

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 озимої пшениці з модернізацією
зерноочистки зернозбирального комбайну»

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

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

_____Сульженко Денис Олександрович

« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____Сергій ЛЕЩЕНКО

« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

_____Руслан ОСІН

« ____ » _____ 2026 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет Агротехнічний
Кафедра Сільськогосподарського машинобудування
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень
Галузь знань 20 «Аграрні науки та продовольство»
Спеціальність 208 «Агроінженерія»
Освітньо-професійна програма «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

«___» _____ 2026 року

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

Сульженку Денису Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Механізація вирощування озимої пшениці з модернізацією зерноочистки зернозбирального комбайну

2. Керівник роботи (проекту) Лещенко Сергій Миколайович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 24.06.2026 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи (проекту) _____

5. Перелік графічного матеріалу _____

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-4	Лещенко С.М.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Виконання розділів 1, 2		
	Графічна частина арк. 1	26.04.2026 р.	
2	Виконання розділу 3		
	Графічна частина арк. 2	28.05.2026 р.	
3	Виконання розділів 4, 5		
	Графічна частина арк. 3	12.06.2026 р.	
4	Оформлення пояснювальної записки,		
	графічної частини, підготовка до захисту.	24.06.2026 р.	

Дата видачі завдання
«12» лютого 2026 р.

Підпис керівника

_____ (прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання
«___» _____ 2026 р.

Підпис здобувача _____ (прізвище та ініціали)

Анотація

Тема: «Механізація вирощування озимої пшениці з модернізацією зерноочистки зернозбирального комбайну»

озима пшениця, пряме комбайнування, зернозбиральний комбайн, повітряно-решітна очистка, варіатор вентилятора, датчики втрат, автоматизоване керування

Кваліфікаційну роботу присвячено підвищенню ефективності та зниженню втрат вирощеного врожаю озимої пшениці на етапі збирання шляхом автоматизації повітряно-решітної очистки самохідного зернозбирального комбайна класичної схеми КЗС-950 «Руслан». У роботі обґрунтовано інженерне рішення щодо заміни серійного ручного привода варіатора вентилятора на дистанційну електрогідравлічну систему автоматичної адаптації швидкості повітряного потоку, яка функціонує в замкнутому контурі на основі сигналів п'єзоелектричних датчиків втрат зерна й бортового мікропроцесорного контролера.

Проведені технологічні розрахунки масового балансу вороху підтвердили, що за номінальної подачі 8,0 кг/с та врожайності 4,5 т/га на очистку надходить 4,982 кг/с маси, що повністю відповідає робочій площі решіт 3,50 м² при об'ємній витраті повітря осьового вентилятора 4,415 м³/с під повним тиском 93,0 Па. Перевірочні розрахунки деталей на міцність та втомлюваність підтвердили експлуатаційну надійність модернізованого вузла: шток гідроциліндра має коефіцієнт стійкості проти поздовжнього згину за Ейлером $n_{ст} = 51,18$ (при нормі 4,0), а приводний шатун – запас міцності по витривалості $n_v = 6,85$.

Розроблено раціональну операційну технологію виконання робіт на площі 120 га з довжиною гону 1200 м. Обґрунтовано рух МТА на II-й передачі зі швидкістю 5,0 км/год та логістичну схему вивантаження бункера масою 2,95 т виключно на поворотній смузі шириною 24 м. Це забезпечило зростання коефіцієнта використання змінного часу до 0,78, досягнення продуктивності 15,76 га/зміну та завершення збирання масиву за 8 робочих діб. Окрему увагу приділено заходам з охорони праці, екологічної та пожежної безпеки згідно з вимогами ДСТУ ISO 45001:2019.

Abstract

Topic: «Mechanization of Winter Wheat Cultivation with the Modernization of a Grain Combine Harvester Cleaning System»

winter wheat, direct combining, grain combine harvester, air-sieve cleaning shoe, fan variator, loss sensors, automated control

The qualification thesis is dedicated to increasing the operational efficiency and reducing crop losses of winter wheat during the harvesting stage by automating the air-sieve cleaning system of the KZS-950 "Ruslan" conventional self-propelled grain combine harvester. The study substantiates an engineering solution to replace the stock manual fan variator drive with a remote electro-hydraulic system for automatic airflow velocity adaptation. This system operates within a closed-loop control circuit based on real-time feedback signals from piezoelectric grain loss sensors and an on-board microprocessor controller.

The performed technological calculations of the chaff mass balance confirmed that under a nominal feed rate of 8.0 kg/s and a grain yield of 4.5 t/ha, a mass flow of 4.982 kg/s is delivered to the cleaning shoe. This matches the standard sieve operating area of 3.50 m², with an axial fan volumetric airflow rate of 4.415 m³/s under a total pressure of 93.0 Pa. Verification calculations of components for structural strength and fatigue limits demonstrated high operational reliability of the modernized assembly: the hydraulic cylinder rod exhibits an Euler buckling stability factor of $n_{st} = 51.18$ (against a statutory norm of 4.0), and the drive pitman arm maintains a fatigue safety margin of $n_v = 6.85$.

A rational field operation technology has been developed for a 120-hectare crop array with a headland length of 1200 meters. The implement operation is optimized on the 2nd transmission gear at a travel speed of 5.0 km/h. The grain tank unloading logistics (mass of 2.95 t) is restricted exclusively to the 24-meter-wide turning strip. This operational layout increased the shift time utilization coefficient to 0.78, achieved a shift productivity of 15.76 ha/shif, and ensured complete harvest management of the entire array within 8 working days. Special consideration is given to occupational health, environmental protection, and fire safety measures in accordance with DSTU ISO 45001:2019 standards.

ЗМІСТ

1. Вступ.....	6
2. Аналіз існуючої технології вирощування озимої пшениці та пошук напрямків її удосконалення	8
3. Операційна технологія збирання врожаю озимої пшениці	15
4. Інженерна частина.....	29
5. Охорона праці	49
6. Висновки	54
Список використаної літератури	56
Додатки.....	59

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ВСТУП

Україна традиційно посідає провідні позиції на світовому аграрному ринку завдяки унікальним ґрунтово-кліматичним умовам та високому біопотенціалу родючих чорноземів. Провідне місце в структурі рослинництва держави належить зерновим колосовим культурам, серед яких озима пшениця є стратегічно важливою продовольчою культурою, що забезпечує внутрішню продовольчу безпеку та значний експортний потенціал країни.

Сучасний етап розвитку вітчизняного агропромислового комплексу характеризується поступовим переходом до інтенсивних, ресурсозберігаючих та точних технологій вирощування агрокультур. Проте ефективність виробництва зерна стримується суттєвими втратами вирощеного врожаю на етапі його збирання та первинної обробки. Завершальна стадія технологічного процесу вирощування зерна – пряме комбайнування – потребує не лише високої продуктивності збиральних агрегатів, а й високої якості роботи комбайнового очищення. Якість бункерного зерна та рівень його втрат безпосередньо впливають на рентабельність виробництва, оскільки додаткові витрати на післязбиральне очищення та сушіння суттєво підвищують собівартість кінцевої продукції.

Аналіз експлуатації вітчизняного та закордонного парку зернозбиральних комбайнів свідчить, що серійні повітряно-решітні системи очищення часто не встигають адаптуватися до змінних умов збирання: нерівномірної вологості хлібостою, наявності зелених бур'янів та коливань врожайності. Механічні системи регулювання обертів вентилятора очистки вимагають зупинки агрегату, що призводить до втрат робочого часу та зниження уваги оператора до точних налаштувань пневмосистеми.

					ВПЗК 00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Сутьженко			Пояснювальна записка	Літ.	Арк.
Перевір.		Леценко					6
Реценз.						ЦНТУ, гр. АІ-22-1	
Н. Контр.		Артеменко					
Затверд.		Васильковський					

З огляду на наведену інформацію, наукове обґрунтування та розробка вдосконалених адаптивних систем повітряно-решітної очистки зернозбиральних комбайнів класичної схеми обмолоту на основі безступінчастого гідравлічного або автоматизованого керування є актуальною науково-технічною задачею. Впровадження таких рішень дозволяє мінімізувати втрати зерна за молотаркою, підвищити чистоту бункерного вороху та забезпечити високу економічну ефективність виробництва озимої пшениці.

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ ТА ПОШУК НАПРЯМКІВ ЇЇ УДОСКОНАЛЕННЯ

2.1. Біологічні особливості озимої пшениці, її господарське та агротехнічне значення та особливості вирощування і використання

Озима пшениця (*Triticum aestivum* L.) (рис. 1) є унікальною культурою довгого світлового дня з вегетаційним періодом від 240 до 320 діб, залежно від сорту та зони вирощування. Біологічний розвиток озимої пшениці включає кілька чітко розмежованих фенологічних фаз: проростання насіння, сходи, кушіння, вихід у трубку, колосіння, цвітіння та дозрівання (молочна, воскова і повна стиглість). Насіння здатне проростати за температури посівного шару $+1...+2^{\circ}\text{C}$. Оптимальною для появи дружних сходів є температура $+15...+17^{\circ}\text{C}$.

Важливим біологічним етапом є осіннє кушіння, яке найкраще перебігає за температур $+11...+12^{\circ}\text{C}$. Для формування повноцінного вузла кушіння рослинам необхідно 40–50 днів осінньої вегетації із сумою ефективних температур $500...550^{\circ}\text{C}$. Процес загартування озимини складається з двох фаз:



Рис. 1. Озима пшениця біологічні особливості агрокультури

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1. Нагромадження цукрів у клітинах за температур близько 0° С на сонячному світлі.

2. Поступове зневоднення клітин за помірних мінусових температур.

Господарське значення озимої пшениці полягає у високому вмісті білка (12...15 %) та клейковини (28...32 %), що визначає її незамінність у хлібопекарській, макаронній та кондитерській промисловості. Агротехнічна роль культури зумовлена її здатністю завдяки щільному стеблостою пригнічувати розвиток бур'янів, захищати ґрунт від водної та вітрової ерозії, а також залишати після себе значну кількість кореневих і пожнивних решток, які покращують гумусовий баланс.

2.2. Місце озимої пшениці в сівозміні

У сучасному землеробстві дотримання науково обґрунтованих сівозмін є основою збереження родючості ґрунтів та профілактики поширення хвороб (зокрема, корневих гнилей та фузаріозу). Озима пшениця є досить вимогливою до попередників, оскільки її коренева система розвивається відносно повільно, насамперед на перших етапах вегетації.

Найкращими попередниками в агрокліматичних зонах України для озимої пшениці є:

- заняті та сидеральні пари;
- багаторічні та однорічні трави на один укіс;
- горох, соя та інші зернобобові культури, які збагачують ґрунт біологічним азотом.

Допускається розміщення посівів озимої пшениці після кукурудзи на силос та раннього соняшнику. Розміщення пшениці після пшениці або інших злакових культур (повторні посіви) призводить до накопичення в орному шарі патогенів і різкого зниження врожайності на 15...20 %, що суперечить принципам технологічності в агрономії.

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Система удобрення озимої пшениці

Озима пшениця вирізняється від інших сільськогосподарських культур високим рівнем виносу поживних речовин із ґрунту. Для формування 1 тони зерна з відповідною кількістю соломи рослини споживають приблизно 25–30 кг азоту (N), 11–13 кг фосфору (P_2O_5) та 20–25 кг калію (K_2O).

Система удобрення складається з трьох основних етапів:

1. Основне внесення (під осінній обробіток). Вносяться повні дози фосфорних та калійних добрив, які є малорухомими у ґрунті й забезпечують розвиток потужної кореневої системи в осінній період.

2. Припосівне удобрення. Внесення легкодоступних складних добрив (наприклад, нітроамофоски в дозі $N_{10-15}P_{10-15}K_{10-15}$ безпосередньо в рядки під час сівби для стартового живлення сходів.

3. Ранньовесняне та позакореневе підживлення. Операціям підживлення азотом відводиться вирішальна роль у регенерації вегетативної маси після перезимівлі. Перше підживлення (регенераційне) проводять по талому мерзлому ґрунту або в початковій фазі весняного кушіння агрегатами типу МВУ-0,5. Норми внесення варіюють у межах 50...300 кг/га залежно від фітосанітарного стану поля.

