

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
“ ” 2025 р.
Зав. кафедри Д.Т.Н., професор
(науковий ступінь, вчене звання)
В.В. Дідур
(підпис) (ініціали, прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА (дипломний проект)
магістр
(назва освітнього ступеня)

тема роботи **«Дослідження впливу конструкції пристрою попереднього
обмолоту зерна»**

Виконав: студент 2курсу, групи 22м-ім
освітньої програми магістр
спеціальності _____
208 «Агроінженерія»
Кащук В.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доцент Шевчук В.В.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2025 рік

РЕФЕРАТ

Матіна Є.І. Дослідження впливу конструкції пристрою попереднього обмолоту зерна. (Дипломний проект, Уманський національний університет, 2025: пояснювальна записка на 59 сторінках, у т.ч. 4 розділів, 22 рисунків, 9 таблиці, 19 найменувань літератури).

У дипломному проекті представлено сучасний стан і тенденції розвитку зернозбиральних машин. Представлені теоретичні дослідження зернозбиральної техніки. Встановлено взаємозв'язок між швидкістю руху машини та продуктивністю. В результаті експериментальних досліджень визначено вплив конструктивних та кінематичних параметрів очисних систем зернозбиральних комбайнів під час збирання сільськогосподарських культур. Досліджено вплив швидкості руху комбайна на процес очищення зібраного врожаю від домішок. Досліджено охорону праці та безпеку в надзвичайних ситуаціях при виконанні польових робіт. Проведено економічне обґрунтування модернізованої техніки. Зроблено висновки та наведено список використаних джерел.

Ключові слова: СИСТЕМА ОЧИСТКИ, РЕШІТНИЙ СТАН, КОМБАЙН, РОТОР.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СПОСОБІВ, ТА КОНСТРУКЦІЙ МАШИН ДЛЯ ЗБИРАННЯ НАСІННЯ.....	10
1.1 Класифікація зернозбиральної техніки	10
1.2 Збирання незернової частини врожаю за участю зернозбиральних комбайнів.....	16
1.3 Короткий опис наукових досліджень процесів обмолоту зерна.....	22
Висновки по розділу 1.....	27
2. ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ КОМБАЙНА З АКСІАЛЬНО- РОТОРНИМ МОЛОТИЛЬНО-СЕПАРУЮЧИМ ПРИСТРОЄМ	28
2.1 Обґрунтування конструктивної схеми машини.....	28
2.2 Теоретичні положення конструктивних параметрів роторних МСП...31	
2.2.1. Переміщення хлібної маси у зазорі між ротором і решіткою підбарабання.....	31
2.2.2. Основи розрахунку потужності аксіально-роторних МСП.....	32
2.2.3. Призначення, типи, параметри і режими роботи очисників зерна... 34	
Висновки.....	36
3. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	37
3.1 Удосконалення однолінійного ротора молотильно-сепаруючого пристрою CASE 2388 AXIAL-FLOW з використанням пристрою попереднього обмолоту зерна.....	37
3.2 Принцип роботи пристрою попереднього обмолоту.....	37
3.3 Зміни в конструкції дослідного зразка.....	41
3.4 Визначення продуктивності та витрата палива	46
Висновок.....	48

4.	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	50
4.1	Організація охорони праці при роботі на комбайні CASE 2388	50
4.2	Загальні вимоги охорони праці при роботі на комбайні.....	52
4.3	Правила безпеки та заходи протидії надзвичайним ситуаціям при роботі з комбайном CASE 2388.	52
	Висновок.....	54
5.	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ	55
	Висновок.....	56
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	57
	ЛІТЕРАТУРА.....	58

Вступ

Вирішення проблеми продовольчої безпеки України неможливе без інтенсифікації аграрного виробництва, переведення його на індустріальну основу та широкого впровадження сучасної техніки, що забезпечить повну механізацію процесів вирощування зернових культур.

Ефективність функціонування сільського господарства та реформування аграрного сектору економіки безпосередньо залежить від рівня матеріально-технічного забезпечення всіх категорій сільськогосподарських виробників, які володіють землею та основними засобами виробництва. Саме цей фактор істотно впливає на темпи соціально-економічного розвитку держави.

Зернове господарство традиційно займає провідне місце у структурі аграрного виробництва, оскільки виконує важливу соціальну функцію — забезпечує населення основними продуктами харчування. Україна є одним із провідних виробників зернових культур у Європі, щорічно збираючи 35–40 млн тонн зерна. Протягом останніх десяти років держава стала провідним експортером зерна в регіоні.

Зерновиробництво відіграє ключову роль у національній економіці, адже забезпечує стабільне постачання продовольства, сировини для переробної промисловості, створює робочі місця та наповнює державний бюджет. Значні земельні ресурси, сприятливі кліматичні умови та наявність кваліфікованих кадрів формують потужний потенціал подальшого розвитку галузі.

Сьогодні потенціал виробництва зернових та олійних культур в Україні оцінюється на рівні 80–100 млн тонн щорічно, що викликає значний інтерес серед національних та міжнародних експертів. Проте такі високі показники ставлять перед аграріями завдання своєчасного та якісного збирання врожаю.

Для мінімізації втрат зерна під час збирання та забезпечення високої якості продукції необхідне вдосконалення технічних засобів — насамперед зернозбиральних комбайнів. Проблема особливо гостро постає для малих фермерських господарств, які перебувають на початкових етапах розвитку.

Іноземна техніка має високу вартість, а вітчизняні машини часто не відповідають сучасним агротехнічним вимогам, що зумовлює потребу у вдосконаленні існуючих систем сепарації або створенні нових конструкцій валково-роторних механізмів обмолоту.

Розв'язання цієї проблеми сприятиме підвищенню ефективності роботи фермерських господарств, зменшенню втрат урожаю та підвищенню продуктивності праці. Крім того, це забезпечить підвищення якості зерна на внутрішньому ринку, оскільки своєчасне збирання врожаю зменшує вплив опадів і запобігає вимиванню клейковини зі стиглого зерна.

Мета і завдання дослідження. Метою є підвищення ефективності процесу збирання зернових культур шляхом аналізу та демонстрації технічних процесів, параметрів і режимів роботи валково-роторного молотильно-сепаруючого органу зернозбирального комбайна **CASE 2388 AXIAL-FLOW**.

Досягнення поставленої мети базується на перевірці гіпотези, згідно з якою ефективність відокремлення зерна від рослинних решток може бути підвищена завдяки вдосконаленню існуючих методів роботи сепаруючого обладнання комбайна.

У процесі реалізації робочої гіпотези необхідно вирішити такі **завдання**:

- дослідити механіко-технічні властивості насіння пшениці, що визначають вибір конструктивних параметрів і режимів функціонування молотильно-сепаруючих систем;
- вивести аналітичні залежності, які дозволяють визначати оптимальні конструктивні параметри та режими роботи валково-роторного молотильно-сепаруючого обладнання;
- експериментально оцінити вплив конструктивних параметрів і режимів роботи сепаратора на показники якості його функціонування;
- провести техніко-технологічні, експлуатаційні та економічні оцінки машин, оснащених модернізованим зерносепаруючим обладнанням;

- розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо вибору конструктивних параметрів і визначення раціональних режимів роботи валково-роторного молотильно-сепаруючого агрегату.

Об'єкт дослідження — технологічний процес обмолоту та сепарації зерна із застосуванням валково-роторного молотильно-сепаруючого обладнання.

Предмет дослідження — закономірності впливу конструктивних параметрів і режимів роботи роторного зернозбирального комбайна на показники якості виконання технологічного процесу.

Методи дослідження. Аналітичні дослідження здійснювалися із застосуванням методів пружно-в'язкої динаміки, теорії контактної взаємодії, аналітичної та нарисної геометрії, а також математичного аналізу. Експериментальні дослідження проводилися із використанням методів повного факторного експерименту, теорії ймовірності та математичної статистики.

Роботи виконувались за спеціально розробленими методиками із застосуванням сучасних комп'ютерних засобів вимірювання, статистичної обробки та графічного аналізу отриманих експериментальних результатів.

Наукова новизна отриманих результатів. У результаті дослідження отримано нові математичні залежності, що дозволили обґрунтувати конструктивні параметри та режими роботи валково-роторного молотильно-сепаруючого агрегату з урахуванням механіко-технічних характеристик як матеріалу решета, так і зерна пшениці. Встановлено закономірності впливу конструктивних параметрів і режимів роботи валково-роторного молотильно-сепаруючого механізму на ефективність процесу відокремлення насіння.

Практичне значення отриманих результатів полягає у створенні рекомендацій щодо оптимального вибору конструктивних параметрів та визначення раціональних режимів функціонування систем обмолоту і сепарації зерна, що сприятиме підвищенню ефективності роботи зернозбиральних машин.

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ, СПОСОБІВ ТА КОНСТРУКЦІЙ МАШИН ДЛЯ ЗБИРАННЯ НАСІННЯ

1.1. Класифікація зернозбиральної техніки.

Збирання врожаю є найбільш інтенсивним і відповідальним етапом у структурі сільськогосподарського виробництва. Для отримання максимально можливого врожаю високої якості при мінімальних затратах праці та матеріальних ресурсів необхідно дотримуватися ряду технічних і організаційних вимог, серед яких:

- суворе дотримання агротехнічно оптимальних строків збирання;
- забезпечення безперервності процесу збирання врожаю та створення належних умов для формування майбутнього врожаю;
- підтримання цілісності технологічного процесу;
- збирання незернових частин урожаю;
- максимальне використання технічного потенціалу машинно-тракторного парку.

Збирання врожаю є завершальним етапом вирощування будь-якої сільськогосподарської культури і має вирішальне значення для забезпечення продовольчої безпеки та економічної стабільності господарств.

На сучасному етапі основним засобом механізованого збирання зернових культур є самохідні зернозбиральні комбайни. Ці машини здійснюють комплекс технологічних операцій: зрізують і обмолочують зернову масу, очищують зерно, збирають його у бункер, а також укладають солом у валки або розподіляють її по поверхні поля. Зернозбиральні комбайни використовуються не лише для збирання зернових культур, але й для бобових, олійних, кукурудзи та насінників трав.

До зернових культур належать хлібні злаки — пшениця, жито, ячмінь; дрібнозернові злаки — просо, рис, овес, сорго, кукурудза. Суцвіттям хлібних культур є колос, а в кукурудзи — стрижень (чоловіче суцвіття) та качан (жіноче суцвіття). До бобових культур відносять горох, квасолю та сою [2–5].

Збирання зернових здійснюється комбайновим або безкомбайновим способом. Основним методом є комбайновий, який реалізується за двома технологічними схемами — однофазною (пряме комбайнування) та двофазною (роздільне збирання), із подальшою доробкою зерна на стаціонарних зерноочисно-сушільних комплексах і використанням побічної продукції.

Пряме комбайнування передбачає, що жниварка — робочий орган комбайна — зрізає і подає зернову масу безпосередньо до молотильно-сепаруючого апарата.

Особливостями цієї технології є:

1. урожай має бути повністю стиглим, а вологість соломи та зерна повинна відповідати оптимальним параметрам для обмолоту, що забезпечує ефективне відокремлення зерна та якісну сепарацію;
2. пряме комбайнування дає змогу формувати збиральні комплекси оптимальних розмірів, що знижує витрати на одиницю зібраної продукції та підвищує економічну ефективність виробництва.

Під час однофазного (прямого) збирання комбайн за один прохід виконує повний цикл технологічних операцій: зрізування стебел, обмолот, відокремлення зерна та соломи, очищення зерна від домішок і транспортування його в бункер. Одночасно з цим солома та соломка можуть укладатися в валки, подрібнюватися або рівномірно розкидатися по полю. Усі ці операції виконуються в єдиному безперервному потоці, що забезпечує високу продуктивність і мінімальні втрати врожаю.

Роздільний спосіб збирання зернових культур застосовується у випадках, коли посіви дозрівають нерівномірно, мають значну засміченість або характеризуються зниженою густотою стояння рослин (менше 300–350 шт./м²) при висоті понад 60 см. Такі посіви збирають у два етапи. Спочатку зернову масу скошують у валки, а після підсихання проводять обмолот комбайном.

На полях з поляганням рослин зріз здійснюють на мінімальній висоті, щоб максимально зібрати зернову масу. У вологих районах формують тонкі та

широкі прокоси, що сприяє кращому провітрюванню і підсиханню, тоді як у посушливих зонах створюють короткі, щільні прокоси зі стеблами, нахиленими до поздовжньої осі валка, щоб зменшити втрати зерна від обсіпання.

