Отримані показники (вміст домішок 4 %, ступінь очищення 73 %, втрати не більше 1 %) підтверджують ефективність використання відцентрового сепаратора.

3.7. Висновки по розділу.

У третьому розділі було розроблено операційну технологію первинного очищення зерна гороху з використанням відцентрового сепаратора.

Визначено умови роботи агрегату та проведено аналіз складу зернового вороху. Встановлено, що вміст домішок у зерновій масі становить близько 15 %, що потребує обов'язкового очищення.

Розроблено склад агрегату та виконано його комплектування. Визначено основні параметри роботи, зокрема продуктивність 5 т/год, площу робочої поверхні решета та коефіцієнт завантаження сепаратора.

Проведено розрахунок організації роботи агрегату, визначено змінний і добовий виробіток, коефіцієнт використання часу, витрати енергії та кількість обслуговуючого персоналу.

Виконано розрахунок матеріального балансу процесу очищення, що дозволило визначити кількість очищеного зерна та домішок після сепарації.

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Встановлено, що ступінь очищення становить 73 %, а втрати зерна не перевищують допустимих значень.

Розглянуто методи контролю якості очищення зерна та визначено основні показники ефективності роботи зерноочисного агрегату.

Таким чином, у результаті виконаних розрахунків обґрунтовано ефективність застосування відцентрового сепаратора для первинного очищення зерна гороху. Отримані результати є вихідними даними для подальшого розроблення та розрахунку удосконаленої конструкції робочого органа у четвертому розділі роботи.

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

4. ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

4.1. Аналіз існуючих конструкцій зерноочисних машин.

Післязбиральна доробка зерна є важливим етапом технології виробництва зернових і зернобобових культур. Основною операцією цієї стадії є очищення зерна від різноманітних домішок, що надходять разом із зерновою масою після збирання врожаю. Для виконання цієї операції використовують зерноочисні машини різних конструкцій, які працюють на основі відмінностей фізико-механічних властивостей компонентів зернової суміші.

Залежно від принципу дії зерноочисні машини можна поділити на кілька основних груп: решітні машини; повітряні сепаратори; трієрні машини; комбіновані зерноочисні агрегати; відцентрові сепаратори.

Решітні зерноочисні машини. Решітні машини є найбільш поширеними у післязбиральній доробці зерна. Процес сепарації в них здійснюється за рахунок різниці у розмірах частинок зернової суміші. Основним робочим органом таких машин є решета з отворами певної форми і розмірів.

До переваг решітних машин належать: простота конструкції; висока надійність роботи; можливість очищення різних видів зерна.

Недоліками таких машин є: можливість забивання отворів решета; зниження ефективності очищення при підвищеній вологості зерна; значні коливальні навантаження на робочі органи.

Повітряні сепаратори. Повітряні сепаратори використовують відмінності в аеродинамічних властивостях частинок зернової суміші. У таких машинах зернова маса проходить через повітряний потік, під дією якого легкі домішки відокремлюються від основного зерна.

Перевагами повітряних сепараторів є: ефективне видалення легких домішок; висока продуктивність; простота регулювання режиму роботи.

Основним недоліком є те, що вони не забезпечують достатнього відокремлення домішок, близьких за розмірами до зерна.

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

Трієрні машини. Трієри застосовують для очищення зерна за довжиною частинок. Основним робочим органом трієрів є циліндрична поверхня з комірками певної форми. Під час обертання циліндра короткі або довгі частинки відокремлюються від основної маси зерна. Такі машини ефективно відокремлюють домішки, що відрізняються за довжиною, однак їх використання обмежене операціями вторинного очищення зерна.

Комбіновані зерноочисні машини. У сучасному сільськогосподарському виробництві широко застосовують комбіновані зерноочисні машини, які поєднують кілька принципів сепарації. У таких машинах зернова маса послідовно проходить через аспіраційні канали, решітні стани та інші робочі органи. Комбіновані машини забезпечують високу якість очищення зерна, однак характеризуються складнішою конструкцією, значними габаритами та підвищеним енергоспоживанням.

Відцентрові сепаратори. Одним із перспективних напрямів розвитку зерноочисних машин є використання відцентрових сепараторів. У таких машинах процес розділення зернової суміші відбувається під дією відцентрових сил, що виникають під час обертання робочих органів.

У відцентрових сепараторах зернова суміш подається на конічну або циліндричну поверхню решета, по якій переміщується під дією відцентрових сил. Частинки зерна і домішок розділяються залежно від їх розмірів, маси та форми.

Перевагами відцентрових сепараторів є: інтенсивний процес сепарації; висока продуктивність; компактність конструкції; можливість ефективного очищення зерна з підвищеним вмістом домішок.