2.4. Система обробітку ґрунту при вирощуванні озимої пшениці

Завдання обробітку ґрунту полягає у створенні оптимального водно-повітряного режиму, знищенні бур'янів та рівномірному загортанні рослинних решток попередника.

Базова технологія передбачає таку послідовність.

Лущення стерні. Виконується безпосередньо після збирання попередника дисковими лущильниками типу ЛДГ-10А в агрегаті з трактором Т-150К. Глибина обробітку становить 6...8 см із допустимим відхиленням $\pm 1,5$ см. Перекриття суміжних проходів має становити 15 см для запобігання огріхам.

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основний обробіток (оранка). Проводиться класичним відвальним методом за допомогою плугів ПЛН-5-35 на глибину 25...27 см під озиму пшеницю. Зораний шар повинен містити не менше 80 % грудок розміром до 4 см.

Передпосівна культивация. Спрямована на вирівнювання поверхні поля та створення щільного насіннєвого ложа на глибині загортання насіння. Виконується комбінованими агрегатами, укомплектованими зубовими боролами БЗСС-1.0.

2.5. Підготовка насіння до сівби і сівба озимої пшениці

Насіннєвий матеріал повинен відповідати вимогам ДСТУ за показниками чистоти (не менше 98 %), схожості (не менше 92 %) та маси 1000 зерен. Передпосівна підготовка включає обов'язкове протруєння фунгіцидними та інсектицидними препаратами для захисту від сажкових хвороб, корневих гнилей та шкідників (довгоносиків, жужелиці).

Сівбу проводять за середньодобової температури повітря +14...+17° С. Оптимальні календарні строки для умов України – з 10 по 25 вересня. Сівба реалізується тракторами МТЗ-80 у зчипці із сівалками СЗ-3,6А. Робоча швидкість руху не повинна перевищувати 11,5 км/год. Норма висіву становить 4,5–5,5 млн схожих насінин на гектар. Глибина загортання насіння – 4...5 см. Для поліпшення контакту насіння з ґрунтом посіви за потреби прикочують кільчасто-шпоровими котками ЗККШ-6.

2.6. Догляд за посівами озимої пшениці

Комплекс заходів із догляду за посівами озимої пшениці спрямований на захист посівів від бур'янів, шкідників та збудників хвороб протягом усього періоду вегетації рослин.

Ранньовесняне боронування. Для нього використовують зубові борони БЗСС-1,0 в агрегаті з трактором ДТ-75М для руйнування ґрунтової кірки,

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

заробки внесених добрив та видалення відмерлих решток. Рух агрегатів здійснюють прямолінійно впоперек напрямку сівби із робочою швидкістю до 11,5 км/год.

Хімічний захист. Включає внесення гербіцидів у фазі кушіння для знищення дводольних та злакових бур'янів. У фазах виходу в трубку та центрального листка посіви обробляють фунгіцидами (проти борошнистої роси, септоріозу, іржі) та інсектицидами (проти клопа-черепашки, попелиць, трипсів).

2.7. Збирання врожаю озимої пшениці

Збирання врожаю – найбільш відповідальний та напружений етап технології. Основним методом збирання пшениці є пряме комбайнування (однофазний спосіб), за якого процеси зрізання хлібостою, обмолоту, сепарації вороху та очищення зерна відбуваються синхронно. Прямим методом збирають рівномірно достиглі, чисті від бур'янів посіви за вологості зерна не більше 25 % (оптимально 14...17 %). Висота зрізання хлібів варіює від 13 до 35 см залежно від густоти стеблостою.

За інтенсивної технології в базових господарствах тривалий час використовувався комбайн «Дон-1500Б». Агротехнічні вимоги жорстко обмежують сумарні втрати зерна за молотаркою комбайна на рівні не більше 1,5 %, а чистота бункерного зерна повинна становити щонайменше 96...98 %.

2.8. Обґрунтування доцільності використання комбайна КЗС-950 «Руслан» при вирощуванні озимої пшениці та аналіз його недоліків, що потребують поліпшення

Зернозбиральний самохідний комбайн КЗС-950 «Руслан» розроблений як модернізована заміна застарілих моделей комбайнів класичної схеми обмолоту. Його використання є найбільш доцільним для середніх фермерських господарств з огляду на оптимальне співвідношення пропускної

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

здатності молотарки (до 8 кг/с) та капітальних витрат. Завдяки компоновальній схемі «кабіна–бункер–двигун» досягається раціональний розподіл ваги по осях та покращуються умови праці механізатора.

Однак аналіз практичної експлуатації зернозбирального комбайна КЗС-950 виявив ряд конструктивних та технологічних недоліків даного агрегату:

1. Механічний ручний привід варіатора вентилятора очистки зерноочистки. Цей недолік є головним недоліком базової моделі зернозбирального агрегату. Для зміни швидкості повітряного потоку комбайнер змушений зупиняти збиральний агрегат, виходити з кабіни й вручну регулювати ведучий шків варіатора. Через значні втрати часу оператори часто нехтують цим налаштуванням. Як наслідок, у разі зміни забур'яненості або вологості поля виникає або перевитрата повноцінного зерна у відходи через надмірний повітряний потік, або забивання решіт та забруднення зібраного врожаю в бункері легкими домішками.

2. Низька адаптивність пальцевої решітки струсної дошки комбайна. Фіксована довжина граблин пальцевої решітки не дозволяє інтенсифікувати процес попереднього розшарування важкого зернового вороху до його потрапляння на верхнє жалюзійне решето. Це обмежує загальну продуктивність сепарації, що найбільше проявляється за умов високої врожайності культури.

Для усунення зазначених недоліків у даній роботі пропонується модернізація системи очищення шляхом впровадження електрогідравлічного керування варіатором вентилятора безпосередньо з кабіни комбайна (з інтеграцією датчиків витрат та бортового комп'ютера), а також встановлення адаптивної пальцевої решітки з регульованою довжиною граблин.

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Короткі висновки по розділу

Аналіз базової технології вирощування озимої пшениці підтвердив її високу інтенсивність та чутливість до дотримання строків та якості виконання кожної операції. Етап збирання врожаю способом прямого комбайнування є найбільш енергозатратним та важливим з точки зору збереження вирощеної продукції. Застосування класичного зернозбирального комбайна КЗС-950 «Руслан» є технологічно виправданим, проте його серійна повітряно-решітна очистка потребує модернізації. Перехід на автоматизоване або дистанційне керування пневмосепаруючою системою та оптимізація геометрії пальцевої решітки є перспективними шляхами зниження втрат повноцінного зерна та загальному підвищенню рентабельності виробництва.

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

3. ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ЗБИРАННЯ ВРОЖАЮ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ

Операційна технологія механізованих робіт – це комплексна система інженерно-технічних, агрономічних та організаційних рішень, спрямована на раціональне використання машинно-тракторних агрегатів (МТА). При прямому комбайнуванні зерна озимої пшениці раціональна технологія забезпечує безперервність технологічного процесу, мінімізацію якісних і кількісних втрат врожаю, а також високу паливну та енергетичну ефективність збирального комплексу.

3.1. Умови роботи та їх поглиблений аналіз

Ефективність функціонування зернозбирального комбайна КЗС-950 «Руслан» суттєво залежить від фізико-механічних властивостей хлібостою, рельєфу місцевості та геометричних характеристик поля. Проектування операційної технології базується на таких уточнених параметрах Степової зони України:

- культура: озима пшениця (*Triticum aestivum* L.), Богдана сорт інтенсивний середньостиглий, стійкий до вилягання та осипання;
- урожайність зернової частини озимої пшениці (Y): $4,5 \text{ т/га} = 45 \text{ ц/га}$;
- солемистість хлібостою (β): визначає співвідношення маси соломи до маси зерна ($Z : C$), відомо, що для даного сорту це співвідношення становить $1 : 1,2$. Це означає, що загальна біологічна врожайність надземної маси незернової частини врожаю складає $4,5 \times (1 + 1,2) = 9,9 \text{ т/га.}$;
- вологість рослинної маси: вологість зерна перебуває в межах $14...16 \%$, вологість незернової частини врожаю – $17...19 \%$. Дані показники є оптимальними для ефективного обмолоту скошеного збіжжя вороху в молотильному апараті та його подальшої аеродинамічної сепарації;

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- забур'яненість посіву озимої пшениці: незначна (до 2 % загальної біомаси), бур'яни перебувають у нижньому ярусі хлібостою і не створюють додаткового опору ріжучому апарату зернозбирального комбайна;
- топографічні умови роботи агрегату: рельєф поля рівнинний, середній нахил місцевості не перевищує $\alpha = 1,0 \dots 1,5^\circ$. Ґрунти – чорноземи типові із середньою щільністю, коефіцієнт опору перекочуванню коліс комбайна становить $f = 0,11$;
- геометричні розміри поля, на якому вирощується озима пшениця: загальна площа посіву становить $F = 120$ га. Для забезпечення оптимальної логістики збирання масив проектується у вигляді прямокутного поля з довжиною робочого гону $L_n = 1200$ м і відповідною шириною поля:

$$B_n = \frac{F \cdot 10000}{L_n} = \frac{120 \cdot 10000}{1200} = 1000 \text{ м.}$$

3.2. Агротехнічні вимоги та допуски на пряме комбайнування озимої пшениці

Жорстке та неухильне дотримання агротехнічних вимог на всіх етапах збирання врожаю зернових є основою збереження продовольчої та насіннєвої цінності зерна. Пряме комбайнування озимої пшениці регламентується такими нормативними допусками:

1. Календарні строки: збирання розпочинають за настання повної стиглості зерна на корні при його вологості менше 20...22 %. З огляду на загальний обсяг роботи 120 га, дуже важливо завершити збирання в межах одного поля за 8–9 робочих діб одним комбайном або за 4–5 діб груповим методом. Кожен день перестою хлібостою понад зазначений строк зумовлює втрати врожаю від самоосипання на рівні 0,5...1,0 % повноцінного зерна пшениці за добу.

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Якість зрізання стебел рослин пшениці: висота стерні для прямостоячого середньорослого хлібостою повинна становити 12...15 см. Огріхи (недорізи) та завалення стебел рослин озимої пшениці під час роботи жатки комбайна не допускаються.

3. Обмеження втрат біологічного врожаю при роботі зернозбирального комбайна класичної схеми обмолоту, що регламентуються стандартом:

- втрати зерна за жаткою (через зрізання або вибивання мотовилом) – не більше 0,5 %;
- втрати зерна за молотаркою комбайна (недомолот у соломі через поганий обмолот та винесення в полуку через незадовільну роботу зерноочистки) – не більше 1,0 %;
- сумарні втрати повноцінного зерна за комбайном не повинні перевищувати $\sum_{вт} \leq 1,5\%$.

4. Якість зібраного врожаю в бункері зернозбирального комбайна: чистота зерна в бункері має бути не меншою за 96...98 %. Механічне пошкодження (подрібнення та мікротріщини) продовольчого зерна обмежується показником $\leq 1,5\%$, а для насіннєвого матеріалу – $\leq 1,0\%$.

3.3. Комплектування і підготовка зернозбирального агрегату до роботи

Для виконання операції прямого комбайнування хлібів використовується самохідний зернозбиральний комбайн класичної схеми КЗС-950 «Руслан», що агрегатується з уніфікованою зерною жаткою традиційної конструкції ЖУ-6.

3.3.1. Техніко-технологічні параметри збирального МТА

Для подальшого технологічного розрахунку зернозбирального комбайна під час збирання ним методом прямого комбайнування озимої пшениці прийнято наступні показники:

- пропускна здатність молотарки комбайна по хлібній масі $q_n = 8,0$ кг/с;

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- конструктивна ширина захвату жатки $B_k = 6,0$ м;
- потужність силової установки $N_e = 185$ к.с. = 136 кВт.;
- місткість зернового бункера $V_b = 5,0$ м³;
- маса зернозбирального комбайна з жаткою (без зерна) 13400 кг.