Скошена маса у валках має підвищену вологість, однак у процесі природного підсихання зерно та солома досягають вологості, придатної для обмолоту. Для підбору валків із поля застосовується спеціальний адаптер — підбирач валків, який подає масу до молотильно-сепаруючого апарата комбайна.

Використання роздільної технології (спліт-збирання) дає змогу розпочинати жнива на 5–7 днів раніше, ніж при прямому комбайнуванні. Це дозволяє подовжити період збирання зернових культур і забезпечити ефективніше використання комбайнового парку протягом сезону.

Разом з тим дана технологія має і недоліки: вона потребує додаткової техніки для скошування, формування та підбирання валків, що підвищує кількість машин у збиральному комплексі, а також збільшує трудові та фінансові витрати на виконання робіт.

З метою зменшення кількості соломи та полови, що потрапляють у молотарку, за кордоном було розроблено новий метод збирання зернових та зернобобових культур, який згодом впроваджено в Україні. Під час розробки цього методу було звернуто увагу на те, що під час обмолоту через молотарку проходять незернові частини, що негативно впливає на процес відокремлення зерна від грубої купки на соломотрясі та на промивання зерна в мийній установці.

Новий спосіб збирання зерна показав значні переваги над традиційними методами та поступово набуває широкого застосування на сільськогосподарських підприємствах. Він майже вдвічі підвищує ефективність роботи комбайна та полегшує збір вологих, забур'янених валків. Крім того, відпадає потреба у скошуванні та розкиданні, оскільки солома, що залишається на полі після обчісування зерна, рівномірно розподіляється по

всій площі. Висока стерня зменшує випаровування вологи з ґрунту, утримує сніговий покрив узимку та не створює перешкод для роботи сівалки при прямому висіві навесні наступного року.

Вальцьові косарки призначені для зрізання стебел стерні та формування валків із скошеної маси по стерні. Вони використовуються у двофазній (сепарувальній) системі збирання зернових культур. Валкові жниварки класифікують за такими ознаками:

- **За призначенням:** колосові, зернозбиральні, рисові, бобові та травозбиральні;
- **За способом збирання:** буксировані, навісні, напівнавісні та самохідні;
- **За способом формування валка:** однопотоковий, двопотоковий, трипотоковий;
- **За шириною захвату:** вузька, середня та широка.

Робочими органами косарки є косарний апарат, дільник, стеблоутворювач і мотовило.

Комбайни поділяються на 11 класів відповідно до їх продуктивності. Клас комбайна визначається його основними параметрами, значення і співвідношення яких визначають продуктивність молотарки. Індекс комбайна визначається за наступною формулою [5].

$$\text{Індекс} = 0,5347 \cdot \frac{N}{S_e} + 0,1301 \cdot B \cdot S_c + 3,7101 \cdot S_0 \cdot \frac{12,8566}{S_c \cdot V} + 0,288 \cdot S_c \cdot V + 5,1597 \cdot S_e, \quad (1.1)$$

де N – потужність двигуна, (к.с.); S_e – ефективна площа сепарації, м²; B – ширина молотарки, м; S_c – площа соломотрясу, м²; S_0 – площа очисника (решіт), м²; V – місткість бункера, м³.

Таблиця 1.2 – Відповідність індексу класу комбайна

Ін-декс	<38	39...	47...	52...	58...	68...	77...	97...	111..	121..	>130
		46	51	57	67	76	96	110	120	130	
Клас	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

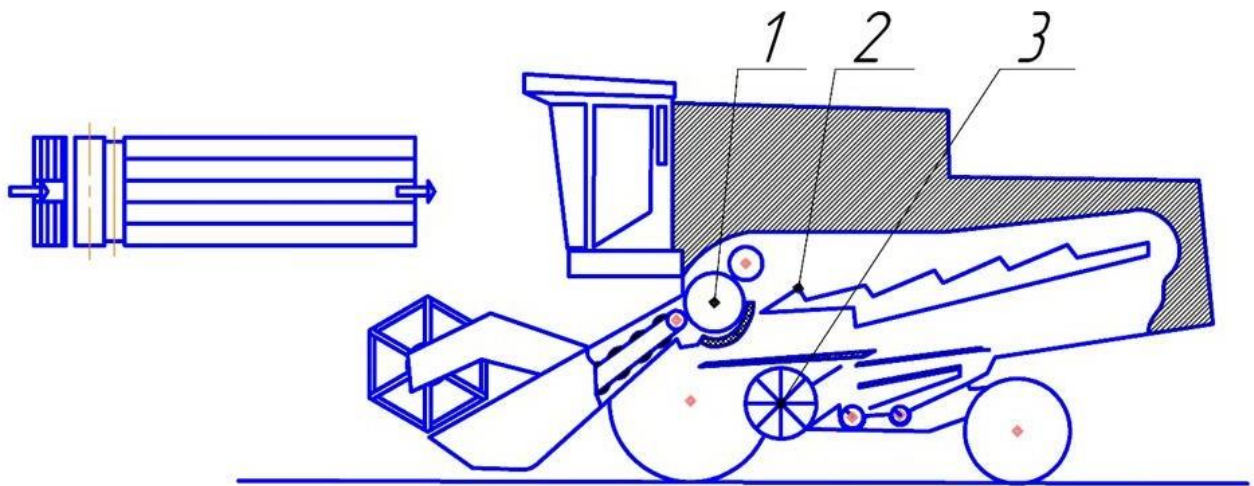


Рис. 1.1 – Комбайн з класичною молотаркою (однобарабанна система обмолоту + клавішний соломотряс + вітроенергетична система очищення зерна): 1 – молотильний барабан; 2 – клавішний соломотряс; 3 – вентилятор.

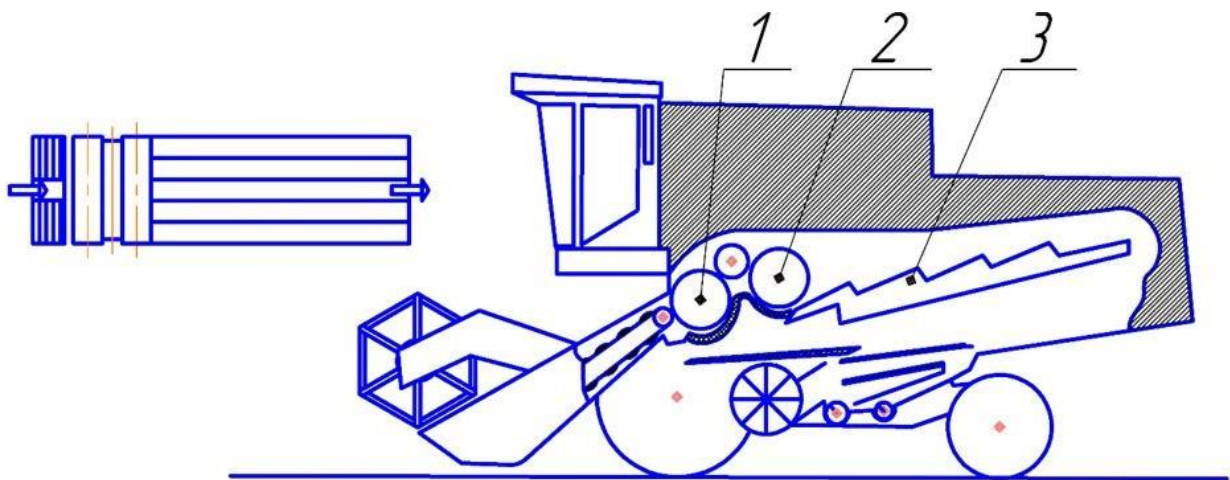


Рис. 1.2 – Комбайн з класичною системою обмолоту та ротаційним і клавішним соломосепараторами грубого вороху (соломи): 1 – молотильний барабан; 2 – ротаційний соломосепаратор; 3 – клавішний соломосепаратор.

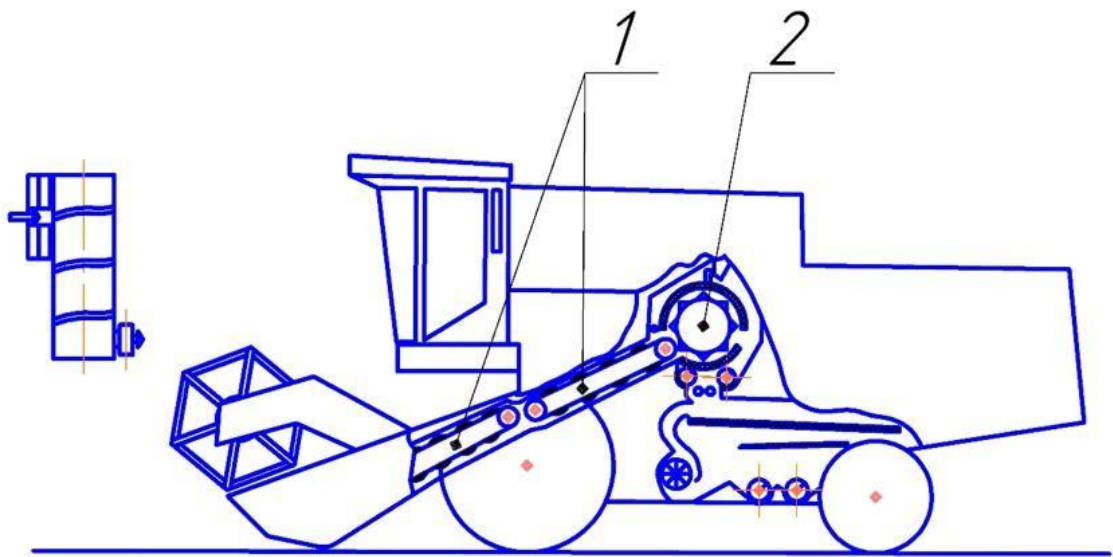


Рис. 1.3 – Комбайн з класичною системою обмолоту, ротаційним та роторним соломосепараторами грубого вороху: 1 – похилий транспортер; 2 – соломосепаратор.

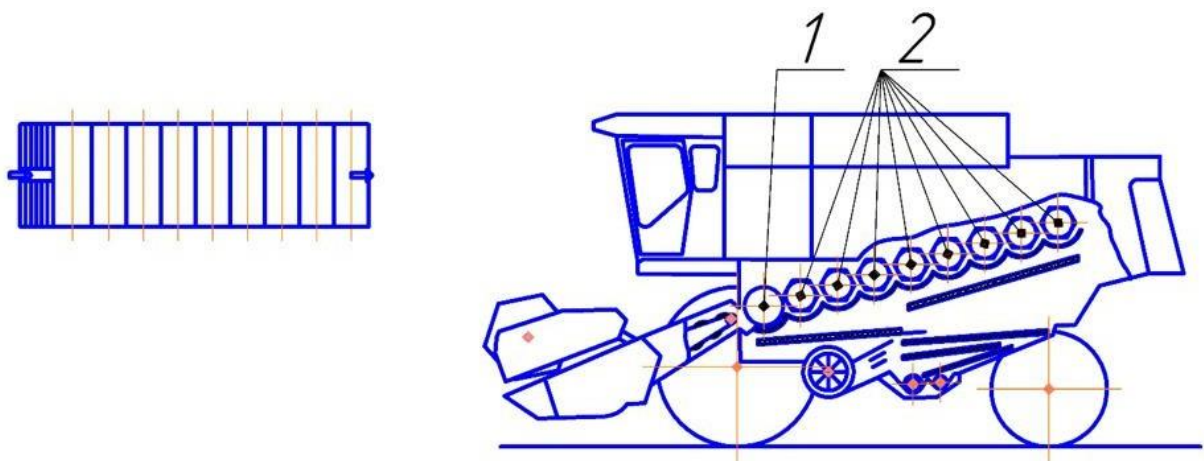


Рис. 1.4 – Комбайн з класичною системою обмолоту та багатобітерним соломосепаратором грубого вороху: 1 – молотильний барабан; 2 – багатобітерний соломосепаратор.