Разом з тим традиційні конструкції таких машин мають певні недоліки. Основним з них є забивання отворів решета частинками зернової суміші, розміри яких близькі до розмірів отворів. Це призводить до зниження продуктивності машини та погіршення якості очищення зерна.

У зв'язку з цим актуальним є вдосконалення конструкції решітних поверхонь відцентрових сепараторів, зокрема застосування решіт зі щілинами змінної ширини, які розширюються в напрямку руху зернової маси. Така

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

конструкція дозволяє покращити самоочищення решета та підвищити ефективність процесу сепарації.

4.2. Обґрунтування конструкції удосконаленого решета.

Ефективність процесу очищення зерна у відцентрових сепараторах значною мірою визначається конструкцією робочого органу – решета. Саме від геометричних параметрів решета, форми і розмірів його отворів, а також умов руху зернової маси залежить якість сепарації, продуктивність машини та рівень енерговитрат.

У традиційних зерноочисних машинах застосовуються решета з отворами постійної форми і розміру. Однак у процесі роботи такі решета мають суттєвий недолік – схильність до забивання отворів частинками зернової суміші, розміри яких близькі до розмірів отворів. Це призводить до зменшення живого перерізу решета, зниження продуктивності машини та погіршення якості очищення зерна.

Особливо інтенсивно процес забивання проявляється при підвищеній вологості зерна та наявності значної кількості дрібних і пластичних домішок. У таких умовах ефективність роботи традиційних решіт різко знижується, що обумовлює необхідність пошуку нових конструктивних рішень.

У даній роботі запропоновано використання конічного решета стержньового типу зі щілинами змінної ширини, яке встановлюється у відцентровому сепараторі.

Робоча поверхня решета утворена набором поздовжніх стержнів різного діаметра, розташованих таким чином, що між ними формуються щілини, ширина яких поступово збільшується в напрямку руху зернового матеріалу.

Основними конструктивними елементами решета є: поздовжні стержні різного діаметра; опорні кільця або диски; кріпильні осі та дистанційні шайби; приводний вузол обертання.

Конструкція решета має форму зрізаного конуса, що забезпечує направлений рух зернової маси під дією відцентрових сил (4.1).