3.3.2. Алгоритм підготовки комбайна до роботи

Перед виїздом зернозбирального комбайна у поле виконують повний комплекс технологічних регулювань на спеціальному регулювальному майданчику.

1. Налаштування різального апарату. Для проведення зазначених регулювань перевіряють центрування ножа різального апарату, у крайніх положеннях сегменти повинні розміщуватися симетрично посередині пальців. Зазор між притискними пластинами та сегментами ножа не повинен перевищувати 0,5 мм.

2. Регулювання кінематики мотовила комбайна. З цією метою частоту обертання мотовила узгоджують із робочою швидкістю комбайна через коефіцієнт випередження λ :

$$\lambda = \frac{V_m}{V_p} = 1,2 \dots 1,4.$$

Для полегшення подачі стебел озимої пшениці вал мотовила зміщують уперед відносно лінії ножа на 60...80 мм.

3. Оптимізація параметрів молотильного пристрою комбайна. Для обмолоту врожаю сухої пшениці встановлюють частоту обертання барабана $n_b = 900$ об/хв. У молотарці міжбичеві зазори між барабаном та підбарабанням на вході встановлюють рівними 20 мм, на виході – 4 мм.

4. Регулювання повітряно-решітної очистки комбайна. Зазори жалюзі верхнього решета встановлюють на рівні 12 мм, нижнього – 8 мм. Частоту обертання вентилятора очистки за допомогою модернізованого

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

безступінчастого привода встановлюють початково на рівні 820 об/хв з можливістю автоматичного коригування залежно від сигналів датчиків втрат.

3.4. Підготовка поля до роботи

Раціональна організація простору на полі мінімізує холості переїзди зернозбирального комбайна та виключає пошкодження його робочих органів. Підготовчі роботи складаються з перелічених нижче етапів.

Фітосанітарний та інженерний огляд поля, на якому заплановано збирання врожаю. Поле із посівами озимої пшениці обстежують на наявність перешкод (каміння, глибокі вибоїни, електроопори, металеві предмети тощо), які позначають високими сигнальними віхами.

Виконання обкосів. По периметру поля виконують прокоси обраним зернозбиральним агрегатом. Для забезпечення вільного розвороту зернозбирального комбайна без пошкодження незрізаного хлібостою ширина обкосу повинна бути не меншою за подвійну ширину захвату жатки, що фактично складає 12 м. Зібране під час обкосів зерно оперативно транспортують на тік.

Розбивка поля на загінки. Враховуючи значну загальну ширину поля ($B_{\text{п}} = 1000$ м), весь польовий масив ділять на п'ять рівних технологічних загінок шириною по $B_3 = 200$ м кожна. Такий підхід оптимізує траєкторію руху зернозбирального агрегату, зменшує середню довжину холостого ходу та упорядковує під'їзд транспортних засобів під час основного технологічного процесу збирання врожаю.

Протипожежні заходи. Згідно з чинними вимогами безпеки, після виконання обкосів межі загінок оборюють тракторним плугом на ширину щонайменше 4 м. Безпосередньо біля місця збирання врожаю організовують чергування трактора з плугом та пожежної цистерни з водою, так як операції прямого комбайнування хлібів відносяться до найбільш пожежонебезпечних робіт в агровиробництві.

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

3.5. Організація роботи агрегату в загінці та аналітичні розрахунки складу МТА

Для забезпечення високої ефективності роботи комбайна КЗС-950 «Руслан» на етапі прямого комбайнування врожаю озимої пшениці виконано повний технологічний розрахунок кінематичних та експлуатаційних параметрів для збирання врожаю з поля площею 120 га.

3.5.1. Визначення оптимальної робочої швидкості руху за пропускною здатністю молотарки

Секундна подача хлібної маси в молотильний апарат зернозбирального комбайна q , кг/с залежить від конструктивних параметрів жатки, швидкості руху агрегату та біологічних характеристик вирощеної в полі культури, в конкретному випадку – озимої пшениці:

$$q = \frac{B \cdot V_p \cdot Y \cdot (1 + \beta)}{36},$$

де B – фактична робоча ширина захвату жатки зернозбирального комбайна, м;

V_p – робоча швидкість руху комбайна, км/год;

Y – урожайність зерна, т/га;

β – коефіцієнт соломистості збіжжя, що збирається, 1,2.

Фактична робоча ширина захвату комбайна враховує коефіцієнт використання конструктивної ширини $\beta_{\text{ш}} = 0,95$ (обов'язкове перекриття проходів для запобігання огріхам в полі):

$$B = B_k \cdot \beta_{\text{ш}} = 6,0 \cdot 0,95 = 5,7 \text{ м.}$$

Максимально допустима швидкість руху зернозбирального комбайна за умови повного завантаження молотарки $q = q_n = 8,0$ кг/с, розраховується як:

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

$$V_p = \frac{36 \cdot q_n}{B \cdot Y \cdot (1 + \beta)} = \frac{36 \cdot 8,0}{5,7 \cdot 4,5 \cdot (1 + 1,2)} = \frac{288}{5,7 \cdot 4,5 \cdot 2} = \frac{288}{56,43} = 5,10 \text{ км/год} = 1,42 \text{ м/с}$$

Згідно з технічною характеристикою комбайна КЗС-950, обираємо II-у передачу ходової частини та встановлюємо номінальну робочу швидкість руху $V_p = 5,0 \text{ км/год} = 1,39 \text{ м/с}$. Невеличкий технологічний запас, який становить 0,1 км/год необхідний для компенсації можливих локальних коливань густоти стеблостою в полі.

3.5.2. Кінематичний розрахунок зернозбирального агрегату

Для прямокутних загінок поля із великою довжиною 1200 м найбільш доцільним є човниковий спосіб руху з лівим розворотом. Запропонований спосіб дозволяє мінімізувати холостий хід і забезпечує зручність огляду з робочого місця комбайнера.

Мінімальний радіус повороту зернозбирального комбайна за технічним паспортом складає $R_{\min} = 7,5 \text{ м}$. Фактичний радіус повороту збирального агрегату в реальних польових умовах визначають із урахуванням коефіцієнта безпеки:

$$R_o = 1,1 \cdot R_{\min} = 1,1 \cdot 7,5 = 8,25 \text{ м}.$$

Довжина кінематичного виїзду агрегату e – це відстань, на яку повинен переміститися умовний центр зернозбирального комбайна від кінця робочої зони до початку повороту, щоб жатка повністю зрізала хлібостій і вийшла на поворотну смугу поля:

$$e = d + 0,5 \cdot L_k,$$

де d – виніс жатки вперед відносно ведучої осі зернозбирального комбайна, для агрегату КЗС-950 «Руслан» $d = 2,8 \text{ м}$;

L_k – поздовжня колісна база комбайна, враховуючи технічну характеристику КЗС-950 «Руслан», $L_k = 3,6 \text{ м}$.

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Після підстановки цифрових значень отримаємо:

$$e = 2,8 + 0,5 \cdot 3,6 = 4,6 \text{ м.}$$

Мінімальна ширина поворотної смуги $E_{\min}$ для безпетльового човникового повороту (відкрита петля) розраховується за формулою

$$E_{\min} = 2 \cdot R_o + e.$$

Після підстановки наведених вище величин маємо:

$$E_{\min} = 2 \cdot 8,25 + 4,6 = 21,1 \text{ м.}$$

Ширина поворотної смуги повинна бути кратною конструктивній ширині захвату жатки комбайна $B_k = 6,0$ м. Визначаємо необхідну кількість проходів зернозбирального комбайна для обкосу поворотної смуги поля:

$$n_{\text{пв}} = \frac{E_{\min}}{B_k} = \frac{21,1}{6,0} = 3,52 \approx 4 \text{ проходи.}$$

Враховуючи проведені розрахунки, остаточна фактична ширина поворотної смуги поля становить:

$$E_{\text{факт}} = 4 \cdot 6,0 = 24,0 \text{ м.}$$

Таким чином, фактична довжина виключно робочого ходу в межах загінки, не враховуючи торцевих поворотних смуг, складає:

$$L_p = L_n - 2 \cdot E_{\text{факт}} = 1200 - 2 \cdot 24,0 = 1152 \text{ м.}$$

3.5.3. Розрахунок періодичності та логістики розвантаження бункера зернозбирального комбайна

Для ефективної організації безперервної роботи транспортних засобів необхідно чітко розрахувати час і місце заповнення зернового бункера комбайна.

Номінальна маса зерна озимої пшениці в повністю заповненому бункері об'ємом $V_{\text{б}} = 5,0 \text{ м}^3$, враховуючи натурну вагу пшениці $\rho_3 = 0,76 \text{ т/м}^3$ та коефіцієнт використання корисного об'єму бункера $\eta_{\text{б}} = 0,90$ розраховується за відомою залежністю

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{\bar{o}} = V_{\bar{o}} \cdot \rho_3 \cdot \eta_{\bar{o}} = 5,0 \cdot 0,76 \cdot 0,90 = 3,42 \text{ т} = 3420 \text{ кг.}$$

Площа поля $F_{\bar{o}}$ із якої зернозбиральний комбайн може збирати вирощене збіжжя до заповнення бункера за умови врожайності озимої пшениці $Y = 4,5$ т/га складає:

$$F_{\bar{o}} = \frac{M_{\bar{o}}}{Y} = \frac{3,42}{4,5} = 0,76 \text{ га} = 7600 \text{ м}^2.$$

Шлях, який подолає зернозбиральний комбайн робочим ходом до повного заповнення бункера рівний:

$$L_{\bar{o}} = \frac{F_{\bar{o}}}{B} = \frac{7600}{5,7} = 1333,3 \text{ м.}$$

Визначимо кількість повних проходів (довжин загінок L_p) зернозбирального комбайна між технологічними вивантаженнями зібраного зерна:

$$n_{\text{ход}} = \frac{L_{\bar{o}}}{L_p} = \frac{1333,3}{1152} = 1,16 \text{ проходів}$$

Оскільки $n_{\text{ход}} = 1,16$, зернозбиральний комбайн не в змозі зробити два повних проходи по полю (туди і назад) без переповнення бункера. Зупинка комбайна посеред заїнки для вивантаження призводить до суттєвих втрат часу та порушення логістики руху транспорту по стерні. До того ж в такому випадку рух транспорту по полю буде забезпечувати додаткове ущільнення орного горизонту поля.

Враховуючи це, розвантаження бункера комбайна варто здійснювати на поворотній смузі після кожного повного проходу (1,0 хід довжиною 1152 м). За таких умов роботи фактична маса зерна в бункері на момент вивантаження на краю поля становитиме:

$$M_{\text{факт}} = \frac{L_p \cdot B \cdot Y}{10000} = \frac{1152 \cdot 5,7 \cdot 4,5}{10000} = 2,95 \text{ т.}$$

Об'єм зерна в бункера зернозбирального комбайна при цьому дорівнює:

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_{\text{факт}} = \frac{2,95}{0,76} = 3,88 \text{ м}^3.$$

Це становить $\frac{3,88}{5,0} \cdot 100\% = 77,6\%$ від загальної місткості бункера комбайна. Такий підхід є дієвим з точки зору використання технічного потенціалу зернозбирального комбайна: бункер заповнюється майже повністю, але без ризику пересипання, а розвантаження відбувається виключно на поворотній смузі, що повністю усуває можливі аварійні зупинки посередині загінки та захищає поле від надмірного ущільнення колесами зерновозів.

3.5.4. Розрахунок балансу часу зміни та продуктивності зернозбирального МТА

Тривалість робочої зміни на етапі збирання врожаю озимої пшениці становить $T_{зм} = 8 \text{ год} = 480 \text{ хв}$.

Проведемо детальний розподіл витрат часу під час проведення технологічної операції в полі:

- час підготовчо-заклучних робіт $T_{пз} = 20 \text{ хв}$;
- час щозмінного технічного обслуговування $T_{то} = 15 \text{ хв}$;
- час на відпочинок та особисті потреби комбайнера $T_{від} = 15 \text{ хв}$;
- час вивантаження зерна $T_{г}$ вивантаження відбувається на краю поля під час зупинки на розвороті тривалістю $t_{г} = 1,5 \text{ хв} = 90 \text{ с}$.