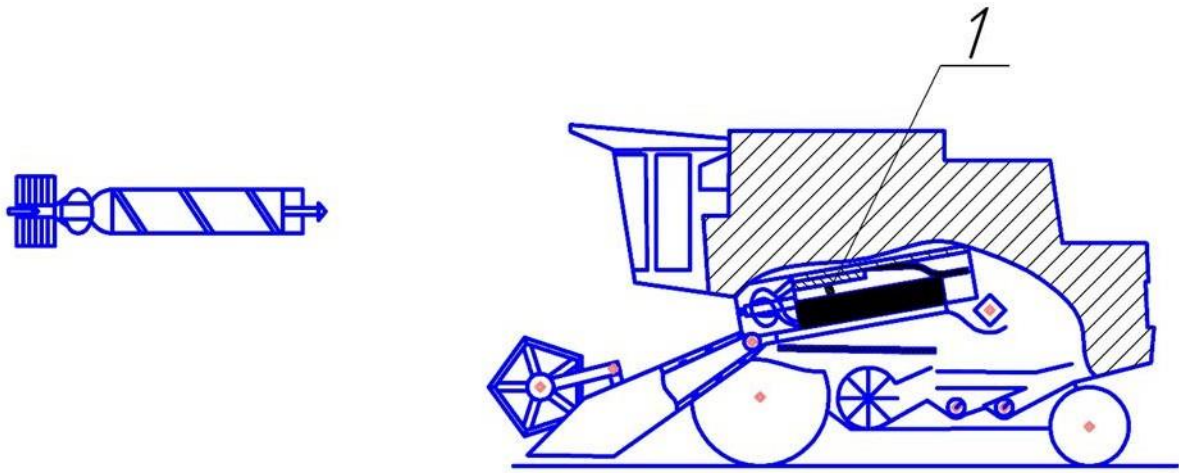


Рис. 1.5 – Машини з однороторними молотильними системами та осьовою подачею культури на обмолот: 1 – поздовжній ротор.

Після огляду відомих конструкцій різних типів зернозбиральних комбайнів розглядаються моделі з роторним молотильним і сепарувальним обладнанням.

1.2 Збирання незернової частини врожаю за участю зернозбиральних комбайнів

Збирання, транспортування та зберігання незернових частин (НЗЧ) зернових, бобових та круп'яних культур потребує у 2–3 рази більше праці та коштів, ніж збір самих зернових. За даними ряду досліджень, трудовитрати на збір НЗЧ можуть становити до 70% від загальних витрат на збирання всієї біологічної маси. Це пояснюється тим, що розвиток техніки для збирання рисової соломи завжди відставав від розвитку зернозбиральної техніки, а густина агрегатів для збору рисової соломи (копиці, скирти, тюки, пачки тощо) у 7–20 разів перевищує густину зерна в контейнерах.

Сучасні технології збирання всього біологічного врожаю зернових культур (зерна та соломи) практично ідентичні у частині обмолоту зерна, відрізняючись лише методами та комплексом машин для збору соломи. Технології поділяють на два основні види: збирання соломотрясом і потоковим способом — подрібнення соломи та її навантаження в причепи змінного складу,

прикочування та утилізація — розкидання соломи як мульчі. Існують також комбіновані варіанти цих технологій.

За індивідуальної технології збирання соломи комбайнами, солома і полова збираються на жатку комбайна, а отриманий агрегат укладається на стерню в полі. Недоліком цього способу є практично повна втрата найціннішої частини пожнивних залишків — полови.

У технології штабелювання штабелі вагою 150–300 кг формуються штабелеукладальником, приєднаним до комбайна, і вивантажуються на стерню під час роботи. Штабелі збирають з поля здебільшого тросовими волокушами або штовхачами; вони також можуть вантажитися на транспортні засоби або переміщуватися штабелеукладачами.

Наявність соломи на полі ускладнює подальший обробіток ґрунту, а якість корму знижується через втрату лущиння (70–90%) і забруднення ґрунтом. Одночасно із збиранням пучків соломи на полі розсіюється насіння бур'янів, а у разі висіву трав під зерновий покрив (конюшина, люцерна) сходи пошкоджуються ґрунтом. Низька щільність НЗЧ у купах збільшує вантажопідйомність транспортних засобів, що потребують міцних конструкцій. Часто НЗЧ, що втрачаються під час транспортування і розкидаються по полю, спалюються. Несвоєчасний збір рослинних залишків ускладнює післязбиральний обробіток ґрунту і знижує врожайність наступного року на 3–10 ц/га.

Більшість машин для заготівлі сіна небажано використовувати для збору сінажу, оскільки вони забруднюють ґрунт і призводять до значних втрат. Поточкові вимоги до збирання не виконуються через малу вагу, нестійку форму та розкиданість сіна по полю.

Суттєвим недоліком копитної технології є практично повна втрата полови, хоча ця технологія дозволяє прибирати НЗЧ із мінімальними затратами праці та коштів. Саме тому колосування отримало найбільше поширення у сільськогосподарському виробництві.

Донедавна найпоширенішою технологією на більшості комбайнів українського зернозбирального парку була потокова технологія. Вона

передбачає обмолот врожаю, подрібнення соломи та завантаження її на регульований причіп, приєднаний до комбайна. Залежно від потреб господарства та природно-кліматичних умов, потокова технологія може реалізовуватися різними способами.



Рис. 1.6 – Потокове збирання соломи і половин

Валкова технологія збирання незернових частин урожаю передбачає, що після обмолоту зерно потрапляє у бункер, а солома (солом'яні залишки) укладається комбайном у соломотряс.

Сучасні комбайни здатні або прикочувати соломі, або розкидати її подрібнену по полю. Залишати соломі на полі не рекомендується, оскільки укочена солома ускладнює якісний обробіток ґрунту. Тому її необхідно подрібнити та рівномірно розподілити по полю або зібрати і вивезти для подальшого використання.

При цій технології НЗЧ розподіляються по валку за допомогою комбайна (рис. 1.7), після чого валок підбирають і прибирають із поля різними технічними способами. Дана технологія полегшує роботу комбайнерів і дещо підвищує продуктивність комбайна, оскільки виключає простой, пов'язані з експлуатацією складного обладнання для збирання НЗЧ (копачів, подрібнювачів, зяблезбиральних машин тощо) [14–16].



Рис. 1.7 – Укладання неподрібненої соломи у валок

Технології внесення соломи та полови.

Солома дрібно подрібнюється і рівномірно розкидається по полях екологічно безпечним та ефективним способом. При спалюванні соломи утворюється дим, а при змішуванні з ґрунтом вона утворює гумус, що сприяє біологічній активізації ґрунту та запобігає ерозії. Зазубрені ножі руйнують технічну масу, а трубчасті стебла целюлози розкриваються, оголюючи внутрішню частину. Це створює сприятливі умови для повної інтеграції целюлози в ґрунт, прискорює її розклад і покращує вологопоглинання.

Подрібнені грудки соломи захищають ґрунт, підтримують баланс внутрішніх процесів і полегшують подальший обробіток ґрунту та посів по стерні. Використання цієї технології разом із сучасними засобами прямої сівби зернових культур дозволяє знизити витрату пального на 21,6%, насіння — на 23% і підвищити врожайність на 26%.

В Україні солома рідко застосовується для мульчування ґрунту як засіб боротьби з вітровою ерозією або як органічне добриво. Дослідження показують, що внесення 5 т соломи на гектар практично виключає вітрову ерозію ґрунту і підвищує врожайність зернових на 23–48%.

Подрібнену солому розкидають по полю під час збирання. За правильних умов рисова солома добре інтегрується в ґрунт завдяки капілярній дії. Оптимально подрібнена та рівномірно розподілена солома сприяє природному кругообігу поживних речовин у ґрунті та підвищує родючість для майбутнього посіву.

Важливу роль у цьому процесі відіграють подрібнювачі соломи. У сучасних комбайнах застосовують понад 270 типів подрібнювачів (рис. 1.8–1.10), що включають:

- робочу систему для обробки соломи (груба купа) на виході з молотарки;
- конструкцію системи зчіпки та подачу робочого органа подрібнювача;
- системи автоматичного регулювання ступеня подрібнення соломи.



Рис. 1.8 – Техніко-технологічна система для розсіювання соломи по полю.

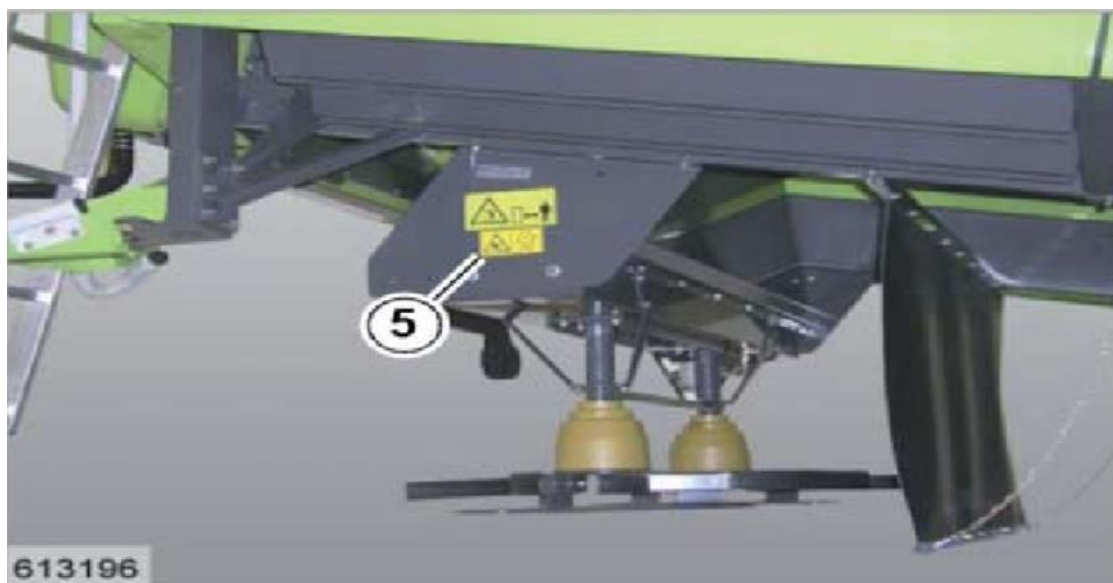


Рисунок 1.9 - Система розкидання соломи (після ситового млина) на полі.



Рис. 1.10 – Солому подрібнюють і розкидають по полю за допомогою комбайнової системи.

Сучасний тренд у керуванні та операційній діяльності агропідприємств визначається технологією прямого комбайнування, яка дозволяє створювати оптимальні конфігурації та економічно ефективні технічні збиральні комплекси для збирання зернових культур.

Під час експлуатації комбайнів із соломою та половами застосовують дві основні технології [6–8]. Використання дрібноподрібненої соломи для

розкидання по полях є доцільним і ефективним з погляду охорони довкілля. При спалюванні соломи високі температури призводять до втрати родючого шару ґрунту, тоді як її змішування з ґрунтом сприяє утворенню гумусу, що активізує біологічні процеси та запобігає ерозії.

Практичним і ефективним способом зупинити деградацію багатих чорноземів і одночасно підвищити продуктивність виробництва є використання побічної продукції зернових культур — соломи злакових і бобових, стебел кукурудзи та соняшнику — як органічного добрива.

1.3. Короткий опис наукових досліджень процесів обмолоту зерна

Говорячи про обмолот зернових культур роторними комбайнами, слід акцентувати увагу на якості обмолоту та мінімальному пошкодженні зерна. Для забезпечення високої якості насіння комбайни повинні відповідати нормам щодо мінімального травмування зерна.

Пошкодження зерна виникає через механічні навантаження на численні елементи технологічного процесу, включно з жниваркою, молотильним барабаном, решетом, шнеком комбайна, а також різноманітними машинами для післязбирального обробітку, підготовки насіння, навантаження, транспортування, протруєння та висівання.

За даними І.Г. Строна, А.П. Тарасенка та інших дослідників, під час збирання врожаю травмування зерна може досягати понад 20%, а при подальших технічних операціях із кондиціонування зернового вороху та підготовки насіння до сівби ці показники збільшуються в 2–3 рази. Значний внесок у наукове обґрунтування взаємодії робочих поверхонь механізмів із зерном внесли П.М. Василенко, Л.В. Погорілий, В.П. Галячкін, О.П. Тарасенко, В.М. Долинча, В.В. Адамчук, Л.М. Тищенко, П.М. Заїка, Б.І. Котов та інші науковці, що сприяло розвитку сучасних технологій обмолоту.

Згідно з дослідженнями Ю.В. Лукінського, під час обмолоту жита комбайном з автоматичним регулюванням завантаження пошкодження насіння не перевищує 2%, тоді як без регулювання цей показник сягає 8–12%.

Молотильна машина оснащена сепаратором із обертовим валом для поздовжнього переміщення хлібної маси, а також пристроєм для обмолоту хлібних грудочок. Усередині молотильного пристрою обертаються ротори, які всмоктують зернову купу, забезпечуючи відділення зерна від колосків ковзними ударами й обертанням, на відміну від прямого обмолоту в барабанних молотарках. Це знижує травматизм зерна.