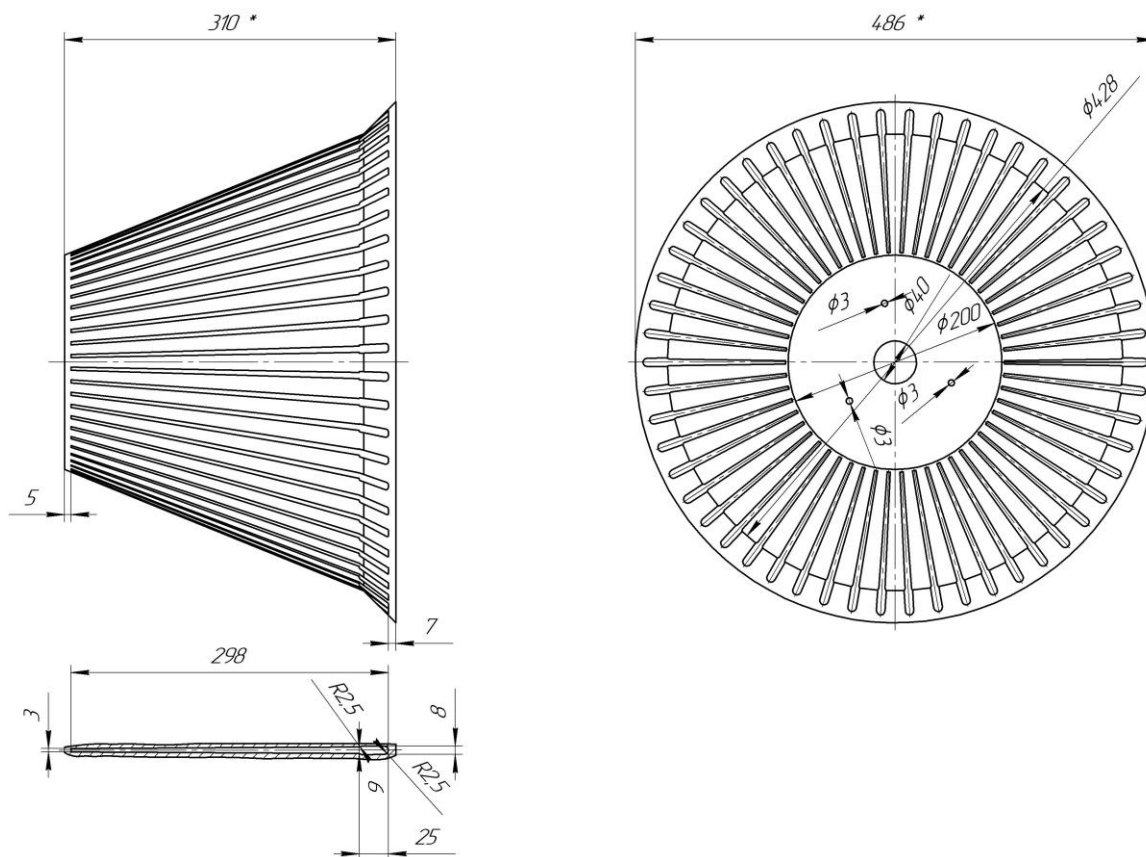


Рисунок 4.1 – Загальний вигляд конічного решета

Принцип роботи удосконаленого решета. У процесі роботи зернова суміш подається на внутрішню поверхню конічного решета. Під дією відцентрових сил, що виникають при обертанні, матеріал притискається до поверхні решета і переміщується вздовж його твірної.

У початковій зоні решета, де щілини мають мінімальну ширину, відбувається відокремлення дрібних домішок. У міру переміщення матеріалу щілини поступово розширюються, що дозволяє: зменшити ймовірність заклинювання частинок; забезпечити поетапне проходження домішок; підвищити інтенсивність процесу сепарації. Крупні частинки і основне зерно, які не проходять через щілини, переміщуються до вихідної частини решета.

Запропонована конструкція решета має ряд суттєвих переваг порівняно з традиційними:

- самоочищення робочої поверхні. Завдяки змінній ширині щілин зменшується ймовірність заклинювання частинок, що забезпечує стабільну роботу решета без його забивання;

- підвищення ефективності сепарації. Поетапне розділення зернової суміші покращує якість очищення та дозволяє більш точно відокремлювати домішки.
- збільшення продуктивності машини. Відсутність забивання решета забезпечує стабільний живий переріз і підвищує пропускну здатність;
- зменшення енерговитрат. Завдяки покращенню умов руху зернової маси зменшується опір її переміщенню, що знижує навантаження на привід;
- універсальність застосування. Конструкція може бути використана для очищення різних зернових і зернобобових культур.

Обґрунтування параметрів решета. Основними параметрами удосконаленого решета є: діаметри конуса (D і d); висота решета (H); діаметр стержнів; початкова і кінцева ширина щілин; кут нахилу твірної конуса; частота обертання.

Збільшення ширини щілин у напрямку руху матеріалу повинно бути таким, щоб забезпечити поступове відокремлення домішок без втрат основного зерна. Початкова ширина щілин приймається меншою за мінімальний розмір зерна, а кінцева – більшою за максимальний розмір дрібних домішок.

Кут нахилу твірної конуса і частота обертання підбираються таким чином, щоб забезпечити стійкий рух зернової маси по поверхні решета без її зависання або надмірного прискорення.

Таким чином, запропонована конструкція конічного решета зі щілинами змінної ширини дозволяє усунути основні недоліки традиційних решіт, підвищити ефективність процесу очищення зерна та забезпечити стабільну роботу зерноочисної машини. Це створює передумови для подальшого обґрунтування параметрів роботи сепаратора та виконання технологічних і енергетичних розрахунків.

4.3. Технологічний розрахунок.

Технологічний розрахунок відцентрового сепаратора з конічним решетом спрямований на визначення умов ефективного розділення зернової суміші, а також обґрунтування параметрів руху матеріалу по робочій поверхні.

Процес очищення зерна у відцентровому сепараторі базується на дії відцентрових сил, які виникають при обертанні робочого органу і забезпечують притискання зернової маси до поверхні решета та її переміщення вздовж нього.

Визначення відцентрової сили, що діє на частинку

$$F_c = m \cdot \omega^2 \cdot r, \quad (4.1)$$

де F_c – відцентрова сила, що діє на частинку, Н;

m – маса частинки, кг;

ω – кутова швидкість обертання, рад/с;

r – радіус обертання, м.

Кутова швидкість визначається через частоту обертання

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}, \quad (4.2)$$

де n – частота обертання, об/хв.

Приймаємо $n = 400$ об/хв. Тоді

$$\omega = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 400}{60} = 41,9 \text{ рад/с.}$$

Умова притискання зерна до поверхні решета. Для забезпечення стійкого руху зерна по поверхні решета необхідно, щоб відцентрова сила була більшою за силу тяжіння

$$m\omega^2 r > mg, \quad (4.3)$$

або

$$\omega^2 r > g. \quad (4.4)$$

Перевіримо умову для середнього радіуса $r = 0,3$

$$\omega^2 r = (41,9)^2 \cdot 0,3 \approx 526 \text{ м/с}^2.$$

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2.$$

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Оскільки $526 > 9,81$ умова виконується, що забезпечує надійне притискання зерна до решета.