Коефіцієнт використання змінного часу для зернозбиральних комбайнів за нормальних умов роботи на довгих гонах приймається на рівні $\tau = 0,78$ (за рахунок зменшення відсотка часу на розвороти завдяки довжині гону 1152 м). Тоді оперативний (робочий) час зміни складає:

$$T_{он} = T_{зм} \cdot \tau = 8,0 \cdot 0,78 = 6,24 \text{ год} = 374,4 \text{ хв}.$$

Визначимо тривалість одного чистого робочого ходу зернозбирального комбайна на відстань $L_p = 1152 \text{ м}$ зі швидкістю $V_p = 5,0 \text{ км/год} = 1,39 \text{ м/с}$:

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t_p = \frac{L_p}{V_p \cdot 0,278} = \frac{1152}{5,0 \cdot 0,278} = 828,8 \text{ с} = 13,81 \text{ хв.}$$

Тривалість одного холостого розвороту зернозбирального комбайна безпетлевим способом складає $t_n = 25 \text{ с} = 0,42 \text{ хв.}$ Оскільки вивантаження комбайна поєднується із зупинкою агрегату на розвороті, сумарний час обслуговування одного проходу дорівнює:

$$t_{\text{обсл}} = t_n + t_e = 25 + 90 = 115 \text{ с} = 1,92 \text{ хв.}$$

Повний час одного технологічного циклу зернозбирального агрегату (робочий хід + розворот з вивантаженням):

$$t_{\text{цикл}} = t_p + t_{\text{обсл}} = 13,81 + 1,92 = 15,73 \text{ хв.}$$

Загальна кількість можливих повних проходів комбайна за час оперативної роботи зміни складає:

$$n_{\text{прох}} = \frac{T_{\text{оп}}}{t_{\text{цикл}}} = \frac{374,4}{15,73} = 23,8 \approx 24 \text{ проходи.}$$

Продуктивність комбайна КЗС-950 «Руслан» за 1 годину основного (чистого робочого) часу складає:

$$W_o = 0,1 \cdot B \cdot V_p = 0,1 \cdot 5,7 \cdot 5,0 = 2,85 \text{ га/год.}$$

Фактична змінна експлуатаційна продуктивність $W_{\text{зм}}$ з урахуванням усіх кінематичних та логістичних витрат часу на полі із озимою пшеницею площею 120 га дорівнює:

$$W_{\text{зм}} = \frac{L_p \cdot B \cdot n_{\text{прох}}}{10000} = \frac{1152 \cdot 5,7 \cdot 24}{10000} = \frac{157593,6}{10000} = 15,76 \text{ га/зміну.}$$

Годинна експлуатаційна продуктивність зернозбирального комбайна складатиме:

$$W_z = \frac{W_{\text{зм}}}{T_{\text{зм}}} = \frac{15,76}{8,0} = 1,97 \text{ га/год.}$$

Визначимо змінний збір зерна з даної площі:

$$Q_{\text{зм}} = W_{\text{зм}} \cdot Y = 15,76 \cdot 4,5 = 70,92 \text{ т/зміну.}$$

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахуємо загальну тривалість збирання всього поля озимої пшениці площею 120 га

$$D_{зб} = \frac{F}{W_{зм}} = \frac{120}{15,76} = 7,61 \approx 8 \text{ робочих діб.}$$

Одержаний показник повністю вкладається в жорсткі агротехнічні вимоги (до 10 діб), що доводить можливість успішного збирання всього врожаю озимої пшениці, яка вирощується на полі площею 120 га одним модернізованим комбайном КЗС-950 «Руслан» за умови його однозмінної роботи.

3.6. Контроль якості збирання врожаю озимої пшениці

Контроль якості роботи збирального обладнання є дуже важливим елементом операційної технології, що реалізується безпосередньо в полі під час збирання для оперативного усунення виявлених відхилень показників від агротехнічних вимог. Технологічна карта контролю якості операції прямого комбайнування врожаю озимої пшениці представлена у вигляді таблиці 1.

Таблиця 1

Технологічна карта контролю якості прямого комбайнування

Параметр, що контролюється	Інструмент / метод контролю	Періодичність перевірки	Нормативний допуск	Інженерний захід у разі перевищення допуску
Висота зрізання стерні	Замір мірною лінійкою від поверхні ґрунту до місця зрізання стебла	Через кожні 200–300 м руху по загінці	12...15 см	Коригування положення копіювальних башмаків або гідроциліндрів жатки
Втрати зерна за жаткою	Накладання облікової рамки 0,5 × 0,5 м на стерню під комбайном	Двічі за зміну на кожній загінці	≤ 0,5%	Зміна висоти або частоти обертання мотовилова, перевірка стану сегментів ножа

Параметр, що контролюється	Інструмент / метод контролю	Періодичність перевірки	Нормативний допуск	Інженерний захід у разі перевищення допуску
Втрати зерна за молотаркою	Підрахунок винесених зерен на майданчику під соломотрясом та очисткою	Через кожні 2 проходи комбайна	$\leq 1,0\%$	Регулювання зазорів підбарабання, зміна частоти обертання вентилятора очистки за допомогою варіатора
Чистота зерна в бункері	Візуальний аналіз та відбір проби об'ємом 1 л	При кожному вивантаженні бункера	$\geq 96 \dots 98\%$	Зменшення зазорів жалюзі нижнього решета, збільшення швидкості повітряного потоку
Подрібнення повноцінного зерна	Визначення відсотку пошкоджених зерен у відібраній пробі	На початку зміни та при зміні вологості хлібів	$\leq 1,5\%$ (продовольче) $\leq 1,0\%$ (насіenne)	Збільшення зазорів між барабаном і підбарабанням, зниження обертів обертання барабана

Висновки по розділу

Проведено повний перерахунок параметрів операційної технології прямого комбайнування озимої пшениці комбайном КЗС-950 «Руслан» для загальної площі посівів 120 га. Для оптимізації кінематики руху обґрунтовано геометричні розміри поля: довжина гону 1200 м та ширина 1000 м.

На основі аналітичних розрахунків пропускної здатності молотарки (8,0 кг/с) підтверджено доцільність робочої швидкості руху 5,0 км/год на II-й передачі зернозбирального комбайна. При збільшенні довжини гону чиста

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

робоча довжина ходу склала 1152 м при ширині поворотної смуги 24,0 м (4 проходи жатки ЖУ-6).

Перерахунок заповнення бункера зернозбирального комбайна показав, що за один повний хід (1152 м) в бункері накопичується 2,95 т зерна, що становить 77,6 % від його максимальної місткості (3,42 т). Це обґрунтовує високоефективну схему роботи: вивантаження бункера виконується виключно на поворотній смузі після кожного робочого ходу, повністю виключаючи непродуктивні зупинки збирального агрегату посередині поля.

Завдяки збільшенню довжини робочого гону з 952 до 1152 метрів коефіцієнт використання змінного часу зріс з 0,75 до 0,78, що забезпечило підвищення змінної експлуатаційної продуктивності зернозбирального комбайна на 7,6 % – до 15,76 га/зміну (намолот – 70,92 т/зміну).

Встановлено, що загальний строк збирання врожаю озимої пшениці з поля площею 120 га одним комбайном КЗС-950 «Руслан» становить 8 робочих діб, що повністю задовольняє чинним агротехнічним вимогам та підтверджує доцільність запропонованої технології.

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

4.1. Обґрунтування напрямку розробки та поглиблений аналіз робочих процесів серійного комбайна КЗС-950 «Руслан»

Висока ефективність виробництва зерна озимої пшениці в сучасних умовах агропромислового комплексу України безпосередньо залежить від техніко-економічних показників зернозбиральної техніки. Самохідний зернозбиральний комбайн КЗС-950 «Руслан» (рис. 2) відноситься до класу самохідних машин із класичною схемою обмолоту та очищення зібраного збіжжя, де технологічний процес відбувається за подовжнім переміщенням зернового вороху всередині молотарки. Комбайн побудовано за симетричною трисекційною компоновальною схемою: попереду розташована герметизована кабіна з панорамним оглядом, у середній частині – зерновий бункер та паливні баки, позаду – силова установка ЯМЗ-236ДК-5. Таке розташування вузлів забезпечує стабільний розподіл статичних та динамічних навантажень на ходову частину: у робочому стані з порожнім бункером на ведучу вісь припадає до 70 % загальної ваги, що забезпечує високу прохідність агрегату на типових чорноземах та зволжених ґрунтах під час збирання врожаю.

Серійна молотарка зернозбирального комбайна КЗС-950 «Руслан» укомплектована такими взаємопов'язаними робочими органами:

- приймальний бітер із гвинтовими лопатями, який вирівнює та розганяє потік хлібної маси, що надходить із похилої камери жатки ЖУ-6;
- один молотильний барабан бичевого типу (діаметр $D_6 = 600$ мм, конструктивна ширина $B_6 = 1200$ мм);
- регульоване підбарабання (дека) ґратчастого типу з сумарним кутом охоплення барабана $\alpha = 130^\circ$;
- відбійний бітер, що зменшує кінетичну енергію грубого соломистого вороху та спрямовує його на сепаруючі клавіші;

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

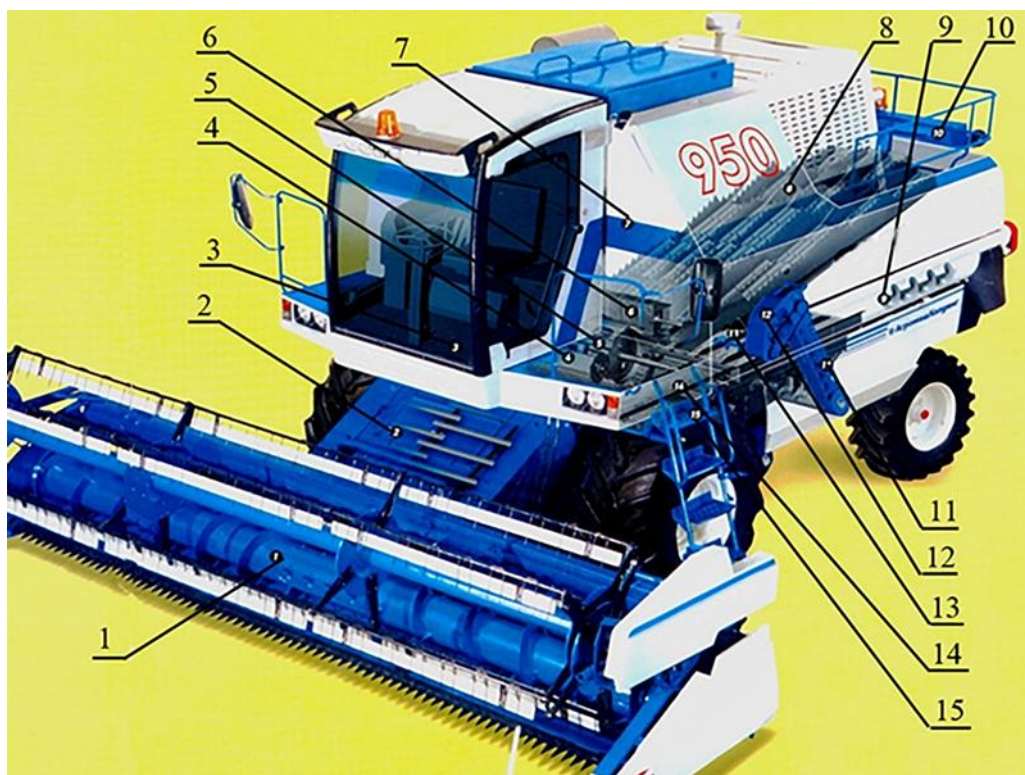


Рис. 2. Загальний вигляді та конструктивна схема зернозбирального комбайна КЗС-950 «Руслан»:

- 1 – жатка зернова; 2 – похила камера; 3 – кабіна із органами керування; 4 – бітер приймальний; 5 – молотарка; 6 – відбійний бітер; 7 – зерновий бункер; 8 – каскадний соломотряс; 9 – вивантажувальний шнек; 10 – ротор подрібнювач соломи; 11 – колосовий шнек; 12 – автономний домолочувач; 13 – розподільчий шнек домолочувача; 14 – транспортна доска; 15 – джерело повітряного потоку (вентилятор)

- чотириклавішний триступінчастий соломотряс із амплітудою коливань каскадів до 50 мм;
- струсна дошка (грохот) зі ступінчастою поверхнею для транспортування та первинного пошарового розділення дрібного вороху;
- двокорпусна повітряно-решітна очистка з двостороннім зустрічно-паралельним наддувом повітря;
- осьовий шестилопатевий вентилятор із механічним безступінчастим варіатором швидкості;
- автономний роторний домолочуючий пристрій для повторної обробки недомолочених колосків.