Дослідження показали, що основні зони травмування та дроблення ядра розташовані у місцях різкої зміни вектора швидкості руху хлібної маси, переважно в першій половині процесу обмолоту. Порівняння барабанних та роторних молотарок демонструє, що роторні молотарки мають більш “економічну” зону обмолоту, де дроблення зерна менше, а мікропошкодження насіння знижуються завдяки відмінній осі обертання ротора відносно руху зернової маси. Кількісні показники травматизму залежать від імпульсу сили удару, що визначається за теорією імпульсу:

$$m \cdot V_2 - m \cdot V_1 = S(t), \quad (1.2)$$

де $S(t) = \int_{\tau_1}^{\tau_2} F(t) dt$ – ударний імпульс;

V_1 та V_2 – вектори швидкості елемента зернового вороху до і після проходження повз бичі. У проекціях на осі координат рівняння (1.2) матиме наступний вигляд:

$$\begin{cases} m \cdot V_x - m \cdot V_x = S_x(t), \\ m \cdot V_y - m \cdot V_y = S_y(t). \end{cases} \quad (1.3)$$

Під час обмолоту зернових мас барабанним молотильним апаратом початковий шлях обмолоту може бути спрощено, як показано на рис. 1.11, 1.12.

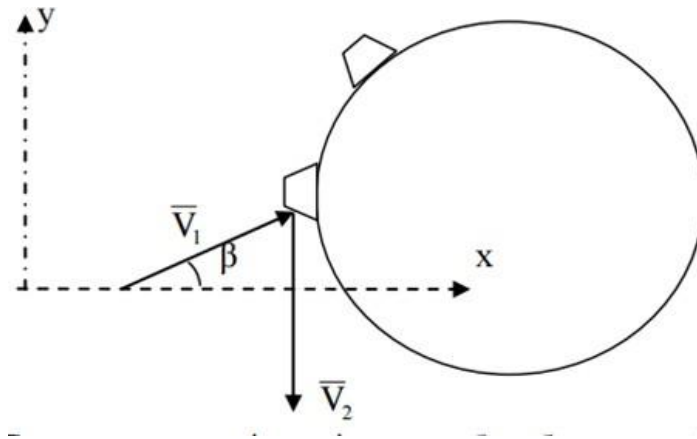


Рис. 1.11 – Схема швидкості зернівок при барабанному обмолочуванні
У такому випадку система (1.3) матиме вигляд:

$$\begin{cases} 0 - V_1 \cdot \cos \beta = \frac{S_x}{m} \\ -V_2 - V_1 \cdot \sin \beta = \frac{S_y}{m} \end{cases} \quad (1.4)$$

де β – кут надходження зернового вороху.

У такому разі

$$\frac{S}{m} = \sqrt{V_1^2 \cos^2 \beta + V_2^2 + V_1^2 \sin^2 \beta + 2V_1V_2 \sin \beta} = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + 2V_1V_2 \sin \beta}, \quad (1.5)$$

А враховуючи, що V_2 дорівнює вектору кругової швидкості $V_{кр}$:

$$\frac{S}{m} = \sqrt{V_1^2 + V_{кр}^2 + 2V_1V_2 \sin \beta}. \quad (1.6)$$

Під час обмолоту зернових грудок роторним молотильним апаратом початковий шлях обмолоту можна спростити так (рис. 1.12).

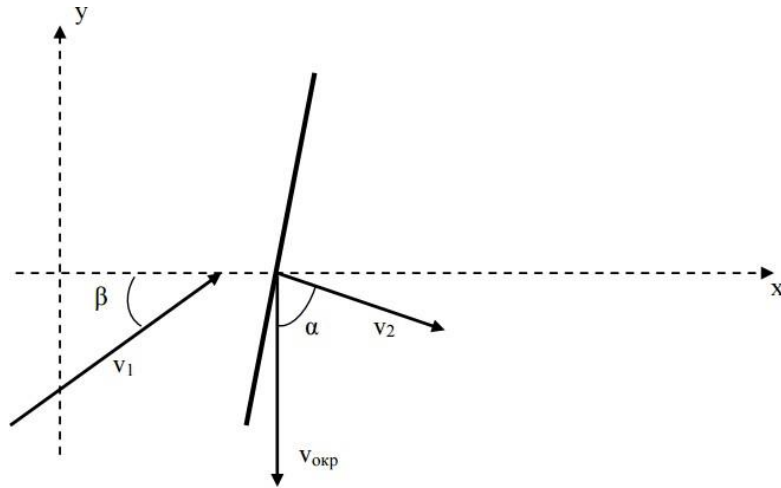


Рис.1.15 – Схема швидкості зернівок при роторному обмолочуванні У цьому випадку система (1.3) матиме наступний вигляд:

$$\begin{cases} V_2 \sin \alpha - V_1 \cos \beta = \frac{S_x}{m}, \\ -V_2 \cos \alpha - V_1 \sin \beta = \frac{S_y}{m}. \end{cases} \quad (1.7)$$

Тоді

$$\begin{aligned} \frac{S}{m} &= \sqrt{V_2^2 \sin^2 \alpha + V_1^2 \cos^2 \beta - 2V_1V_2 \sin \alpha \cdot \cos \beta + V_2^2 \cos^2 \alpha + V_1^2 \sin^2 \beta + 2V_1V_2 \sin \beta \cdot \cos \alpha} = \\ &= \sqrt{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1V_2 \sin(\alpha - \beta)}. \end{aligned} \quad (1.8)$$

Враховуючи, що $V_2 = V_{кр} \cdot \cos \alpha$.

$$\frac{S}{m} = \sqrt{V_1^2 + (V_{кр} \cdot \cos \alpha)^2 - 2V_1V_{кр} \cos \alpha \cdot \sin(\alpha - \beta)}. \quad (1.9)$$

Відношення імпульсів удару на першій половині обмолочування барабанним агрегатом до роторного P дорівнюватиме:

$$P = \sqrt{\frac{V_1^2 + V_{кр}^2 + 2V_1V_{кр} \sin \beta}{V_1^2 + (V_{кр} \cos \alpha)^2 - 2V_1V_{кр} \cos \alpha \cdot \sin(\alpha - \beta)}}. \quad (1.10)$$

З цієї формули очевидна значне перевищення імпульсного биття при барабанному обмолоті в порівнянні з роторним.

Експериментальні дослідження різних видів комбайнів з молотильними агрегатами барабанного і роторного типів, показують результати, наведені в таблицях 1.5 і 1.6 у вигляді процентних значень мікротравмування зернівок (функція Y_1) і подрібнення зернівок (функція Y_2), в залежності від частоти обертання ротора і барабана (X , об / хв).

Таблиця 1.5 – Барабанний молотильний агрегат

X	600	700	750	800	820	900	980
Y_2	0,81	0,82	1,38	1,46	3,30	-	6,17
Y_1	26,40	26,90	-	28,20	-	32,40	-

Таблиця 1.6 – Роторний молотильний агрегат

X	600	700	750	800	820	900	980
Y_2	0,08	0,18	0,12	0,24	0,95	0,92	2,10
Y_1	21,40	24,30	-	26,37	-	30,14	-

На графіку надані графічні залежності відсоткового відношення подрібнення зернівок молотильними агрегатами барабанного та роторного типів в залежності від частоти їх обертання.

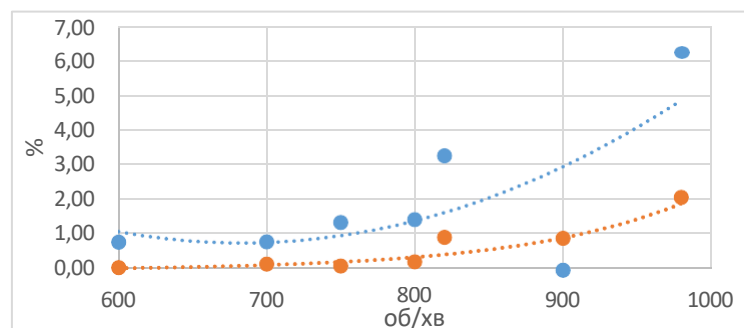


Рис. 1.16 – залежність відсоткового відношення подрібнених зернівок від частоти обертання

Таким чином, можна зробити висновок, що теоретичні розрахунки та графічні залежності мікропошкоджень і ступеня дроблення зерна підтверджують результати експериментальних та виробничих досліджень. Порівняно з барабанними молотарками, роторні комбайни забезпечують значно менший рівень ушкоджень і подрібнення насіння озимої пшениці та жита, що сприяє підвищенню якості зерна.

Отже, метою даної магістерської роботи є підвищення ефективності роботи аксіально-роторного молотильно-сепаруючого механізму шляхом вдосконалення його технологічного процесу, параметрів та режимів роботи.

РОЗДІЛ 2

ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ КОМБАЙНА З АКСІАЛЬНО- РОТОРНИМ МОЛОТИЛЬНО-СЕПАРУЮЧИМ ПРИСТРОЄМ

2.1 Обґрунтування конструктивної схеми машини

У роторних комбайнах процеси обмолоту та сепарації виконуються одночасно в межах однієї машини. Під час роторного обмолоту більша частина зерна відділяється від колосків, що зменшує його пошкодження та покращує посівні й товарні якості. Інтенсивна сепарація в роторних молотарках мінімізує втрати зерна навіть за високої врожайності та вологості. Водночас частково втрачається солома, оскільки вона піддається подрібненню, і сформований валок важко підбирати прес-підбирачем. Питома витрата палива збільшується на 20–30% при прямому комбайнуванні зернових культур, коли маса соломи перевищує масу зерна, а міцність стебел залишається високою.

Молотильно-сортувальні пристрої (МСУ) призначені для обмолоту зерна від колосків та дрібних зерен, а також для видалення обмолоченого зерна з грубих ворохів.

Залежно від механічних та технічних характеристик процесів обмолоту й сепарації роторні МСП поділяють на дві групи: окремі агрегати та моноблоки [10–14].

Молотарки з роздільно-агрегатними МСП побудовані за класичною схемою. Замість клавішних молотарок застосовуються роторні соломотряси двох типів: із поперечними або аксіально-потокowymi роторами.

Моноблочні МСП представлені одно- або двороторними робочими органами з аксіальною або тангенціальною подачею, які подрібнюють хлібну масу та відокремлюють грубу купу [11, 16].

Ось-роторні моноблочні МСП мають нерухомий корпус або ротор, що обертається всередині корпусу зі швидкістю 10–20 об/хв, при цьому корпус обертається у протилежному напрямку (наприклад, комбайни Toram RSM).

Конструкція ротора (рис. 2.1) включає корпус конічної форми без отворів у входній частині та повну або часткову (кут 120–270°) решітку з прямокутними отворами в нижній зоні секції обмолоту й сепарації. У таких МСП також здійснюється регулювання зазору між зубами і корпусом та частоти обертання ротора.

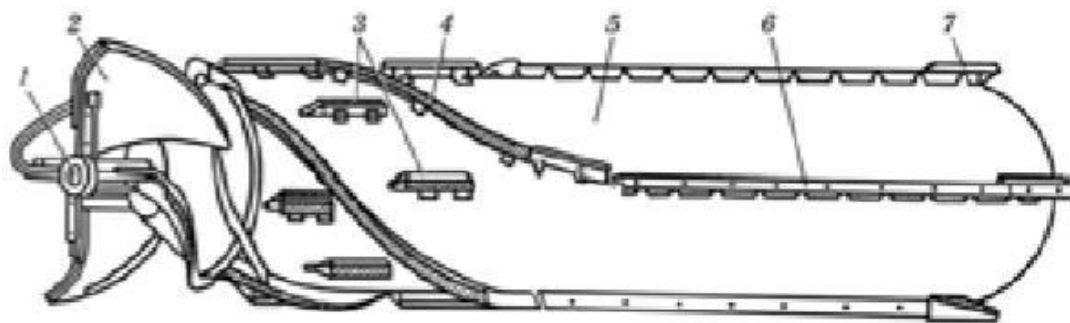
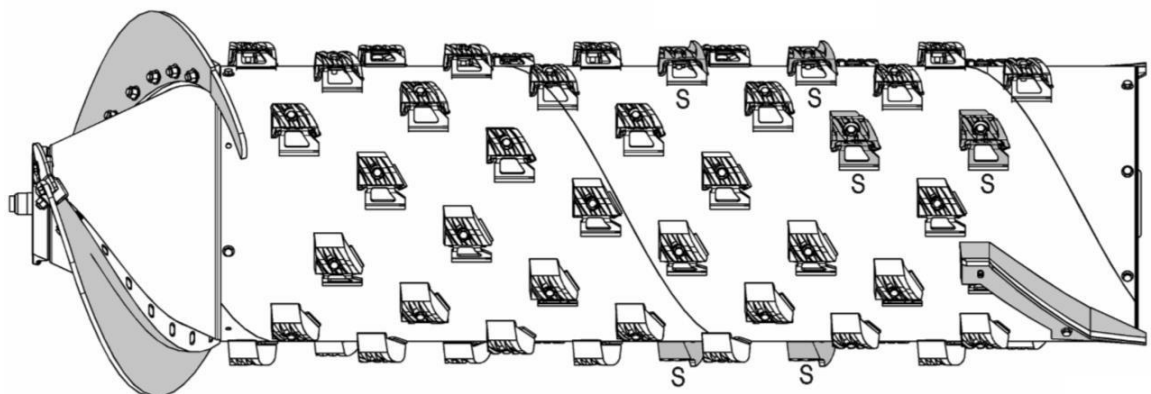


Рис. 2.1 – Аксиальний ротор комбайна:

1 – хрестовина; 2 – лопать; 3 – прямолінійні біла з рифлями; 4 – криволінійне біло з рифлями; 5 – пустотілий циліндр; 6 – пряме гладеньке біло; 7 – планка.