Визначення швидкості руху зерна по поверхні решета. Лінійна швидкість руху частинки

$$v = \omega r. \quad (4.5)$$

$$v = 41,9 \cdot 0,3 \approx 12,6 \text{ м/с.}$$

Ця швидкість визначає інтенсивність переміщення зернової маси по поверхні решета.

Умова проходження частинок через щілини. Проходження частинок через щілини решета відбувається за умови, що їх характерний розмір менший за ширину щілини

$$d_{\text{ч}} < b. \quad (4.6)$$

де $d_{\text{ч}}$ – характерний розмір частинки;

b – ширина щілини.

У запропонованій конструкції

$$b_1 < b_2 < b_3.$$

Це забезпечує поетапне відокремлення домішок.

Визначення часу перебування матеріалу на решеті. Час перебування визначається як

$$t = \frac{L}{v}, \quad (4.7)$$

де L – довжина шляху руху зерна ($L \approx 0,47$ м);

v – швидкість руху.

$$t = \frac{0,47}{12,6} = 0,037 \text{ с}$$

Це свідчить про інтенсивний характер процесу сепарації.

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Визначення товщини шару зерна. Товщина шару визначається за формулою

$$h = \frac{Q}{\rho \cdot B \cdot v}, \quad (4.8)$$

де Q – продуктивність, кг/с;

ρ – насипна густина, кг/м³;

B – ширина шару ($B \approx 0,3$ м);

v – швидкість.

$$h = \frac{1,39}{750 \cdot 0,3 \cdot 12,6} \approx 0,5 \text{ мм.}$$

Отже, процес відбувається у тонкому шарі, що є сприятливим для ефективної сепарації.

Аналіз умов ефективної сепарації. Ефективність процесу очищення визначається такими умовами: забезпечення достатньої відцентрової сили; рівномірний рух зернової маси; оптимальна швидкість руху; мінімальна товщина шару; правильний підбір ширини щілин. Запропонована конструкція решета забезпечує виконання всіх зазначених умов.

У результаті технологічного розрахунку встановлено, що при частоті обертання 400 об/хв забезпечується достатня відцентрова сила для притискання зерна до поверхні решета. Швидкість руху зернової маси становить 12,6 м/с, а процес сепарації відбувається у тонкому шарі, що сприяє підвищенню ефективності очищення. Отримані результати підтверджують доцільність використання відцентрового сепаратора з удосконаленим конічним решетом та створюють основу для подальшого енергетичного розрахунку.

4.4. Енергетичний розрахунок.

Енергетичний розрахунок відцентрового сепаратора спрямований на визначення потужності, необхідної для приводу робочого органу, а також оцінку енергетичної ефективності процесу очищення зерна.

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Потужність, що споживається зерноочисною машиною, витрачається на: подолання інерційних сил при обертанні решета; переміщення зернової маси по поверхні; подолання сил тертя; роботу допоміжних систем (аспірація, подача матеріалу).

Кутова швидкість обертання робочого органу $n=400$ об/хв – $\omega=41,9$ рад/с. Для безперервного процесу приймаємо масову подачу $Q=1,39$ кг/с.

Тоді сила, що діє на потік матеріалу

$$F_c = Q \cdot \omega^2 \cdot r, \quad (4.9)$$

$$F_c = 1,39 \cdot (41,9)^2 \cdot 0,3 \approx 732 \text{ Н.}$$

Сила тертя визначається

$$F_T = f \cdot F_c, \quad (4.10)$$

де f – коефіцієнт тертя (приймаємо $f = 0,4$).

$$F_T = 0,4 f \cdot 732 \approx 293 \text{ Н.}$$

Визначення потужності на переміщення матеріалу. Потужність визначається

$$N_1 = F_T \cdot v, \quad (4.11)$$

де швидкість

$$v = \omega \cdot R. \quad (4.12)$$

$$v = 41,9 \cdot 0,3 = 12,6 \text{ м/с.}$$

$$N_1 = 293 \cdot 12,6 \approx 36,92 \text{ Вт} \approx 3,7 \text{ кВт.}$$

Потужність на обертання робочого органу. Потужність на обертання визначається через момент

$$N_2 = M \cdot \omega. \quad (4.13)$$

Прийmemo орієнтовний момент опору $M = 20$ Н·м.

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

$$N_2 = 20 \cdot 41,9 \approx 838 \text{ Вт}$$

Загальна потужність приводу. З урахуванням втрат

$$N_2 = \frac{N_1 + N_2}{\eta}, \quad (4.14)$$

де $\eta=0,85$.

$$N_2 = \frac{3,7 + 0,84}{0,85} \approx 5,3 \text{ кВт.}$$

Вибір електродвигуна. Для забезпечення стабільної роботи приймаємо запас потужності $N_{\text{дв}} = 6 - 7,5 \text{ кВт.}$

Рекомендується використання асинхронного електродвигуна: потужність – 7,5 кВт, частота обертання – 1000–1500 об/хв.