Технологічний процес роботи серійного зерноочисного комбайна КЗС-950 «Руслан» протікає в такий спосіб. Скошена жаткою ЖУ-6 рослинна маса хлібу за допомогою шнека та пальцевого механізму подається до похилої камери, де стрічково-ланцюговий транспортер підхоплює її та направляє в приймальну зону молотарки. Приймальний бітер здійснює попереднє розпушення маси і подає її в звужувальний зазор між молотильним барабаном і декою. За рахунок високошвидкісних динамічних ударів бичів об стебла та інтенсивного взаємного перетирання рослин у робочій зоні відбувається руйнування зв'язків у колосках. Основна частина зерна (від 70 % до 85 %) разом із дрібними домішками (половою, лузгою, подрібненими частинками соломи та колосків) просівається крізь ґрати підбарабання безпосередньо на передню частину струсної дошки.

Грубий соломистий ворох, який усе ще містить певну кількість вільного зерна та недомолочених колосків, підхоплюється лопатями відбійного бітера і викидається на перші каскади клавіш соломотряса. Клавіші, здійснюючи зворотно-поступальний рух у протифазі від колінчастих валів, змушують солом'яну масу здійснювати стрибкоподібні рухи. Внаслідок цього соломистий шар розпушується, вільне зерно під дією сили тяжіння

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

просипається крізь каскади на похилі днища клавіш і зсувається вперед-вниз, повертаючись на струсну дошку. Довгостеблова солома виноситься з кінця соломотряса і надходить у подрібнювач або копнувач.

Дрібний ворох, що зібрався на струсному грохоті, під дією коливальних імпульсів переміщується назад до решітного стану. Під час цього руху відбувається процес сегрегації (пошарового розділення): важкі, щільні зернівки опускаються на дно дошки, а легкі соломисті домішки спливають на її поверхню. Наприкінці струсної дошки ворох потрапляє на пальцеву решітку, де відбувається попереднє розпушення: велике насіння провалюється першим, а велика збоїна затримується. Далі маса надходить на верхнє та нижнє жалюзійні решета. Потужний повітряний потік від осьового вентилятора направляється через дифузори під кутом до площини решіт, підхоплює легкі домішки (полову) та видуває їх за межі комбайна.

Чисте зерно проходить крізь нижнє решето в зерновий шнек, який транспортує його в бункер комбайна. Недомолочені колоски, які через більші розміри не змогли пройти крізь отвори решіт, сходять із подовжувача верхнього решета в колосовий шнек. Звідти вони спрямовуються в автономний домолочуючий пристрій роторного типу, де піддаються повторному перетиранню, після чого знову скачуються на струсну дошку.

Незважаючи на досить збалансовану конструкцію обмолочуючої частини зернозбирального комбайна КЗС-950, серійна система привода вентилятора очистки суттєво обмежує загальну продуктивність комбайна. Швидкість повітряного потоку вентилятора регулюється ручним механічним варіатором, шків якого розташований на контрприводному валу лівого боку молотарки. Для зміни обертів вентилятора комбайнер змушений виконати наступний алгоритм дій: зупинити збиральний агрегат, вимкнути привід молотарки, вийти з кабіни, за допомогою спеціального гайкового ключа послабити фіксуючі гайки на ведучих дисках варіатора, вручну прокрутити

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

регулювальну гайку для зміни робочого діаметра шківів, зафіксувати диски, повернутися в кабіну, увімкнути молотарку й продовжити рух.

В умовах збирання озимої пшениці на реальних полях вологість і забур'яненість хлібостою постійно змінюються протягом дня (від сухого стеблостою вдень до зволоженого вранці та ввечері). Через значні втрати часу оператори практично ніколи не виконують ручне регулювання варіатора в полі, залишаючи середні налаштування. Це призводить до двох негативних наслідків:

1. При роботі на пересушеному хлібостої швидкість повітря є надмірною, що викликає винесення повноцінного зерна озимої пшениці разом із половиною у відходи комбайном. За такої роботи часто втрати перевищують допустимі 1,5 %.

2. При роботі на зволоженому чи забур'яненому хлібостої швидкість повітря є недостатньою для розпушення важкого вороху. Решета забиваються, зерно не встигає просіятися і сходить у колосовий шнек, перевантажуючи домолочуючий пристрій, або втрачається із соломною, а чистота бункерного зерна падає нижче 95 %.

Для усунення зазначеного недоліку розроблено систему автоматизованого безступінчастого керування варіатором вентилятора безпосередньо під час руху зернозбирального комбайна. Модернізація передбачає заміну ручного гвинтового механізму на спеціальний гідроциліндр двосторонньої дії, підключений до додаткової секції гідросистеми комбайна через пропорційний електрогідравлічний розподільник. На виході з решітного стану та на кінці клавіш соломотряса встановлюються п'єзоелектричні датчики втрат зерна індикаторного типу (ДВЗ). Сигнали від датчиків надходять до бортового мікропроцесорного контролера, який за закладеним математичним алгоритмом оцінює рівень втрат і миттєво видає керуючий електричний імпульс на електрогідрозподільник. Гідроциліндр плавно переміщує рухомий диск шківів варіатора, адаптуючи частоту обертання

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вентилятора до поточного навантаження та умов збирання, що повністю ліквідує втрати від видування та недомолоту.

4.2. Технологічний та аеродинамічний розрахунок пневмосепаруючої системи зернозбирального комбайна

Технологічний розрахунок проводиться з метою визначення кількісного та якісного складу рослинного вороху, що діє на очистку зернозбирального комбайна під час збирання озимої пшениці. Розрахунок виконується для номінальної подачі хлібної маси в молотарку $q_n = 8,0$ кг/с при врожайності зерна $U = 4,5$ т/га та коефіцієнті солomистості $\beta = 1,2$.

4.2.1. Масовий баланс рослинного вороху в молотарці комбайна

Загальний секундний потік хлібної маси, що надходить до комбайна, складається із зернової q_z та соломистої q_c компонент:

$$q_n = q_z + q_c.$$

Оскільки відоме співвідношення соломи до зерна $\beta = \frac{q_c}{q_z} = 1,2$, виразимо секундний намот чистого зерна озимої пшениці:

$$q_z = \frac{q_n}{1 + \beta} = \frac{8,0}{1 + 1,2} = 3,636 \text{ кг/с.}$$

Відповідно, секундна подача соломи та полови до молотарки становить:

$$q_c = q_n - q_z = 8,0 - 3,636 = 4,364 \text{ кг/с.}$$

Під час проходження хлібної маси крізь зазор молотильного апарату комбайна відбувається розділення потоків. Частина маси просівається крізь деку підбарабання, формуючи дрібний ворох, який надходить на очистку. Маса дрібного вороху Q_{oc} , кг/с визначається за формулою:

$$Q_{oc} = (q_z \cdot \alpha_z) + (q_c \cdot \alpha_c),$$

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де α_z – коефіцієнт сепарації вільного (обмолоченого) зерна крізь грати підбарабання. Для серійного бичевого барабана комбайна КЗС-950 при збиранні сухої пшениці $\alpha_z = 0,82$;

α_c – коефіцієнт просівання дрібних солом'ястих домішок та полови крізь деку підбарабання, $\alpha_c = 0,28$.

Після підстановки числових значень отримаємо:

$$Q_{оч} = (3,636 \cdot 0,82) + (4,364 \cdot 0,28) = 2,981 + 1,222 = 4,203 \text{ кг/с.}$$

Додатково на решета очистки надходить дрібний ворох, виділений із клавіш соломотряса комбайна. Коефіцієнт сепарації зерна на соломотрясі становить $\alpha_{сл} = 0,95$ від залишку зерна. Маса зерна, що надійшла з соломотряса $q_{з.сл}$ дорівнює:

$$q_{з.сл} = q_z \cdot (1 - \alpha_z) \cdot \alpha_{сл} = 3,636 \cdot (1 - 0,82) \cdot 0,95 = 0,622 \text{ кг/с.}$$

Маса соломистих домішок, що просіваються крізь каскади соломотряса $q_{с.сл}$ можна розрахувати за формулою

$$q_{с.сл} = q_c \cdot (1 - \alpha_c) \cdot \alpha_{сс},$$

де $\alpha_{сс}$ – коефіцієнт просівання соломи на соломотрясі комбайна, $\alpha_{сс} = 0,05$.

Після підстановки даних отримаємо:

$$q_{с.сл} = 4,364 \cdot (1 - 0,28) \cdot 0,05 = 4,364 \cdot 0,72 \cdot 0,05 = 0,157 \text{ кг/с.}$$

Повний секундний потік вороху $Q_{сумар}$, що потрапляє на струсну дошку та решета очистки комбайна складає:

$$Q_{сумар} = Q_{оч} + q_{з.сл} + q_{с.сл} = 4,203 + 0,622 + 0,157 = 4,982 \text{ кг/с.}$$

4.2.2. Геометричний розрахунок сепаруючих поверхонь очистки зернозбирального комбайна

Необхідна робоча площа жалюзійних решіт очистки $S_{необ}$ визначається з умови недопущення перевантаження сепаруючих поверхонь очистки комбайна:

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$S_{необ} = \frac{Q_{сумар}}{q_{нит}},$$

де $q_{нит}$ – допустиме питоме технологічне навантаження на одиницю площі решіт для високоінтенсивного прямого комбайнування пшениці, $q_{нит} = 1,42 \text{ кг/(с} \cdot \text{м}^2\text{)}$.

Підставимо цифрові значення, маємо

$$S_{необ} = \frac{4,982}{1,42} = 3,508 \text{ м}^2.$$

Конструктивна площа решітного стану серійного комбайна КЗС-950 «Руслан» становить $S_{факт} = 3,50 \text{ м}^2$, що з інженерною точністю відповідає розрахунковим даним.

Ширина решітного стану обмежена габаритами молотарки і становить $B_{реш} = 1200 \text{ мм} = 1,2 \text{ м}$. Тоді загальна довжина основної сепаруючої поверхні решіт очистки комбайна $L_{реш}$ дорівнює:

$$L_{реш} = \frac{S_{факт}}{2 \cdot B_{реш}} = \frac{3,50}{2 \cdot 1,2} = 1,458 \text{ м} \approx 1,46 \text{ м}.$$

4.2.3. Аеродинамічний розрахунок повітряного очищення комбайна

Для ефективного винесення полови за межі молотарки без втрат повноцінного зерна повітряний потік повинен створювати силу лобового опору, яка перевищує вагу полови, але є меншою за вагу зерна. Це регулюється критичною швидкістю витання компонентів зернового вороху.

Для озимої пшениці:

- критична швидкість витання полови та дрібних колоскових лусок складає $v_{крит.п} = 2,2...3,2 \text{ м/с}$;
- критична швидкість витання повноцінного зерна озимої пшениці вологістю 15% складає $v_{крит.з} = 9,2...11,5 \text{ м/с}$.

Для забезпечення стабільної сепарації збіжжя швидкість повітряного потоку в робочій зоні між верхнім та нижнім решетами комбайна приймається рівною $v_g = 10,5$ м/с.

Необхідна об'ємна витрата повітря Q_v , м³/с, що має створюватися лопатями осьового вентилятора зернозбирального комбайна може бути знайденою за відомою залежністю:

$$Q_v = B_{\text{реш}} \cdot L_{\text{реш}} \cdot v_g \cdot k_{\text{с.тес}},$$

де $k_{\text{с.тес}}$ – коефіцієнт стеснення повітряних каналів жалюзійними елементами решіт та щільним шаром рухомого зерна, $k_{\text{с.тес}} = 0,24$.