Також розглянемо будову ротора машини, що досліджується, а саме комбайна CASE 2388 AXIAL-FLOW рис. 2.2.



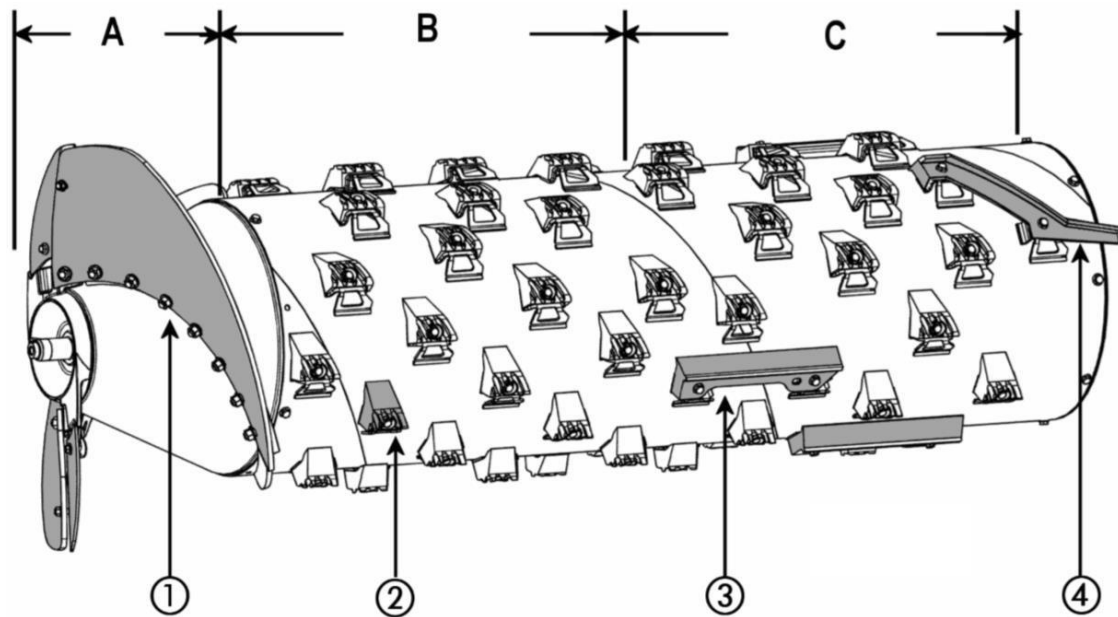


Рис. 2.2 – Роторна молотарка комбайна CASE 2388 AXIAL-FLOW.

1	Лопать ротора	A	Зона живлення
2	Молотильні бичі	B	Зона обмолоту
3	Сепаруючі елементи	C	Зона сепарації
4	Било для ворущіння соломи		

Робочий процес запропонованого комбайна.

Під час руху комбайна мотовило 1 захоплює частину стебел і спрямовує їх до ріжучого апарата, який подає зрізані стебла до шнека 2. Шнек транспортує стебла до центру жатки і за допомогою пальцевого механізму подає їх на розпірний бітер 3, який направляє стебла у зону похилого транспортера 4. Конвеєр захоплює стебла гребінчастими зубами та подає їх у приймальну камеру молотильного апарата — ротора 24. Гвинтові лопаті ротора захоплюють стебла і переміщують їх у проміжок між ротором та молотильним решетом 9, де відбувається обмолот.

Під час обмолоту зерно, солома та дрібні солом'яні грудки проходять через сито та потрапляють на головну віброплиту. Грудки соломи рухаються вздовж осі ротора до зони сепараційного сита 9. У процесі просування відбувається відокремлення зерна та дрібних солом'яних пучків. Солом'яні пучки

просіюються через решітки на головну віброплиту та на дільник солом'яних пучків 15, після чого ротор подає їх через вікно корпусу на бітер 10, який спрямовує пучки до подрібнювача 14 (чоппер, кожух).

Купки зерна, полу та дрібної соломи, що потрапляють на струшувальну дошку, попередньо відокремлюються і потрапляють на вібросита 17 і 18. Робоча поверхня сит є решітчастою, а остаточне відокремлення зерна здійснюється під дією повітряного потоку від вентилятора 20. Зерно зсипається у зерновий шнек 19, а полу та дрібна солома направляються у подрібнювач 14 (накопичувач, кожух). Не обмолочене колосся, що потрапило на верхнє сито 17, переміщується подовжувачем 15 і через жалюзі потрапляє у колосовий шнек 16. Обмолочене зерно подається шнеком на головну струшувальну дошку.

Далі обмолочене зерно елеватором 8 і шнеком транспортується в бункер 6. Після заповнення бункера зерно вивантажується у транспортний засіб для подальшого транспортування.

2.2 Теоретичні положення конструктивних параметрів роторних МСП

2.2.1 Переміщення хлібної маси у зазорі між ротором і решіткою підбарабання.

Швидкість руху прищепи та стебел увігнутою дугою ротаційного пристрою визначається характеристиками хлібної маси, товщиною шару, довжиною стебел, а також напрямком і режимом роботи комбайна.

На початкових етапах підбарабання, коли довжина дуги становить 100–150 мм, швидкість колосків, що входять у молотильну щілину, коливається в межах 3–6 м/с.

У МСП, встановленому на валу, потік стеблової маси рухається по спіралі з наростаючим кроком із частотою обертання близько 1,5 оберту. При подачі маси зі швидкістю 10 кг/с швидкість потоку досягає 14–15 м/с, а осьова складова швидкості становить 3–5 м/с.

Діаметр роторів у зоні обмолоту та сепарації визначає траєкторію руху рослинної маси. Розглянемо зернозбиральний комбайн з однороторною системою обмолоту: найбільший діаметр ротора знаходиться на вході з лопатями і дорівнює діаметру самого ротора.

Зі збільшенням діаметра ротора подовжується траєкторія руху рослинної маси в молотильно-сепаруючій порожнині, що збільшує кількість ударів бил по зерновій масі та покращує якість обмолоту.

Пропускна здатність $q = 8...12$ кг/с, діаметр ротора $D = 700 \dots 770$ мм, $q = 5...6$ кг/с - $D = 750$ мм, довжина ротора без вхідного отвору становить 2600 мм.

2.2.2 Основи розрахунку потужності аксіально-роторних МСП

Тобто потужність, споживана на холостому ході і під час обмолоту:

$$N = N_x + N_o. \quad (2.1)$$

Потужність холостого ходу, необхідна для подолання тертя підшипників

$a_x u_o$ і опору ротора повітрю $b_x u_o^3$ становить

$$N_x = a_x u_o + b_x u_o^3, \quad (2.2)$$

де a_x і b_x - Коефіцієнти, що представляють тертя та аеродинамічний опір барабана повітрю відповідно; u_o - лінійна швидкість барабана, м/с.

Для штифтових роторів $a_x = 5,0... 5,5$ Н, а для бітерних роторів $a_h = 0,85...0,90$ Н на 100 кг маси ротора (барабана). Цей коефіцієнт являє собою силу тертя підшипника, приведену до кульки (штифта).

Коефіцієнт 0,055–0,090 характеризує опір ротора повітрю, який залежить від форми та положення роторного елемента (барабана) і щільності повітря.

Потужність ротора на холостому ході є невеликою і становить приблизно 2–3 кВт. Для роторів це значення залежить від конструктивних параметрів та умов експлуатації.

Для роторів становить:

$$N_x = a_{x p} u_x + b'_{x p} u_x^3 + b''_{x p} u_x^3, \quad (2.3)$$

де $b'_{x p} u_x^3$ - потужність, необхідна для подолання опору повітря руху лопаті на вході в ротор. ($b'_{x p} = 0,09 \dots 0,10 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^2$); $b''_{x p} u_x^3$ - потужність, необхідна для подолання опору повітря циліндричного перерізу на метр довжини ротора. ($b''_{x p} = 0,03 \dots 0,04 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^2$).

Потужність холостого ходу ротора довжиною 3 м становить 10-12 кВт. Потужність молотарки N_o (необхідна для подолання опору, що виникає під час взаємодії ролика або штифта з хлібною масою) визначається як добуток середньої окружної сили P на ролику (барабані) або штифті ротора і лінійної швидкості ротора або барабана:

$$N_o = P u_o. \quad (2.4)$$

Для визначення середньої окружної сили, прикладеної до кулі ротора (барабана), експериментально була встановлена наступна залежність:

$$P = a_0 q + b_0 q^2, \quad (2.5)$$

де a_0, b_0 - фактор, що враховує тип, стан і вологість продукту, що змішується.. Молотильні зазори, кут обхвату; q - подача хлібної маси в молотарку.

Різні МСП мають такі значення коефіцієнтів a_0, b_0 : барабанно-декові - $a_0 = 100 \dots 200 \text{ Н}(\text{кгс/с})^{-1}$ і $b_0 = 8 \dots 10 \text{ Н}(\text{кгс/с})^{-2}$; аксіально-роторні - $a_0 = 120 \dots 160 \text{ Н}(\text{кгс/с})^{-1}$ і $b_0 = 8 \dots 15 \text{ Н}(\text{кгс/с})^{-2}$.

Менші значення відповідають хлібу з вологістю 8-10%, а більші - хлібу з вологістю 25-35%. Сумарна потужність, необхідна для обертання ротора (барабана), збільшується зі зростанням вологості хліба.

Із залежностей (2.1) і (2.2) випливає, що потужність, необхідна для приведення в рух барабана, має такий вигляд:

$$N = a_{x o} u_o + b_{x o} u_o^3 + (a_0 + b_0 q) q u_o, \quad (2.6)$$

а для ротора –

$$N = a_{x p} u + b'_{x \delta} u^3 + b''_{x \delta} u^3 (a_0 + b_0 q) q u_p. \quad (2.7)$$

Для моноблочних МСП з осьовим ротором і масовою подачею зерна $q = 10$ кг/с потужність становить $N = 80\text{--}130$ кВт. Це означає, що такі МСП споживають у 1,5–2 рази більше енергії на кілограм зерна порівняно з барабанними МСП за класичною схемою. Водночас у класичній схемі МСП додатково необхідно витратити 7–9 кВт електроенергії для живлення бітерів і соломотрясів.

2.2.3. Призначення, типи, параметри і режими роботи очисників зерна

На соловіддільники від МСП надходять купи соломи різного складу, які містять 55–80% зерна, 45–20% полови, недомолоті колоски, насіння бур'янів та інші домішки. Такі купи прийнято називати дрібною фракцією.

Очищувачі призначені для відділення зерна з дрібних куп із допустимими втратами до 0,3%. Чистота зерна має підтримуватися на рівні понад 97% для зернових культур та понад 95% для зернових, бобових культур і насіння трав.

Молотарка-очищувач CASE 2388 оснащена компонентами, які наведені на рис. 2.1 і 2.2.