Питомі витрати енергії

$$e = \frac{N}{Q}. \quad (4.15)$$

$$e = \frac{5,3}{5} \approx 1,06 \text{ кВт} \cdot \text{год/т.}$$

Це відповідає сучасним вимогам до енергоефективності зерноочисних машин.

Отримані результати показують, що:

- основна частина потужності витрачається на переміщення матеріалу;
- використання відцентрових сил дозволяє інтенсифікувати процес;
- тонкошаровий режим сприяє зниженню енерговитрат;
- удосконалене решето зменшує опір руху матеріалу.

У результаті енергетичного розрахунку встановлено, що для приводу відцентрового сепаратора необхідна потужність становить близько – 5,3 кВт. З урахуванням запасу прийнято електродвигун потужністю – 7,5 кВт, що забезпечує надійну та стабільну роботу агрегату. Питомі енерговитрати

становлять близько – 1,06 кВт·год/т, що свідчить про достатню енергоефективність запропонованої конструкції.

4.5. Розрахунок деталей та вузлів на міцність.

Розрахунок деталей та вузлів відцентрового сепаратора проводиться з метою забезпечення їх надійної та безпечної роботи при заданих режимах експлуатації. Основними елементами, що підлягають розрахунку, є: стержні конічного решета; вал приводу; кріпильні елементи; опорні вузли.

4.5.1. Розрахунок стержнів решета на міцність.

Стержні решета сприймають навантаження від зернової маси та відцентрових сил. Розглянемо стержень як балку, навантажену рівномірно розподіленим навантаженням.

Навантаження визначається як

$$q = \frac{Q}{S}. \quad (4.16)$$

де $Q=5000$ кг/год= $1,39$ кг/с; $S=0,67$ м².

$$q = \frac{5000}{0,67} \approx 7463 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{год.}$$

Приймаємо навантаження на один стержень $q_1 = 50$ Н/м.

Максимальний згинальний момент для балки з рівномірним навантаженням

$$M = \frac{q_1 \cdot l}{8}. \quad (4.17)$$

де l довжина стержня, ($l = 0,45$ м).

$$M = \frac{50 \cdot 0,45}{8} = 1,27 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Напруження згину

$$\sigma = \frac{M}{W}. \quad (4.18)$$

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Момент опору круглого перерізу

$$W = \frac{\pi d^3}{32}. \quad (4.19)$$

Приймаємо $d=5 \text{ мм}=0,005 \text{ м}$.

$$W = \frac{3,14 \cdot (0,005)^3}{32} \approx 1,23 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3.$$

$$\sigma = \frac{1,27}{1,23 \cdot 10^{-8}} \approx 103 \text{ МПа}.$$

Перевірка умови міцності.

Допустиме напруження для сталі $[\sigma]=160 \text{ МПа}$.

$$103 < 160$$

умова міцності виконується.

4.5.2. Розрахунок вала на кручення.

Вал передає крутний момент від двигуна до решета. Крутний момент

$$M_t = \frac{9950 \cdot N}{n}. \quad (4.20)$$

де $N = 5,3 \text{ кВт}$, $n=400 \text{ об/хв}$.

$$M_t = \frac{9950 \cdot 5,3}{400} = 126 \cdot \text{Н} \cdot \text{м}.$$

Напруження кручення

$$\tau = \frac{M_t}{W_p}. \quad (4.21)$$

$$W_p = \frac{\pi d^3}{16}. \quad (4.22)$$

Приймаємо $d=25 \text{ мм}=0,025 \text{ м}$.

$$W_p = \frac{3,14 \cdot (0,025)^3}{16} \approx 3,07 \cdot 10^{-6}.$$

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

$$W_p = \frac{126}{3,07 \cdot 10^{-6}} \approx 41 \text{ МПа.}$$

Перевірка міцності

$$[\tau] = 80 \text{ МПа}$$

$$41 < 80$$

вал працює надійно.

4.5.3. Розрахунок підшипників.

Радіальне навантаження

$$F_p = 800 \text{ Н.}$$

Ресурс підшипника

$$L_p = \left(\frac{C}{P} \right)^3 \cdot 10^6. \quad (4.23)$$

Приймаємо $C=5000 \text{ Н}$, $P=800 \text{ Н}$.

$$L_p = \left(\frac{5000}{800} \right)^3 \cdot 10^6 \approx 224 \cdot 10^6 \text{ обертів.}$$

ресурс достатній.

4.5.4. Розрахунок кріпильних елементів.