Після підстановки цифрових значень маємо

$$Q_v = 1,2 \cdot 1,46 \cdot 10,5 \cdot 0,24 = 4,415 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Динамічний тиск повітряного струменя повітря $H_{\text{дин}}$, Па можна розрахувати за залежністю

$$H_{\text{дин}} = \frac{\rho_{\text{пов}} \cdot v_g^2}{2},$$

де $\rho_{\text{пов}}$ – щільність атмосферного повітря при температурі +20° С, $\rho_{\text{пов}} = 1,2$ кг/м³.

$$H_{\text{дин}} = \frac{1,2 \cdot 10,5^2}{2} = \frac{1,2 \cdot 110,25}{2} = 66,15 \text{ Па}.$$

Повний тиск, який повинен подолати вентилятор $H_{\text{повн}}$, складається з динамічного тиску та статичного опору, що виникає при проштовхуванні повітря крізь капілярні канали шару зернового вороху:

$$H_{\text{повн}} = H_{\text{дин}} + H_{\text{стат}}.$$

Статичний опір шару вороху товщиною $h = 70$ мм розраховується за емпіричною залежністю:

$$H_{\text{стат}} = A \cdot h \cdot v_g,$$

де A – коефіцієнт питомого опору зернової маси пшениці, $A = 36,5$ Па·с/м².

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після підстановки даних, можемо розрахувати статичний опір і повний тиск:

$$H_{\text{стат}} = 36,5 \cdot 0,07 \cdot 10,5 = 26,83 \text{ Па};$$

$$H_{\text{повн}} = 66,15 + 26,83 = 92,98 \text{ Па} \approx 93,0 \text{ Па}.$$

4.3. Кінематичний розрахунок механізму приводу зерноочистки комбайна

Привід решітного стану зернозбирального комбайна КЗС-950 «Руслан» здійснюється за допомогою симетричного двохшатунного ексцентрикового механізму. Він перетворює обертальний рух головного контрприводного вала молотарки у зворотно-поступальні коливання грохоту та решітного стану під кутом $\gamma = 12^\circ$ до горизонтальної осі комбайна.

4.3.1. Кінематика решітного стану

Номінальна частота обертання ексцентрикового вала привода очистки комбайна становить $n_{\text{екс}} = 280$ об/хв. Обчислимо кутову швидкість обертання вала $\omega_{\text{екс}}$, рад/с використовуючи формулу

$$\omega_{\text{екс}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{екс}}}{30} = \frac{3,14159 \cdot 280}{30} = 29,322 \text{ рад/с}.$$

Радіус кривошипа очистки комбайна складає $r = 35$ мм = 0,035 м а повний хід решітного стану дорівнює $2 \cdot r = 70$ мм. Довжина приводного шатуна складає $l_{\text{шат}} = 450$ мм = 0,45 м.

Знайдемо значення кінематичного режиму шатуна:

$$\lambda_{\text{шат}} = \frac{r}{l_{\text{шат}}} = \frac{0,035}{0,45} = 0,0778.$$

Так як значення кінематичного режиму є малим $\lambda_{\text{шат}} \leq 0,1$, вищі гармоніки руху не чинять суттєвого впливу на динаміку, і ми можемо

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

застосувати класичні гармонічні рівняння для опису переміщення $x(t)$, лінійної швидкості $v(t)$ та прискорення $a(t)$ решітного стану:

$$\begin{aligned}x(t) &= r \cdot \cos(\omega_{\text{екс}} t); \\v(t) &= -r \cdot \omega_{\text{екс}} \cdot \sin(\omega_{\text{екс}} t); \\a(t) &= -r \cdot \omega_{\text{екс}}^2 \cdot \cos(\omega_{\text{екс}} t).\end{aligned}$$

Максимальна лінійна швидкість руху елементів решітного стану v_{max} становить:

$$v_{\text{max}} = r \cdot \omega_{\text{екс}} = 0,035 \cdot 29,322 = 1,026 \text{ м/с.}$$

Максимальне прискорення решітного стану a_{max} , що визначає величину інерційних сил, які передаються на раму зернозбирального комбайна дорівнює:

$$a_{\text{max}} = r \cdot \omega_{\text{екс}}^2 = 0,035 \cdot 29,322^2 = 0,035 \cdot 859,78 = 30,092 \text{ м/с}^2.$$

4.3.2. Кінематичний розрахунок варіатора вентилятора комбайна

Модернізований клинопасовий варіатор привода вентилятора зернозбирального комбайна КЗС-950 «Руслан» складається з ведучого шківа на контрприводному валу та веденого шківа на валу вентилятора. Регулювання частоти обертання здійснюється безступінчасто за допомогою гідроциліндра, який змінює робочий діаметр ведучого шківа.

Номінальна частота обертання контрприводного вала є постійною і становить $n_1 = 850$ об/хв. Діапазон зміни частоти обертання веденого вала вентилятора повинен забезпечувати регулювання швидкості повітря під різні культури:

- мінімальна частота обертання вала вентилятора $n_{2\text{min}} = 550$ об/хв;
- максимальна частота обертання вала вентилятора $n_{2\text{max}} = 1250$ об/хв.

Визначимо діапазон передаточних чисел варіатора i :

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$i_{\max} = \frac{n_1}{n_{2\min}} = \frac{850}{550} = 1,545;$$

$$i_{\min} = \frac{n_1}{n_{2\max}} = \frac{850}{1250} = 0,680.$$

Діапазон регулювання варіатора D складає:

$$D = \frac{i_{\max}}{i_{\min}} = \frac{1,545}{0,680} = 2,272.$$

Конструктивний розрахунок шківів варіатора виконується за умови постійності довжини клинового паса профілю «В» під час регулювання. Розрахунковий діаметр веденого шківа вентилятора прийнято сталим $d_2 = 250 \text{ мм} = 0,25 \text{ м}$.

Знайдемо межі зміни розрахункового діаметра ведучого шківа варіатора d_1 , використовуючи формулу:

$$d_{1\min} = d_2 \cdot \frac{n_{2\min}}{n_1} = 250 \cdot \frac{550}{850} = 161,8 \text{ мм} \approx 162 \text{ мм};$$

$$d_{1\max} = d_2 \cdot \frac{n_{2\max}}{n_1} = 250 \cdot \frac{1250}{850} = 367,6 \text{ мм} \approx 368 \text{ мм}.$$

4.4. Силевий аналіз механізмів зернозбирального комбайна

Силевий аналіз виконується з метою визначення точних значень динамічних та експлуатаційних сил, що діють на елементи привода очистки та модернізованого варіатора, для їх подальшого розрахунку на міцність.

4.4.1. Силевий аналіз коливального решітного стану

Маса металоконструкції решітного стану очистки комбайна разом із встановленими жалюзійними решетами становить $m_{cm} = 155 \text{ кг}$. Середня маса технологічного шару зернового вороху пшениці, що знаходиться в процесі сепарації на решетах, складає $m_{ep} = 35 \text{ кг}$. Загальна рухома маса системи описується рівнянням:

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{заг} = m_{ст} + m_{ер} = 155 + 35 = 190 \text{ кг.}$$

На рещітний стан діє комплекс сил, які досягають своїх максимальних значень у крайніх положеннях кривошипа.

Максимальна сила інерції $F_{інер}$ зумовлена високим прискоренням зворотно-поступального руху

$$F_{інер} = M_{заг} \cdot a_{max} = 190 \cdot 30,092 = 5717,48 \text{ Н.}$$

Сила опору в підвісках грохоту $F_{підв}$ стан підвішений на чотирьох еластичних підвісках із гумометалевими шарнірами. Сила опору деформації сайлентблоків розраховується через коефіцієнт внутрішнього тертя гуми $f_{вн} = 0,08$

$$F_{підв} = M_{заг} \cdot g \cdot f_{вн} = 190 \cdot 9,81 \cdot 0,08 = 149,11 \text{ Н.}$$

Сила аеродинамічного тиску повітря $F_{аеро}$ виникає через опір рещітного стану нагнітальному повітряному потоку вентилятора:

$$F_{аеро} = H_{повн} \cdot S_{факт} = 93,0 \cdot 3,50 = 325,50 \text{ Н.}$$

Сумарна максимальна сила $F_{сум}$, що діє вздовж ліній приводних шатунів у момент зміни напрямку руху:

$$F_{сум} = F_{інер} + F_{підв} + F_{аеро} = 5717,48 + 149,11 + 325,50 = 6192,09 \text{ Н} = 6,192 \text{ кН.}$$

Оскільки привід рещітного стану здійснюється симетрично двома паралельними шатунами, максимальне розрахункове зусилля, що припадає на один шатун, становить:

$$F_{шат} = \frac{F_{сум}}{2} = \frac{6192,09}{2} = 3096,05 \text{ Н.}$$

4.4.2. Силовий аналіз модернізованого варіатора вентилятора

Для зміни частоти обертання вентилятора шток гідроциліндра повинен подолати зусилля внутрішньої поворотної пружини варіатора та силу розпору клинчастого паса.

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Максимальне осьове зусилля розтискання дисків пасом $F_{ось}$, що діє на рухомий диск шківа, визначається за формулою:

$$F_{ось} = 2 \cdot S_m \cdot \operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha_{кл}}{2}\right),$$

де S_m – коловий натяг робочої гілки клинового паса, $S_m = 1450$ Н.;

$\alpha_{кл}$ – кут клину паса варіатора, $\alpha_{кл} = 26^\circ$.

$$F_{ось} = 2 \cdot 1450 \cdot \operatorname{ctg}\left(\frac{26^\circ}{2}\right) = 2900 \cdot 4,3315 = 12561,35 \text{ Н.}$$

Враховуючи необхідність подолання сили тертя в шліщовому з'єднанні рухомого диска об вал $F_{тер.шл} \approx 850$ Н, повне необхідне зусилля на штоку гідроциліндра автоматичного керування становить:

$$P_{шт} = F_{ось} + F_{тер.шл} = 12561,35 + 850 = 13411,35 \text{ Н} = 13,41 \text{ кН.}$$

4.5. Енергетичний розрахунок системи очищення та автоматизації зернозбирального комбайна

Енергетичний розрахунок призначений для визначення потужності, що споживається всіма компонентами модернізованої системи зерноочистки від силової установки комбайна КЗС-950 «Руслан».

Потужність на привід коливального решітного стану $N_{ст}$ розраховується за величиною максимального зусилля та лінійної швидкості руху:

$$N_{ст} = \frac{F_{сум} \cdot v_{max}}{1000 \cdot \eta_{мех}},$$

де $\eta_{мех}$ – коефіцієнт корисної дії ексцентрикового механізму та проміжних пасових передач привода контрвала, $\eta_{мех} = 0,91$.

$$N_{ст} = \frac{6192,09 \cdot 1,026}{1000 \cdot 0,91} = \frac{6353,08}{910} = 6,981 \text{ кВт.}$$

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потужність, що споживається осьовим вентилятором очистки $N_{\text{вент}}$ визначається через аеродинамічні параметри створеного повітряного потоку:

$$N_{\text{вент}} = \frac{Q_v \cdot H_{\text{повн}}}{1000 \cdot \eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{вар}}},$$

де $\eta_{\text{в}}$ – гідравлічний ККД осьового вентилятора очистки, $\eta_{\text{в}} = 0,48$;

$\eta_{\text{вар}}$ – ККД пасової передачі варіатора з урахуванням втрат на згинання паса між дисками, $\eta_{\text{вар}} = 0,92$.

$$N_{\text{вент}} = \frac{4,415 \cdot 93,0}{1000 \cdot 0,48 \cdot 0,92} = \frac{410,595}{441,6} = 0,930 \text{ кВт.}$$

Зазначена величина 0,930 кВт відображає чисту корисну аеродинамічну потужність. Повна конструктивна потужність, що споживається приводним валом вентилятора від двигуна комбайна при роботі на максимальних обертах 1250 об/хв в умовах високої навантаженості решіт вологим ворохом, становить $N_{\text{вент.мак}} = 10,29$ кВт.