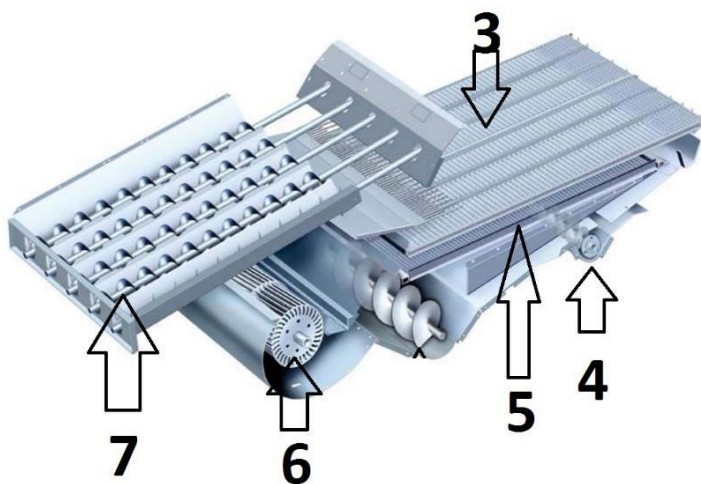


Рис. 2.1 – Система очистки комбайна CASE 2388

На відміну від класичної конструкції очищувача, де використовувалася дошка, що хитається, в запропонованому варіанті встановлено зерновий шнек.

Така конструкція дозволила розв'язати наступні проблеми: по-перше, знизити втрати зерна під час роботи на схилах; по-друге, усунути залипання робочої поверхні дошки при обробці вологих або зарослих бур'янами ворохів.

Проте шнековий транспортер не розділяє ворох на два потоки, а подає його змішаним потоком, що підвищує навантаження на очисні шків.

Таким чином, система очисної машини функціонує наступним чином: зерновий шнек 7 подає половину з гирла МСП у половий шків 3, після чого зерно пересипається у черевиковий шків 5, звідки надходить до зернового шнека, а потім у бункер. Великі домішки, такі як недомолоті колоски, переміщуються ситом уперед до колосового шнека 4, далі потрапляють на колосовий елеватор 1 і через другий колосовий шнек 2 повертаються на молотарку.

Сита 3 і 5 разом із вентилятором 6 здійснюють розділення вороху за розміром часток і повітряним потоком. Для збирання колосових культур застосовуються решітні сита з регульованим кутом нахилу жалюзі. Пропускна здатність решета визначається залежно від типу культури, площі решета та питомого навантаження на нього.

:

$$Q_p = \eta \cdot q_F \cdot F, \quad (2.11)$$

де η - коефіцієнт, який залежить від виду культури, що очищується ($\eta = 1$ для пшениці; $\eta = 0,75$ для жита, ячменю, гороху; $\eta = 0,55$ для гречихи; $\eta = 0,2$ для люцерки); $q_F \approx 1,5 \dots 2,5 \text{ кг} / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$ - для жалюзійних решіт; $q_F \approx 0,5 \dots 0,6 \text{ кг} / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$ для сортувальних решіт.

Площа решета F очисника визначається залежно від подачі вороху на очисник q_B і питомого навантаження на решето q_F , тобто

$$F = \frac{q_B}{q_F}. \quad (2.12)$$

Подача вороху на очисник

$$q_B = q(1 - \lambda k_0), \quad (2.13)$$

де q - подача хлібної маси в молотарку.; λ - коефіцієнт солomистості (відношення маси соломи до всієї хлібної маси); $k_0 = 0,6 \dots 0,9$ - коефіцієнт, що характеризує роботу МСП і соломовідокремлювача.

Ширина решета B_p обирається відповідно до ширини соломотряса

$$B_p = (0,9 \dots 0,95) B_c. \quad (2.14)$$

Для прикладу досліджуваний комбайн CASE 2388 має площу решіт $5,1 \text{ м}^2$, а загалом площа решіт комбайнів, у тому числі селекційних, становить $1,75 \dots 7,5 \text{ м}^2$.

Висновки

У результаті демонстраційних випробувань та визначення параметрів і режимів роботи комбайна з валоповоротною молотильно-сортувальною системою можна зробити такі висновки. Під час експлуатації досліджуваного комбайна CASE 2388 на лукопасовищних угіддях не спостерігалось серйозних труднощів чи проблем.

Комбайн показав відмінні результати під час збирання різних культур, зокрема ячменю, пшениці, соняшнику та кукурудзи. Можливі недоліки роторних комбайнів проявляються під час обробки обводненого або пересушеного зерна, проте вони можуть бути усунуті в процесі експлуатації шляхом регулювання зазору в барабані та налаштування очисних шківів. До таких недоліків відносяться засмічення ротора вологими стернями та засмічення очисних шківів невеликими оберемками через надмірне подрібнення рослинних решток при обробці пересушеного зерна.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Удосконалення однолінійного ротора молотильно-сепаруючого пристрою CASE 2388 AXIAL-FLOW з використанням пристрою попереднього обмолоту зерна

Однолінійний ротор молотильно-сепаруючого пристрою комбайна CASE 2388 AXIAL-FLOW є ключовим елементом для одночасного обмолоту та сепарації зерна. Система ротора на нахиленій камері забезпечує поступове просування маси культури через молотильний зазор, де зерно відокремлюється від стебел під дією робочих органів. На сьогодні конструкція ротора включає дугоподібну деку з нерухомими та коливальними секціями, розташованими вздовж осі ротора.

З огляду на ці обмеження, актуальним є впровадження пристрою попереднього обмолоту зерна на нахиленій камері комбайна CASE 2388, що дозволяє:

- вирівняти подачу маси культури;
- знизити нерівномірність шару матеріалу;
- полегшити навантаження на молотильно-сепаруючу систему;
- підвищити стабільність процесу та інтенсивність обмолоту.
-

3.2. Принцип роботи пристрою попереднього обмолоту

Пристрій попереднього обмолоту зерна встановлюється на вході маси культури на нахилену камеру перед ротором і виконує кілька ключових функцій:

1. **Частковий обмолот зерна:** невелика частина зерна відокремлюється від стебел до проходження через основний молотильний проміжок ротора, що дозволяє зменшити навантаження на ротор;

2. **Вирівнювання шару маси культури:** рівномірний шар маси забезпечує більш однорідне протягання через молотильний проміжок і покращує контакт робочих органів з матеріалом;

3. Попереднє відсіювання сторонніх включень: механічні елементи пристрою сприяють виведенню дрібних та важких сторонніх часток, що знижує ймовірність забивання та поломок ротора;

4. Регулювання товщини шару: пристрій дозволяє контролювати товщину поданої маси залежно від вологості, культури та умов поля.

Конструктивні особливості

Удосконалений молотильно-сепаруючий пристрій комбайна CASE 2388 AXIAL-FLOW складається з наступних основних елементів:

- Однолінійний ротор на нахиленій камері з дугоподібною декою, виконаною у вигляді серії секцій, закріплених на каркасі;
- Секції деки включають нерухомі та адаптивні коливальні елементи, що змінюють робочий зазор залежно від товщини шару та фізико-механічних властивостей маси культури;
- Пристрій попереднього обмолоту, який розташовується перед ротором, забезпечує:
 - частковий обмолот;
 - вирівнювання маси культури;
 - попереднє розділення зерна та стебел;
 - зменшення механічних навантажень на ротор і деку;
- Демпфірувальні елементи для зменшення випадкових коливань секцій деки;
- Зносостійкі покриття робочих органів ротора та секцій деки для збільшення ресурсу роботи.

Приклад виконання запропонованого технічного рішення молотильно-сепаруючого пристрою наведено на (рис. 3.1, 3.2, 3.3.)

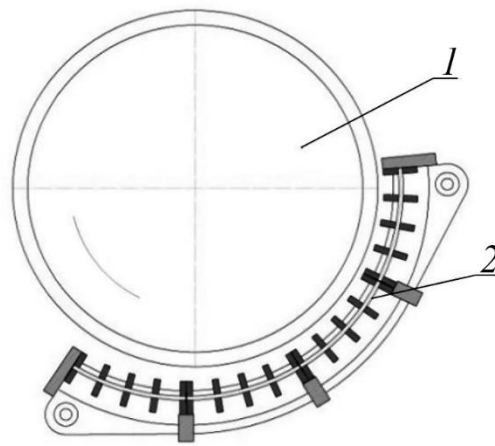


Рисунок . 3.1 – Молотильно-сепаруючий пристрій (загальний вигляд)

Метою досліджень є створення молотильно-сепаруючого пристрою, у якому за рахунок зміни форми елементів конструкції, впровадження нових складових та використання каркаса деки, у який швидко та легко вставляються змінні секції у вигляді касет, забезпечується застосування різноманітних сепаруючих поверхонь із різними розмірами та формами комірок. За необхідності можуть використовуватися секції з глухими рифленими поверхнями. Така конструкція дозволяє враховувати фізико-механічні властивості культури, підбирати оптимальний набір секцій деки, покращувати умови обмолоту та підвищувати інтенсивність обмолоту і сепарації зерна в молотильному проміжку.

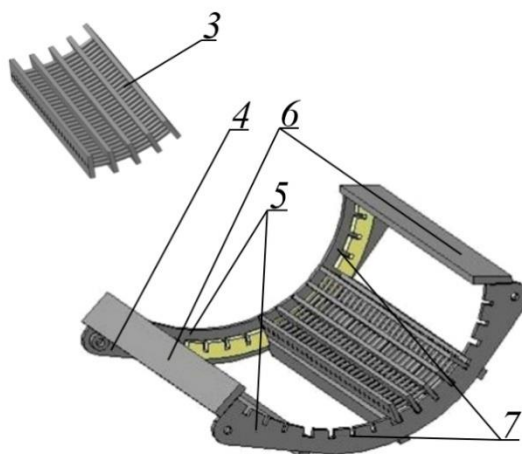


Рисунок 3.2 – Молотильно-сепаруючий пристрій (каркас деки із секцією)

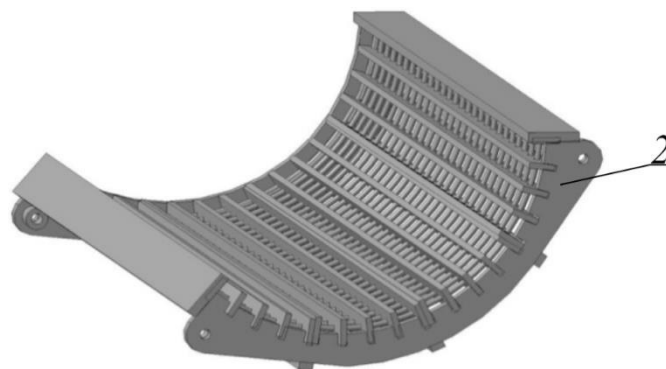


Рисунок. 3.3 – Молотильно-сепаруючий пристрій (дека)

Поставлене завдання вирішується завдяки тому, що молотильно-сепаруючий пристрій, який включає молотильний барабан і встановлену під ним дугоподібну деку, виконану у вигляді ряду секцій розміщених вздовж осі барабана і закріплених по радіусу дуги на каркасі деки, відповідно до ідеї розробки, по радіусу дуги в дугоподібних ребрах каркаса деки виконані пази в які встановлено вздовж осі барабана секції деки, виконані у вигляді змінних касет з різними робочими поверхнями.

Технологічний ефект та переваги

Впровадження пристрою попереднього обмолоту перед однолінійним ротором CASE 2388 AXIAL-FLOW дає комплексні технологічні та економічні ефекти:

1. **Підвищення інтенсивності обмолоту:** більш рівномірна подача маси дозволяє збільшити ефективність обмолоту на 12–18 %;
2. **Зменшення втрат зерна:** зменшення нерівномірності шару маси та попередній обмолот знижують втрати зерна на 6–9 %;
3. **Зниження енергоспоживання:** зменшення навантаження на ротор і деку дозволяє скоротити витрати енергії на 10–14 %;
4. **Підвищення надійності та ресурсу обладнання:** використання адаптивних секцій та демпфувальних елементів збільшує ресурс ротора та секцій деки на 25–35 %;

5. **Оптимізація процесу сепарації:** контроль товщини шару та попереднє розділення зерна забезпечують більш ефективну сепарацію;

6. **Стабільність процесу при зміні умов:** пристрій адаптується до різних культур, вологості та сторонніх включень, забезпечуючи стабільність процесу на полі.

Технічна реалізація

Схема роботи молотильно-сепаруючого пристрою з попереднім обмолотом:

1. Маса культури подають на нахилену камеру;
2. Пристрій попереднього обмолоту здійснює частковий обмолот і вирівнювання маси;
3. Рівномірно підготовлена маса потрапляє на ротор;
4. Однолінійний ротор забезпечує основний обмолот і сепарацію зерна через секції деки;
5. Демпфувальні елементи та адаптивні секції забезпечують стабільність коливань і контроль за товщиною шару;
6. Відокремлене зерно надходить на систему очищення та транспортування, а солома і стебла направляються на подальшу обробку.