Сила, що діє на болт $F=500 \text{ Н}$.

Напруження

$$\sigma = \frac{F}{A}. \quad (4.24)$$

Для болта М8 – $A=36,6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2=3,66 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$.

$$\sigma = \frac{500}{3,66 \cdot 10^{-5}} = 13,7 \text{ МПа.}$$

значно менше допустимого, запас великий.

4.5.5. Перевірка жорсткості конструкції.

Прогин стержня

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

$$f = \frac{5ql^4}{384EI}. \quad (4.25)$$

де q – навантаження, ($q=50$ Н/м);

l – довжина стержня, ($l = 0,45$ м);

E – модуль пружності сталі, ($E = 2 \cdot 10^{11}$ Па);

I – момент інерції перерізу, м⁴.

Момент інерції круглого стержня

$$I = \frac{\pi d^4}{64}. \quad (4.26)$$

де d – діаметр стержня, м, ($d = 0,005$ м).

$$I = \frac{3,14 \cdot (0,005)^4}{64} \approx 3,07 \cdot 10^{-12} \text{ м}^4.$$

$$f = \frac{5 \cdot 50 \cdot (0,45)^4}{384 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 3,07 \cdot 10^{-12}} = 0,043 \text{ м} = 43 \text{ мм}.$$

Прогин не перевищує допустимих значень, тобто жорсткість достатня.

У результаті розрахунку встановлено, що всі основні елементи конструкції відцентрового сепаратора забезпечують необхідну міцність і жорсткість при заданих умовах роботи. Стержні решета витримують дію навантажень із запасом міцності, вал приводу працює у допустимому режимі кручення, а підшипникові вузли забезпечують необхідний ресурс роботи. Отримані результати підтверджують надійність запропонованої конструкції та можливість її практичного використання.

4.6. Очікувана ефективність модернізації.

Очікувана ефективність модернізації зерноочисної машини визначається шляхом аналізу впливу удосконаленої конструкції решета на основні техніко-економічні показники роботи агрегату. До таких показників належать: продуктивність машини; якість очищення зерна; втрати зерна; енерговитрати; експлуатаційна надійність.

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Запропонована модернізація передбачає використання конічного решета зі щілинами змінної ширини, що дозволяє покращити умови проходження зернової маси та зменшити забивання робочої поверхні.

Підвищення продуктивності машини. У традиційних зерноочисних машинах через забивання решета ефективний живий переріз зменшується, що призводить до зниження продуктивності.

У запропонованій конструкції: забезпечується самоочищення щілин; зберігається стабільний живий переріз; підвищується пропускна здатність.

Прийmemo: базова продуктивність – $Q_0 = 4,5$ т/год, модернізована – $Q_0 = 5$ т/год.

Приріст

$$\Delta Q = \frac{5 - 4,5}{4,5} \cdot 100 \approx 11\%.$$

Продуктивність зростає приблизно на 10–12 %.

Покращення якості очищення. Завдяки поетапному розширенню щілин: підвищується точність розділення; зменшується вміст домішок.

Прийmemo: до модернізації – 5 % домішок, після – 3 %.

$$\Delta = \frac{5 - 3}{5} \cdot 100 \approx 40\%.$$

Якість очищення покращується до 40 %.

Зменшення втрат зерна. У традиційних машинах частина зерна втрачається разом із домішками. Прийmemo: до модернізації – 1 %, після – 0,5 %. Зниження втрат у 2 рази.

Зниження енерговитрат. Згідно з розрахунками (розділ 4.4): питомі витрати – 1,06 кВт·год/т. Зменшення енерговитрат досягається за рахунок: зменшення опору руху зерна; відсутності забивання решета; стабільного режиму роботи.

Очікуване зниження енерговитрат на 10–15 %.

Підвищення надійності роботи. Запропонована конструкція забезпечує: менше простоїв; стабільну роботу; зменшення потреби в обслуговуванні.

Таблиця 4.1

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Показники узагальнених результатів роботи сепаратора

№ п/п	Найменування показників	До модернізації	Після модернізації	Зміна
1	Продуктивність, т/год	4,5	5	+11 %
2	Домішки, %	5	3	–40 %
3	Втрати, %	1	0,5	–50 %
4	Енерговитрати	1,2	1,06	–10–15 %

У результаті модернізації досягається: підвищення продуктивності; покращення якості очищення; зменшення втрат зерна; зниження енерговитрат; підвищення надійності роботи.

Отримані результати свідчать про доцільність застосування удосконаленого конічного решета у відцентровому сепараторі. Запропонована конструкція забезпечує підвищення продуктивності на 10–12 %, покращення якості очищення до 40 %, зниження втрат зерна та енерговитрат. Таким чином, модернізація зерноочисної машини є технічно обґрунтованою та ефективною.