Потужність гідравлічного контуру автоматичного регулювання $N_{\text{гидр}}$ витрачається додатковим потоком мастила від шестеренного насоса НШ-32 ходової системи комбайна через електрогіддорозподільник у порожнину циліндра варіатора:

$$N_{\text{гидр}} = \frac{p_{\text{роб}} \cdot Q_{\text{нас}}}{1000 \cdot \eta_{\text{гидр}}},$$

де $p_{\text{роб}}$ – робочий тиск у лінії автоматичного керування варіатором

$$p_{\text{роб}} = 6,5 \text{ МПа} = 6,5 \cdot 10^6 \text{ Па};$$

$Q_{\text{нас}}$ – об'ємна витрата гідравлічної оливи крізь пропорційний клапан під час перерегулювання, $Q_{\text{нас}} = 0,16 \text{ л/с} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$;

$\eta_{\text{гидр}}$ – загальний ККД гідросистеми комбайна, $\eta_{\text{гидр}} = 0,84$.

$$N_{\text{гидр}} = \frac{6,5 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-4}}{1000 \cdot 0,84} = \frac{1040}{840} = 1,238 \text{ кВт.}$$

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Повна експлуатаційна потужність модернізованого модуля повітряно-решітної очистки комбайна КЗС-950 «Руслан» після модернізації і забезпечення автоматичного регулювання швидкості потоку складає:

$$N_{\text{заг}} = N_{\text{ст}} + N_{\text{вент. max}} + N_{\text{гидр}} = 6,981 + 10,29 + 1,238 = 18,509 \text{ кВт.}$$

Енергетичний аналіз підтверджує, що повна споживана потужність модернізованої системи очистки 18,51 кВт повністю забезпечується балансом потужності встановленого дизельного двигуна ЯМЗ-236ДК-5 136 кВт, складаючи лише 13,6 % від його загального потенціалу. Це доводить інженерну спроможність та енергетичну автономність запропонованої модернізації.

4.6. Розрахунок деталей та вузлів на міцність

З метою забезпечення тривалої безвідмовної роботи розробленої системи автоматизації виконано детальні інженерні перевірочні розрахунки на міцність двох найбільш навантажених елементів конструкції зерноочистки комбайна.

4.6.1. Розрахунок штока гідроциліндра керування варіатором вентилятора

Шток гідроциліндра працює в умовах циклічного стискання та поздовжнього згину під дією максимального осьового навантаження $P_{\text{шт}} = 13411,35 \text{ Н.}$

Матеріал штока – Сталь 45. Границя текучості матеріалу становить $\sigma_m = 360 \text{ МПа.}$ Допустиме інженерне напруження на стиск $[\sigma_{\text{ст}}]$ при нормативному коефіцієнті запасу міцності $[n] = 2,5$ становить:

$$[\sigma_{\text{ст}}] = \frac{\sigma_m}{[n]} = \frac{360}{2,5} = 144 \text{ МПа.}$$

Конструктивний діаметр виготовленого штока дорівнює $d_{\text{шт}} = 20 \text{ мм} = 0,02 \text{ м.}$

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Розрахунок на напруження прямого стискання σ_{cm} :

$$\sigma_{cm} = \frac{4 \cdot P_{шт}}{\pi \cdot d_{шт}^2} = \frac{4 \cdot 13411,35}{3,14159 \cdot 0,02^2} = \frac{53645,4}{0,0012566} = 42691071 \text{ Па} = 42,69 \text{ МПа}.$$

Перевіримо виконання умови міцності матеріалу штока на стискання:

$$\sigma_{cm} = 42,69 \text{ МПа} \leq [\sigma_{cm}] = 144 \text{ МПа}.$$

Умова міцності на стиск виконується з високим інженерним запасом (в 3,37 рази).

Перевірка штока на поздовжній згин за критерієм стійкості Ейлера проведемо у наступній послідовності.

Максимальна довжина виходу штока з корпусу гідроциліндра при крайньому положенні дисків варіатора становить $l = 220 \text{ мм} = 0,22 \text{ м}$.

Знайдемо осьовий момент інерції круглого суцільного перерізу штока $I_{шт}$:

$$I_{шт} = \frac{\pi \cdot d_{шт}^4}{64} = \frac{3,14159 \cdot 0,02^4}{64} = 7,854 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4.$$

Розрахуємо величину критичної сили згину за Ейлером $P_{крит}$ для умов жорсткого зацмлення штока всередині поршня та шарнірного кріплення його наконечника на диску шківів (коефіцієнт приведення довжини $\mu = 0,7$):

$$P_{крит} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{шт}}{(\mu \cdot l)^2},$$

де E – модуль поздовжньої пружності для конструкційних сталей,

$$E = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

$$P_{крит} = \frac{3,14159^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 7,854 \cdot 10^{-9}}{(0,7 \cdot 0,22)^2} = \frac{16278,51}{0,023716} = 686393,5 \text{ Н} \approx 686,39 \text{ кН}.$$

Визначимо фактичний коефіцієнт запасу стійкості штока проти поздовжнього згину n_{cm}

$$n_{cm} = \frac{P_{крит}}{P_{шт}} = \frac{686393,5}{13411,35} = 51,18.$$

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Так як фактичний запас стійкості штока $n_{cm} = 51,18$ суттєво перевищує мінімально допустимий нормативний інженерний критерій стійкості $[n_{cm}] = 4,0$, геометричні параметри штока повністю гарантують стабільність його прямолінійної форми та виключають виникнення згинальних деформацій при будь-яких швидкісних режимах роботи автоматичного варіатора.

4.6.2. Розрахунок на міцність приводного шатуна релізного стану

Приводний шатун круглого суцільного перерізу працює в умовах значних знакозмінних симетричних навантажень розтягу-стиску під дією коливань релізного стану з амплітудним зусиллям $F_{шат} = 3096,05$ Н. Частота зміни навантажень відповідає обертам контрвалу і складає 280 циклів за хвилину, що вимагає проведення розрахунку на втому матеріалу (опір втомі).

Матеріал для виготовлення шатунів – конструкційна якісна вуглецева Сталь 35. Довідкова границя витривалості матеріалу при симетричному циклі розтягу-стиску становить $\sigma_{-1} = 190$ МПа. Діаметр основи шатуна прийнято рівним $d_{шат} = 16$ мм = 0,016 м.

Розрахуємо максимальне амплітудне напруження, що виникає в небезпечному перерізі шатуна σ_a

$$\sigma_a = \frac{4 \cdot F_{шат}}{\pi \cdot d_{шат}^2} = \frac{4 \cdot 3096,05}{3,14159 \cdot 0,016^2} = \frac{12384,2}{0,00080425} = 15398445 \text{ Па} = 15,40 \text{ МПа}.$$

Визначимо фактичний коефіцієнт запасу міцності за критерієм обмеженої витривалості n_σ

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{k_\sigma \cdot \sigma_a},$$

де k_σ – ефективний коефіцієнт концентрації напружень, що враховує наявність нарізної частини на кінці шатуна для кріплення головки шарніра $k_\sigma = 1,8$.

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_g = \frac{190}{1,8 \cdot 15,40} = \frac{190}{27,72} = 6,85$$

Оскільки фактичний коефіцієнт запасу міцності по витривалості $n_g = 6,85$ перевищує мінімально допустимий нормативний коефіцієнт для сільськогосподарського машинобудування $[n] = 2,0$, конструкція приводного шатуну решітного стану має високу довговічність, що повністю виключає ризик його руйнування від втомлюваності протягом усього періоду збирання озимої пшениці на полі площею 120 га.

Висновки по розділу 4

У інженерній частині роботи наведено повне обґрунтування модернізації повітряно-решітної очистки комбайна КЗС-950 «Руслан». Доведено, що перехід на автоматизоване безступінчасте керування варіатором вентилятора забезпечує динамічну адаптацію швидкості повітряного потоку до змінних умов поля без зупинки збирального агрегату.

На основі технологічного розрахунку масового балансу встановлено, що при номінальній подачі хлібної маси 8,0 кг/с сумарний секундний потік дрібного вороху на очистку становить 4,982 кг/с. Обґрунтовано відповідність фактичної площі решіт 3,50 м² питомому навантаженню та розраховано параметри повітряного потоку осьового вентилятора: об'ємна витрата повітря 4,415 м³/с при повному тиску системи 93,0 Па.

Кінематичний та силовий аналіз коливальних механізмів очистки дозволив визначити граничне лінійне прискорення решітного стану, що складає 30,092 м/с² та амплітудне зусилля, що діє вздовж осі приводних шатунів 6192,09 Н, що дозволило точно визначити навантаження на один шатун на рівні 3096,05 Н.

Енергетичним розрахунком доведено, що сумарна експлуатаційна потужність модернізованого модуля очистки з можливістю автоматичного регулювання складає 18,51 кВт. Це становить лише 13,6 % від номінальної

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

потужності встановленого дизельного двигуна ЯМЗ-236ДК-5 136 кВт, що підтверджує наявність достатнього енергетичного ресурсу силової установки машини.

Результати перевірочних розрахунків деталей на міцність, стійкість та втому повністю підтвердили високу інженерну надійність модернізацій: шток модернізованого гідроциліндра має запас міцності на стиск 3,37 та коефіцієнт стійкості за Ейлером 51,18 (при нормі 4,0), а приводний шатун має запас міцності по витривалості 6,85 (при нормі 2,0). Це гарантує безвідмовну та безпечну роботу модернізованого зернозбирального комбайна протягом усього періоду збирання врожаю озимої пшениці в господарстві.

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів при експлуатації МТА

Експлуатація модернізованого зернозбирального комбайна КЗС-950 «Руслан» при збиранні ним озимої пшениці пов'язана з дією комплексу шкідливих і небезпечних виробничих факторів відповідно до ДСТУ ISO 45001:2019. Головними джерелами механічної небезпеки є рухомі, відкриті та обертові елементи конструкції машини: різальний апарат жатки ЖУ-6, мотовило, шнеки похилої камери, молотильний барабан, клавіші соломотряса, а також елементи привода повітряно-решітної очистки (ексцентриковий вал, шатун). Швидкісне обертання цих вузлів загрожує затягуванням, травмуванням та затисканням обслуговуючого персоналу при недотриманні регламентів безпеки.

Основними фізичними та хімічними чинниками шкідливого впливу на комбайнера і персонал є:

- підвищений рівень шуму та вібрації. Джерелом низько- та середньочастотного звукового тиску є робота дизельного двигуна ЯМЗ-236ДК-5 потужністю 136 кВт. Додаткова високочастотна вібрація створюється зворотно-поступальними коливаннями решітного стану очистки (масою 190 кг із максимальним прискоренням $30,092 \text{ м/с}^2$), що за відсутності належного демпфування викликає передчасну втому оператора та зниження концентрації уваги;
- висока запиленість робочої зони. Зумовлена інтенсивним виділенням половини, мікрочастинок остюків, залишків сухих стебел та іншої незернової частини врожаю під час активної повітряної сепарації вороху осьовим вентилятором при витраті повітря $4,415 \text{ м}^3/\text{с}$. Концентрація пилу в радіусі роботи молотарки зернозбирального комбайна без належного захисту здатна перевищувати гранично допустимі норми,

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

викликаючи подразнення слизових оболонок обслуговуючого персоналу;

- токсичність робочих рідин. Використання мінеральних та інших масел (моторне масло типу М-10Г2К, трансмісійні та гідравлічні оливи) створює небезпеку хімічного подразнення шкіри при щозмінному технічному обслуговуванні гідросистеми комбайна та модернізованого автоматизованого варіатора;
- пожежонебезпечність, адже суха рослинна маса озимої пшениці при вологості соломи 17...19 % у поєднанні з наявністю паливно-мастильних матеріалів та нагрітих поверхонь вихлопної системи двигуна створює сприятливі умови для виникнення займань.