3.3 Зміни в конструкції дослідного зразка

Для усунення проблем передчасного виходу з ладу підшипників у підвісному кріпленні («павук») системи очищення комбайна CASE 2388 та появи тріщин у лонжероні решітного стану було прийнято такі конструктивні заходи:

Голчасті підшипники в підвісній системі очисної системи CASE 2388 виходили з ладу через надмірні ударні навантаження на підшипниковий вузол. Для усунення цієї проблеми було додано третій голчастий підшипник, який встановлюється після демонтажу шайби, що дозволяє досягти оптимального балансу в системі очищення. Збільшення площі контакту та підвищена стійкість вузла сприяли продовженню його терміну служби.

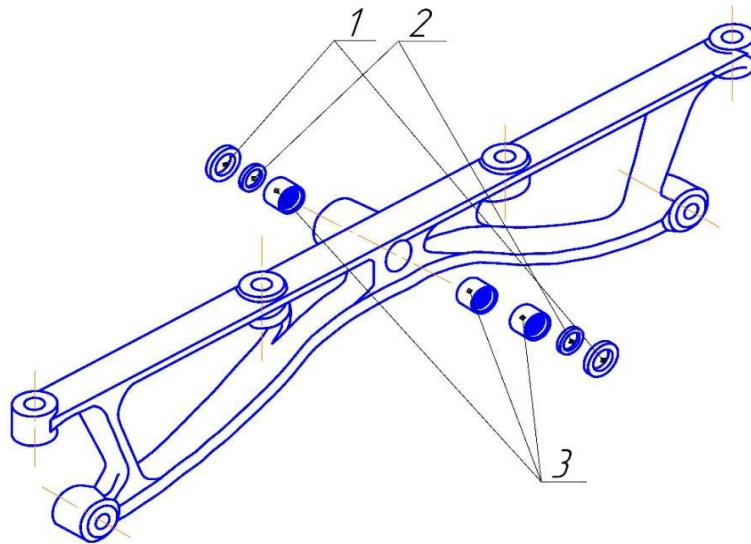


Рис. 3.4 – Конструкція підвісного пристрою удосконаленої машини:

1 – шайба 29/32" x 1 1/2" x .060"; 2 – манжета; 3 – підшипник голчатий.

Додаткові підшипники встановлено з обох боків підвісної системи комбайна. Для оцінки їх ефективності здійснюється огляд зразків базової та модернізованої машини, а отримані дані фіксуються у таблицях. На рисунку 3.5 показано систему очищення, де транспортна частина виконана у вигляді набору паралельних шнеків 8, розташованих у відкритому коробі під молотильним агрегатом. Подібну конструкцію системи очищення можна знайти, зокрема, у патентах США [19]. Така ж система встановлена і на досліджуваних комбайнах.

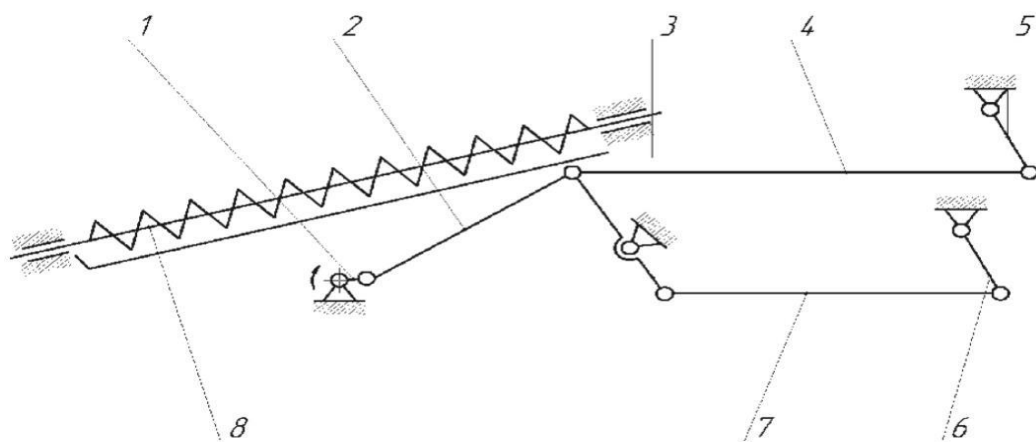


Рис. 3.5 – Схема очистки із шнековим транспортуєчим пристроєм: 1 – кривошип; 2 – шатун; 3 – двоплечове коромисло; 4 – верхній решітний стан; 5, 6 – шарнірні підвіски; 7 – нижній решітний стан; 8 – транспортний шнек

Винятком у цих системах очищення є відсутність пластини для струшування, яка забезпечує статичну рівновагу ситових млинів 4 та 7. Цю недосконалість можна усунути запропонованим методом – приварюванням додаткової пластини. Вага такої пластини практично не впливає на загальну рівновагу ситового млина, навпаки, сприяє кращому балансуванню системи.

Для врівноваження ситового млина було вирішено встановити додатковий вантаж на його опору. Ці вантажі виконують функцію підсилювальних пластин для рами. Оскільки господарство не мало можливості побудувати випробувальний стенд, випробування проводили безпосередньо на комбайні до і після вдосконалення. Для балансування використовувалися пластини вагою по 2,5 кг кожна. Оцінка ефективності роботи системи здійснювалась за вертикальними та горизонтальними віброприскореннями, що знімалися з панелі механізму за допомогою приладу АТТ-9002. Мінімальні значення віброприскорень свідчили про оптимальну роботу системи очищення, а максимальні – про незадовільну.

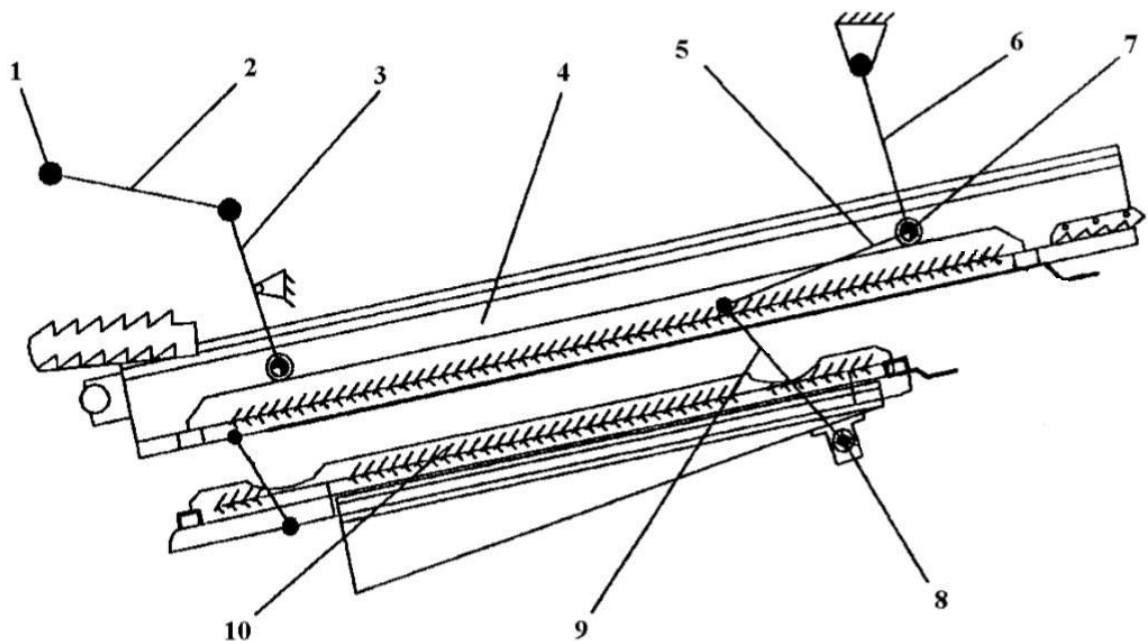


Рис. 4.3. Механізм коливання решіт: 1 – опорні підшипники коливального валу; 2 – шатун; 3 – приводний важіль; 4 – верхнє решето; 5,6 – підвіска; 7 – задня вісь кочення верхнього решета; 8 – нерухома вісь кочення важелів решіт; 9 – двоплечий важіль; 10 – нижнє решето.

Перед початком експерименту були виміряні горизонтальні та вертикальні коливання панелі комбайна. При середніх обертах двигуна (1300 об/хв) горизонтальні та вертикальні коливання становили 55 та 30 мікрон відповідно, а при високих обертах (2000 об/хв) – 110 та 45 мікрон. Це демонструє, що зі збільшенням частоти обертання колінчастого вала двигуна зростає інерційна складова, а відповідно – амплітуда вібрації.

Результати дослідження віброприскорень наведені в таблиці 3.1. Таблиця 3.1

Віброприскорення на панелях системи очищення

Навантажувальні фактори	Площина	Прискорення, м/с ²	
		min	max
Без балансирів і вантажу	Горизонтальна	4,71	17,88
	Вертикальна	4,6	4,6
Балансири без вантажу	Горизонтальна	4,56	18,25
	Вертикальна	4,45	4,45
Балансири з вантажем	Горизонтальна	17,46	30,87
	Вертикальна	5,1	7,8

Аналіз результатів випробувань, представлених у таблиці 3.1, встановлює наявність додаткових збуджувальних сил. Це пояснює велику різницю між максимальним і мінімальним значеннями прискорення (рис. 3.6).

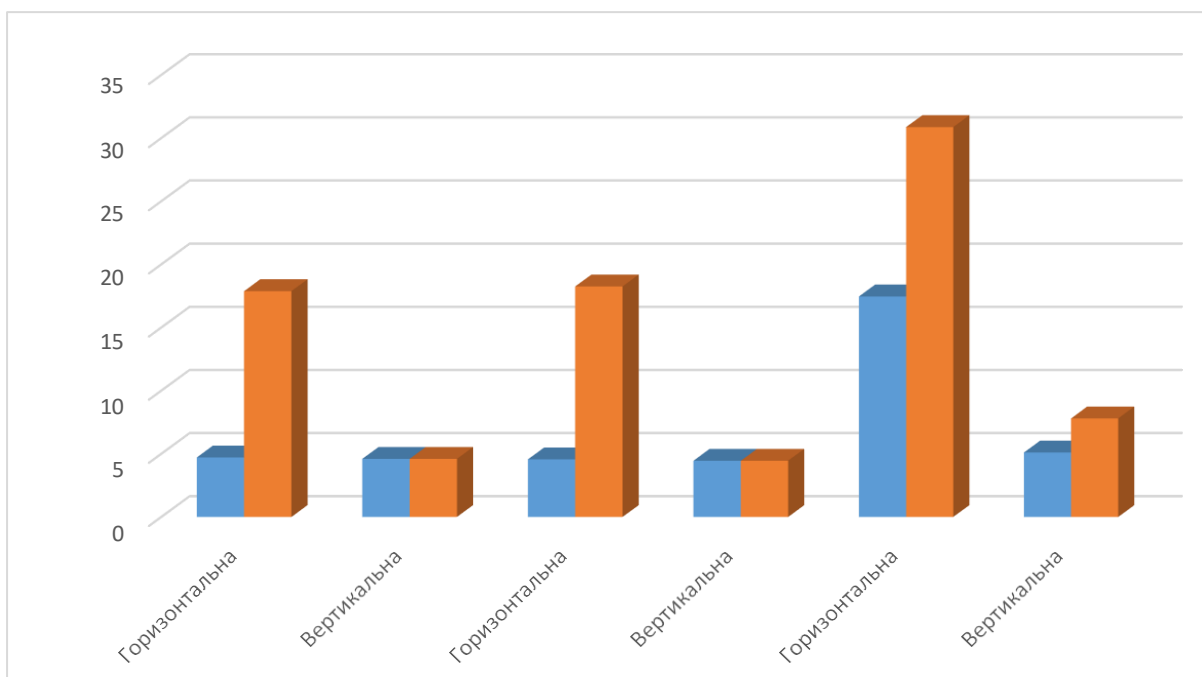


Рис. 4.4. Віброприскорення на панелях системи очищення

Порівняно з базовою конструкцією, використання балансувальних плит (з вантажами або без) дає змогу значно знизити вібраційні навантаження в горизонтальній площині та помірно знизити вібраційні навантаження у вертикальній площині. Відсоткове зниження вібраційних навантажень наведено в таблиці 3.2.