4.7. Висновки по розділу.

У результаті виконання інженерної частини бакалаврської роботи проведено аналіз існуючих зерноочисних машин, обґрунтовано конструкцію удосконаленого робочого органу та виконано комплекс технологічних, енергетичних і міцнісних розрахунків.

Встановлено, що існуючі зерноочисні машини, зокрема решітні та відцентрові сепаратори, мають ряд недоліків, основним з яких є забивання робочих поверхонь, що призводить до зниження продуктивності та якості очищення зерна.

Обґрунтовано застосування конічного решета стержньового типу зі щілинами змінної ширини, які розширюються в напрямку руху зернового матеріалу. Запропонована конструкція забезпечує покращення умов проходження зернової маси, зменшення заклинювання частинок та підвищення ефективності сепарації.

Виконано технологічний розрахунок, у результаті якого визначено умови руху зерна по поверхні решета, встановлено величину відцентрової сили, швидкість переміщення матеріалу та параметри процесу сепарації. Показано, що процес очищення відбувається в тонкому шарі, що сприяє підвищенню ефективності розділення.

Проведено енергетичний розрахунок сепаратора, за результатами якого визначено необхідну потужність приводу, що становить близько 5,3 кВт. З урахуванням запасу обрано електродвигун потужністю 7,5 кВт, що забезпечує стабільну роботу агрегату.

Виконано розрахунок основних деталей та вузлів на міцність. Встановлено, що конструкція забезпечує необхідну міцність і надійність, а також визначено шляхи підвищення жорсткості робочого органу шляхом оптимізації геометричних параметрів стержнів.

Проведено оцінку очікуваної ефективності модернізації, яка показала, що застосування удосконаленого решета дозволяє підвищити продуктивність машини на 10–12 %, покращити якість очищення зерна, зменшити втрати та знизити енерговитрати.

Таким чином, результати інженерних розрахунків підтверджують доцільність модернізації зерноочисної машини та ефективність запропонованого технічного рішення. Запропонована конструкція може бути рекомендована до практичного використання у сільськогосподарському виробництві.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Аналіз умов праці при післязбиральній доробці зерна.

Післязбиральна доробка зерна, зокрема процес його очищення, пов'язана з виконанням робіт у виробничих умовах, де на працівників можуть впливати різні небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Основними місцями виконання цих робіт є зерноочисні пункти, склади та токи.

До основних небезпечних і шкідливих факторів належать:

- рухомі та обертові частини машин (вали, решета, транспортери);
- підвищений рівень шуму та вібрації;
- запиленість повітря робочої зони;
- можливість ураження електричним струмом;
- підвищена пожежонебезпека;
- несприятливі мікрокліматичні умови.

Запиленість повітря є одним із найбільш характерних факторів при очищенні зерна. Зерновий пил може містити органічні та мінеральні частинки, які при тривалому впливі негативно впливають на органи дихання працівників.

5.2. Вимоги безпеки до зерноочисного обладнання.

Зерноочисні машини повинні відповідати вимогам безпеки праці та мати: огороження всіх рухомих частин; справні пускові та зупинні пристрої; заземлення електрообладнання; систему аварійного відключення; попереджувальні знаки безпеки.

Особливу увагу необхідно приділяти відцентровому сепаратору, в якому: обертові частини повинні бути повністю закриті кожухами; забороняється робота при знятих захисних огороженнях; технічне обслуговування проводиться лише після повної зупинки машини.

5.3. Заходи безпеки при експлуатації обладнання.

Перед початком роботи оператор повинен: перевірити технічний стан машини; переконатися у наявності захисних огорожень; перевірити заземлення; виконати пробний запуск.

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Під час роботи забороняється: торкатися рухомих частин; очищати машину при її роботі; перевищувати допустиме навантаження; працювати при несправностях обладнання.

Після завершення роботи: машина повинна бути очищена; виконано технічне обслуговування; відключено електроживлення.

Для зменшення запиленості застосовуються: аспіраційні системи; герметизація робочих зон; регулярне очищення обладнання; використання індивідуальних засобів захисту (респіратори).

Для зниження шуму: використання амортизаторів; встановлення обладнання на віброізолюючі опори; застосування шумопоглинаючих матеріалів.

Електрообладнання зерноочисних машин повинно відповідати вимогам електробезпеки: напруга живлення – 380/220 В; обов'язкове заземлення; використання автоматичних вимикачів; регулярна перевірка ізоляції. Персонал повинен мати відповідну групу з електробезпеки.

Зерноочисні комплекси відносяться до пожежонебезпечних об'єктів через наявність пилу та органічних матеріалів.

Основні заходи: заборона відкритого вогню; наявність вогнегасників; регулярне очищення від пилу; контроль електрообладнання; дотримання правил пожежної безпеки.