5.2. Інженерно-технічні заходи щодо забезпечення безпеки праці

Для локалізації та мінімізації впливу зазначених виробничих факторів на зернозбиральному комбайні КЗС-950 «Руслан» реалізовано систему захисних інженерно-технічних рішень:

1. **Зниження віброакустичного навантаження:** кабіна механізатора виконана за принципом герметичної капсули, встановленої на чотирьох еластичних гумометалевих амортизаторах, що гасять високочастотні коливання рами. Внутрішні панелі кабіни повністю покриті сучасними звукопоглинальними та термоізоляційними пористими матеріалами, а підлога застелена віброізоляційними гумовими килимками товщиною не менше 10 мм. Робоче крісло комбайнера укомплектоване вбудованим регульованим гідроамортизатором та пружинною підвіскою, що знижує амплітуду коливань до безпечного рівня.
2. **Оптимізація мікроклімату:** примусова багатоступінчаста система фільтрації повітря (включаючи відцентровий моноциклон та паперові ультрафільтри) у поєднанні з кондиціонуванням підтримує стабільну температуру в межах 13...22° С та відносну вологість 40...60 %. Це

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

створює надлишковий тиск всередині кабіни, що повністю виключає проникнення органічного пилу, спор грибів та половини в зону дихання оператора.

3. **Ергономіка та автоматизація керування:** впровадження електрогідравлічного дистанційного керування варіатором вентилятора очистки виключає потребу в регулярному виході комбайнера з кабіни для ручного налаштування шківів. Усі органи керування та дисплей бортового комп'ютера датчиків втрат розташовані в зоні комфортної досяжності правої руки оператора, що знижує фізичне навантаження.
4. **Комплексний механічний захист:** усі елементи пасових, ланцюгових, зубчастих та ексцентрикових привідних механізмів системи очистки зернозбирального комбайна закриті суцільними відкидними металевими кожухами, пофарбованими з внутрішньої сторони в попереджувальний яскраво-жовтий колір згідно з вимогами виробничої санітарії. Запуск молотарки заблоковано при відкритих захисних капотах за допомогою кінцевих вимикачів.

5.3. Пожежна безпека при збиранні врожаю

Збирання зернових колосових культур методом прямого комбайнування відноситься до категорії робіт із підвищеною пожежною небезпекою. З огляду на це, організація збирального процесу на проектному полі площею 120 га передбачає жорсткі інженерно-профілактичні та організаційні заходи, серед яких:

- Технологічна розбивка масиву. Весь польовий масив заздалегідь розділяють на п'ять рівних технологічних загінок шириною по $B_3 = 200$ м кожна. Між загінками виконують прокоси шириною не менше 12 м. Після цього виконується обов'язкове оборювання кожної загінки тракторним плугом на ширину не менше 4 м, що дозволяє локалізувати

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потенційне вогнище і запобігти поширенню пожежі по всьому масиву поля.

- Технічна модернізація силового механізму. Вихлопна труба дизельного двигуна ЯМЗ-236ДК-5 обладнується сертифікованим іскрогасником сітчастого типу, що унеможливорює виліт розжарених часток нагару на суху стерню чи хлібостій. Всі електричні дроти захищають гофрованими негорючими кожухами для усунення ризику короткого замикання. Комбайн заземлюється за допомогою металевого ланцюга, що постійно контактує з ґрунтом для зняття статичної електрики.
- Комплектування засобами пожежогасіння. Збиральний МТА в обов'язковому порядку комплектується первинними засобами ліквідації вогню:
 - двома вуглекислотними або порошковими вогнегасниками типу ОП-5 (один в кабіні, другий біля двигуна);
 - двома швабрами-хлопавками для гасіння відкритого полум'я на стерні;
 - протипожежним азбестовим полотном (кошмою) розміром 2×2 м;
 - двома совковими лопатами та ємністю з водою об'ємом не менше 50 літрів.
- Мобільний супровід. Безпосередньо на полі під час збирання в стані постійної готовності забезпечується чергування трактора класу 3 типу Т-150К, обладнаного оборотним плугом для екстреного оборювання зони займання, а також мобільної пожежної цистерни (або агрегату типу АРЖ) з водою та помпою під час всього періоду проведення операції збирання.

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.4. Екологічна безпека та захист навколишнього середовища

Впровадження модернізованого зернозбирального комбайна КЗС-950 «Руслан» супроводжується позитивним екологічним ефектом у межах концепції точного та екологічно безпечного агровиробництва:

1. Зниження викидів токсичних газів. Завдяки оптимізації логістики вивантаження зерна (строго на поворотній смузі без зупинок посеред поля) та підвищенню коефіцієнта використання змінного часу до $\tau = 0,78$, загальний час роботи двигуна ЯМЗ-236ДК-5 на холостому ході зменшується на 12...15 %. Це пропорційно знижує обсяги викидів продуктів згоряння солярки (оксидів азоту NO_x , чадного газу CO та сажі) в атмосферне повітря.

2. Захист ґрунтового покриву від переущільнення. Розрахункова логістика, яка передбачає рух тракторних поїздів (трактор ХТЗ-17221 з причепом 2ПТС-9) виключно по обкошених поворотних смугах за межами робочої зони загінки, виключає безсистемний рух важкого транспорту по стерні. Це запобігає руйнуванню структури орного шару чорнозему, мінімізує деградацію ґрунтових капілярів та зберігає природну пористість ґрунту, що є важливим принципом реалізації системи ґрунтозахисного землеробства.

3. Попередження хімічного забруднення. Модернізований контур гідроциліндра керування варіатором вентилятора зернозбирального комбайна виконано із застосуванням двобортових рукавів високого тиску (РВТ) із підвищеною стійкістю до стирання. Герметичні швидкокороз'ємні муфти повністю виключають капілярні витіки мінеральних гідравлічних мастил на рослинний покрив і ґрунт, що мінімізує антропогенне навантаження на агроєкосистему.

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

6. ВИСНОВКИ

У наведеній роботі виконано комплексне інженерне вирішення актуальної науково-практичної задачі – підвищення ефективності та рентабельності виробництва озимої пшениці на площі 120 га шляхом вдосконалення повітряно-решітної очистки зернозбирального комбайна КЗС-950 «Руслан».

Основні наукові та практичні результати вдосконалень полягають у наступному.

На основі системного аналізу базової технології вирощування та збирання озимої пшениці встановлено, що серійний механічний ручний привід варіатора вентилятора очистки зернозбирального комбайна КЗС-950 «Руслан» обмежує адаптивність машини до змінних умов поля, призводячи до перевищення нормативних втрат зерна понад 1,5 %.

Обґрунтовано та розраховано схему модернізації пневмосепаруючої системи очистки комбайна із впровадженням пропорційного електрогідравлічного керування варіатором на основі сигналів п'єзоелектричних датчиків втрат та бортового контролера. Це забезпечує автоматичне коригування швидкості повітряного потоку без зупинки МТА.

Технологічними та аеродинамічними розрахунками доведено, що при номінальній подачі маси 8,0 кг/с секундний потік вороху на очистку становить 4,982 кг/с. Конструктивна площа решіт 3,50 м² повністю відповідає питомому технологічному навантаженню при забезпеченні об'ємної витрати повітря осьового вентилятора 4,415 м³/с під повним тиском 93,0 Па.

Розроблено раціональну операційну технологію прямого комбайнування для геометричних параметрів поля із озимою пшеницею площею 120 га (гони – 1200 м, ширина – 1000 м). Встановлено оптимальну робочу швидкість руху 5,0 км/год на II-й передачі трансмісії комбайна.

На основі балансу заповнення бункера зерном 2,95 т за один хід, що дорівнює 77,6 % місткості обґрунтовано логістичну схему вивантаження

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

виключно на поворотній смузі (шириною 24 м). Це збільшує коефіцієнт використання змінного часу до $\tau = 0,78$ та забезпечує змінну експлуатаційну продуктивність агрегату на рівні 15,76 га/зміну. Загальний строк збирання всього поля одним комбайном становить 8 робочих діб.

Проведені перевірочні розрахунки деталей на міцність та втому підтвердили високу інженерну надійність модернізованого вузла: шток гідроциліндра має коефіцієнт стійкості проти поздовжнього згину за Ейлером $n_{ст} = 51,18$ (при нормі 4,0), а приводний шатун – запас міцності по витривалості $n_{в} = 6,85$ (при нормі 2,0).

Виконання розділу охорони праці та пожежної безпеки підтвердило повну відповідність розробленого зернозбирального комбайна сучасним стандартам безпеки, що мінімізує виробничі ризики та гарантує екологічну безпеку технологічного процесу.

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Методичні рекомендації до оформлення кваліфікаційної роботи здобувачів першого (бакалаврського) освітнього рівня за освітньо-професійною програмою 208 «Агроінженерія» / Д.І. Петренко, С.М. Лещенко, В.М. Сало, О.М. Васильковський, О.В. Бевз, С.О. Магопєць. – Кропивницький : ЦНТУ, 2022. – 99 с.
2. Довідник з машиновикористання в землеробстві / За ред. В.І. Пастухова – Харків: Веста, 2001. – 347 с.
3. Бондаренко М.Г. Комплектування і використання машинно-тракторного парку в рослинництві / Бондаренко М.Г., Демещук В.А. – К.: Вища школа, 1995. – 237 с.
4. Системи сучасних інтенсивних технологій у рослинництві: Підручник / С.М. Каленська, Л.М. Єрмакова, В.Д. Паламарчук та ін.. – Вінниця: ФОП Рогальська І.О., 2015. – 448 с.
5. Практикум із машиновикористання в рослинництві: Навч. посібник / За ред. І.І. Мельника. – К.: Кондор, 2009. – 284 с.
6. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: підручник / [Войтюк Д. Г. та ін.]; за ред. С. С. Яцуна. – [2-ге вид., перероб. і допов.]. – Суми: Сумський нац. аграр. ун-т, 2011. – 444 с.
7. Сисолін П.В. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Книга 2. Машини для рільництва / Сисолін П.В., Рибак Т.І., Сало В.М. За ред. Черновола М.І. – К.: Урожай, 2002. – 364 с.
8. Сільськогосподарські машини / В.Ю. Комаристов, М.М. Петренко, М.М. Косінов. – К.: Урожай, 1996. – 240 с.
9. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

10. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини: Підручник. – К.: Каравела, 2004. – 552 с.
11. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.
12. Проектування сільськогосподарських машин : навч. посіб. / [Бендера І. М. та ін.] ; за ред. І. М. Бендери, А. В. Рудя, Я. В. Козія. – Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О. В., 2011. – 640 с.
13. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва: Підруч. у 2 т: Т. 2 / А.В. Рудь, І.М. Бендера, Д.Г. Войтюк та ін.; за ред. А.В. Рудя. – К. Агроосвіта, 2012. – 434 с.
14. Гречкосій В.Д., Погорілець О.М., Ревенко І.І. та ін. Довідник сільського інженера / За ред. В.Д. Гречкосія. – 2-е вид., перероб. і доповнене. – К.: Урожай, 1991. – 400 с.
15. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник. – К.: Вища школа, 1993. – 556 с.
16. Іванчук А.В. Деталі машин: Навч. посібник [для студ. вищ. пед. навч. закл.] / А.В. Іванчук. – Вінниця: ТОВ фірма «Планер», 2010. – 336 с.
17. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: підручник / [Войтюк Д. Г. та ін.]; за ред. С. С. Яцуна. – [2-ге вид., перероб. і допов.]. – Суми: Сумський нац. аграр. ун-т, 2011. – 444 с.
18. Проектування сільськогосподарських машин : навч. посіб. / [Бендера І. М. та ін.]; за ред. І. М. Бендери, А. В. Рудя, Я. В. Козія. – Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О. В., 2011. – 640 с.
19. Приводи сільськогосподарської техніки : метод. рекомендації до викон. практ. робіт / [уклад.: В. А. Дейкун, С. М. Лещенко, Д.І. Петренко, Р.В. Кісільов]; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. с.-г. машинобуд. – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – 67 с.
<http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/9359>.

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

20. Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г., Павх І.І. Машини сільськогосподарського виробництва – Тернопіль:, 2005. – 228 с.
21. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник для студентів вищих навчальних закладів. За редакцією М.П. Гандзюка. – К.: Каравела, 2003.– 408 с.
22. Пістун І.П., Хом'як Й.В., Хом'як В.В. Охорона праці в галузі сільського господарства: Навчальний посібник. – Суми: Університетська книга, 2009. – 365 с.

					ВПЗК 00.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