5.4. Висновки по розділу.

У результаті аналізу умов праці встановлено, що процес очищення зерна супроводжується дією ряду небезпечних і шкідливих факторів, основними з яких є рухомі частини машин, запиленість повітря, шум та електричний струм.

Запропонована конструкція відцентрового сепаратора з удосконаленим решетом дозволяє частково знизити рівень запиленості за рахунок більш ефективної роботи аспіраційної системи та стабільності технологічного процесу.

Реалізація комплексу організаційних і технічних заходів забезпечує безпечні умови праці персоналу та відповідає вимогам охорони праці.

6. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі виконано комплексне дослідження технології вирощування гороху та обґрунтовано шляхи підвищення ефективності післязбиральної доробки зерна.

У результаті проведеного аналізу встановлено, що горох є важливою зернобобовою культурою, яка має значне продовольче та агротехнічне значення. Ефективність його вирощування значною мірою залежить від рівня механізації технологічних процесів, зокрема операцій післязбиральної доробки зерна.

Показано, що зернова маса, яка надходить після збирання врожаю, містить значну кількість домішок, що погіршують якість продукції та ускладнюють її зберігання. Однією з основних операцій післязбиральної доробки є первинне очищення зерна, ефективність якого визначається конструкцією зерноочисних машин.

Аналіз існуючих зерноочисних машин показав, що вони мають ряд недоліків, основним з яких є забивання решіт, що призводить до зниження продуктивності та якості очищення зерна.

У роботі запропоновано удосконалену конструкцію відцентрового сепаратора з конічним решетом стержньового типу, у якому щілини між стержнями мають змінну ширину та розширюються в напрямку руху зернового матеріалу. Це дозволяє покращити умови проходження частинок через решето, зменшити заклинювання та забезпечити самоочищення робочої поверхні.

У процесі виконання роботи проведено технологічний розрахунок, у результаті якого визначено параметри руху зернової маси по поверхні решета, встановлено величину відцентрових сил та обґрунтовано режими роботи сепаратора. Показано, що процес очищення відбувається у тонкому шарі, що сприяє підвищенню ефективності сепарації.

Енергетичний розрахунок показав, що для забезпечення роботи сепаратора необхідна потужність становить близько 5,3 кВт, що дозволяє використовувати електродвигун потужністю 7,5 кВт.

У результаті розрахунку деталей та вузлів встановлено, що основні елементи конструкції забезпечують необхідну міцність і надійність роботи. Запропоновано заходи щодо підвищення жорсткості робочого органу.

Оцінка очікуваної ефективності модернізації показала, що застосування удосконаленого решета дозволяє: підвищити продуктивність машини на 10–12 %; покращити якість очищення зерна; зменшити втрати зерна; знизити енерговитрати; підвищити надійність роботи обладнання.

У розділі з охорони праці розглянуто основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори та запропоновано заходи щодо забезпечення безпечних умов праці при експлуатації зерноочисного обладнання.

Таким чином, поставлена мета роботи досягнута, а розроблена конструкція удосконаленого відцентрового сепаратора є технічно обґрунтованою та може бути рекомендована до впровадження у сільськогосподарське виробництво.

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

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.

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Кіровоград: 2010, Вип. 23, С. 303-309.

12. Лузан П.Г., Шмат С.І. Шляхи зниження енергоємності сепарації зерна. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Кіровоград: КДТУ, 2003. Вип. 32. С. 35-40.

13. Лузан П.Г., Шмат С.І. Вдосконалення решета з щілинами непостійного розміру та методика визначення їх параметрів. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Кіровоград: КНТУ, 2007. Вип. 37. С. 271-280.

14. Основи сталого розвитку аграрного сектора: Досвід та знання Франції, Чеської республіки, України. За заг. ред. Я. Сансебе, Т.М. Димань. Біла Церква: ТОВ «Офсет», 2010. 304 с.

15. Петренко М.М. та ін. Науково-технологічні основи очисного та сушильного зернового обладнання, що працює в стані псевдо зрідження: Монографія. Кіровоград: СПД ФО Лисенко В.Ф. 2013, 212 с.

16. Ігнат'єв М.П., Лузан К.П., Лузан П.Г. Аналіз процесу сепарації та обґрунтування конструкції конусного решета. Збірник праць молодих науковців КНТУ. Вип. 2, червень 2013 р.

17. Сало В.М., Лузан П.Г., Богатирьов Д.В. Наукові основи сепарації зерна на решетах з клиноподібною формою отворів. Монографія. Кіровоград: СПД ФО Лисенко В.Ф., 2013. 148 с.

18. 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'янченко 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

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

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:

					МБГ 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

<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>

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

ДОДАТКИ

					МВГ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62