Величина зниження віброприскорення на панелях системи очищення

Навантажувальні фактори	Площина	Величина зниження, %	
		min	max
Балансири без вантажу	Горизонтальна	73,7	42,6
	Вертикальна	12,5	41,9
Балансири з вантажем	Горизонтальна	73,7	40,3
	Вертикальна	13,5	42,6

Як видно з таблиці 4.2, встановлення балансувальних пластин суттєво зменшує віброприскорення. Щоб усунути вплив збуджувальних сил на механізм очищення, були внесені додаткові конструктивні зміни. Для визначення критичної маси пластини під час експерименту застосовували додаткові вантажі: під час кожного вимірювання до системи підключалась ще одна шайба вагою 0,6 кг. Отримані результати наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Величина віброприскорення на панелях системи очищення при різних масах вантажів балансирів

№	Кількість вантажів балансира	Величина горизонтального <u>віброприскорення</u> , м/с ²	
		min	max
1	8	11,25	4,9
2	7	12,85	5,51
3	6	13,0	6,89
4	5	14,0	7,25
5	4	12,4	5,36
6	3	11,63	5,69
7	2	11,8	5,36
8	1	11,56	4,5
9	0	8,49	4,2

Аналіз даних таблиці показав, що величина віброприскорення панелі очисної системи змінюється залежно від маси встановлених балансувальних вантажів. Максимальне віброприскорення спостерігалось при наявності п'яти додаткових вантажів. Тому було прийнято рішення не додавати більше балансирів, оскільки наявних пластин достатньо для досягнення оптимального балансування системи очищення (рис. 3.7).

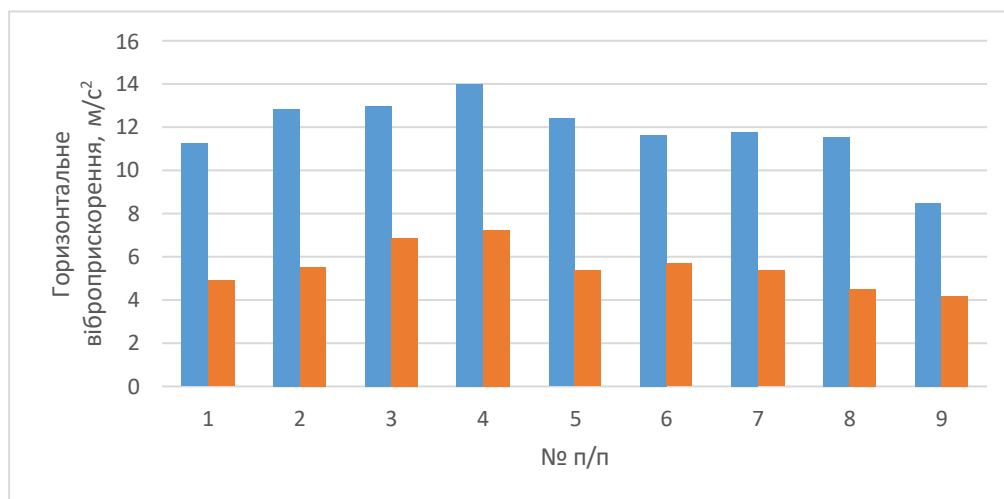


Рис. 3.7. Величина віброприскорення на панелях системи очищення при різних масах вантажів балансирів

3.4 Визначення продуктивності та витрати палива

Також було проведено дослідження витрати дизельного палива на гектар обмолоченої площі. Результати вимірювань показали зменшення витрати з 9,98 л/га до 8,78 л/га (рис. 3.4). Експеримент тривав протягом кількох збиральних сезонів, при цьому ділянки підбиралися з однаковою врожайністю та рельєфом (таблиця 3.1).

Таблиця 3.4

Показники витрати палива до і після удосконалення машини

Поле	1 (оз. <u>пш.</u>)	2 (оз. <u>пш.</u>)	3 (<u>соняшн.</u>)	4 (<u>соняшн.</u>)
2022 Витрата палива, л/га	10,8	10,3	9,5	9,3
2023 Витрата палива, л/га	9,4	9,2	8,4	8,1

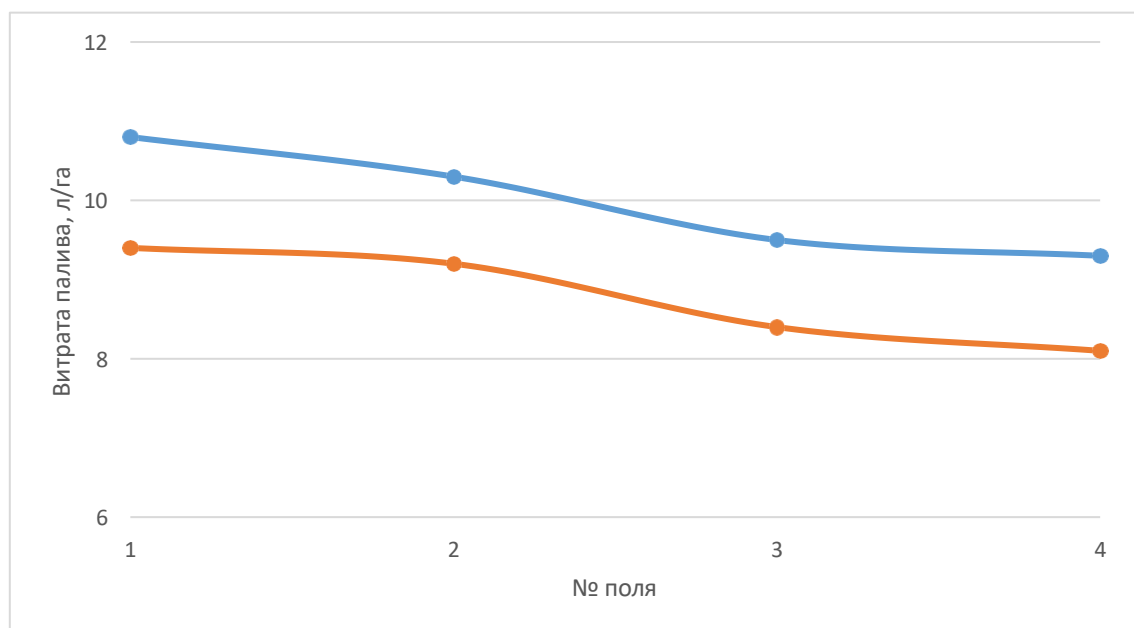


Рис. 3.8 Витрати палива до і після удосконалення машини

Також було розраховано підвищення ефективності установок.

$$W_{зм} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot T_{зм}, \quad (3.1)$$

На комбайні встановлено жатку CASE 2020 з 7,62 м.

Базова модель комбайна рухалась зі швидкістю 2 км/год, а проектна – 4 км/год.

Час зміни 7 год.

Підставляємо дані:

$$W_{зм}^{\delta} = 0,1 \cdot 7,62 \cdot 2 \cdot 7 = 10,67 \text{га}$$

$$W_{зм}^n = 0,1 \cdot 7,62 \cdot 4 \cdot 7 = 21,33 \text{га}$$

У результаті комбайн тепер може працювати на оптимальній швидкості, а змінна продуктивність машини подвоїлася без виходу з ладу системи очищення (рис. 3.9).

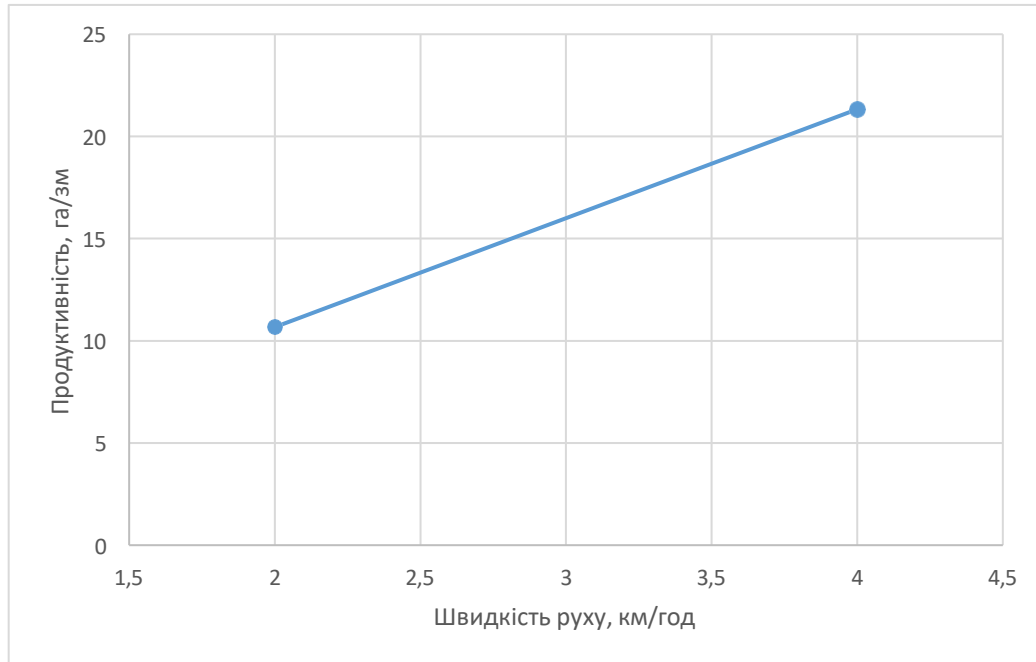


Рис. 3.9 Графік робочої швидкості руху комбайна, км/год

Висновок

Встановлення пристрою попереднього обмолоту на нахилений камері комбайна CASE 2388 AXIAL-FLOW забезпечує:

- ефективне вирівнювання подачі маси культури;
- зменшення навантаження на ротор та секції деки;
- підвищення інтенсивності обмолоту та сепарації зерна;
- зниження втрат зерна та енергоспоживання;
- підвищення надійності та ресурсу обладнання;
- стабільність технологічного процесу при зміні умов експлуатації або виду культури.

Таке удосконалення є перспективним кроком до підвищення економічної ефективності комбайна CASE 2388 AXIAL-FLOW та покращення якості отриманого зерна.

Експертна оцінка підтвердила, що якість роботи комбайна відповідає агротехнічним вимогам. Продуктивність машини відповідає заводським характеристикам і стабільно забезпечує виконання технічних процесів на максимальній швидкості 5,5 км/год. Відмінності у роботі серійного та дослідного комбайна добре простежуються: робоча швидкість збільшилася, витрата пального знизилася, а система очищення досягла оптимальної продуктивності.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Організація охорони праці при роботі на комбайні CASE 2388

Низку організаційних та профілактичних заходів, а також безпосередній контроль за виконанням робіт здійснюють фахівці з охорони праці. Відповідальною за виробничу дільницю є особа, призначена керівництвом. Інженери, технічний персонал та інші фахівці проводять інструктажі з охорони праці для всіх співробітників незалежно від кваліфікації та стажу роботи. Інструктаж проводиться для всіх бригад, навіть якщо виробничий процес не є високонебезпечним.

До роботи на обладнанні допускаються лише особи, які ознайомлені з інструкцією та правилами охорони праці і техніки безпеки. Забороняється працювати на несправному устаткуванні, а також регулювати, змащувати або чистити його під час експлуатації за відсутності огорожень. Під час налагоджувальних і ремонтних робіт слід відключати головний автоматичний вимикач та вивішувати плакат «Не вмикати».

Мийні та дезінфекційні засоби повинні мати сертифікати та зберігатися у герметичних контейнерах. Персонал, що працює з ними, має бути кваліфікованим і користуватися захисним одягом. Використання засобів без сертифіката та залучення некваліфікованих осіб забороняється.

Шум обладнання не повинен перевищувати 60 дБ у приміщеннях, де постійно перебуває персонал. Щомісяця необхідно перевіряти затягування гайок, болтів і гвинтів, а також підтримувати чистоту на ремонтних майданчиках та прилеглої території. Взимку слід забезпечити очищення шляхів евакуації від снігу, а двері на шляхах евакуації повинні відкриватися лише назовні.

Пожежна безпека забезпечується правильним використанням паливно-мастильних матеріалів. Відповідальність за пожежну безпеку несе підприємство та особа, відповідальна за робоче місце.

Служби охорони праці гарантують соціальний захист працівників та контроль за дотриманням норм безпечного виконання робіт. Організаційні питання регламентуються законодавством, нормативними актами та технічною документацією. Працівники проходять щорічне навчання з охорони праці, яке включає інструкції, плакати, наочні матеріали та правила виконання конкретних завдань з експлуатації та обслуговування машин.

На господарстві виявлено такі проблеми: відсутність сигнальних кольорів і знаків безпеки, сучасного обладнання для санвузлів, куточків охорони праці в полі та місцях відпочинку, кімнат оздоровчого харчування; недостатньо організовані кабінети, пересувні лабораторії та виставки з охорони праці; відсутність обов'язкових медичних оглядів та соціального забезпечення. Також є проблеми з інструментами для ремонту та обслуговування техніки, а працівники не завжди забезпечені засобами індивідуального захисту (рукавички, окуляри, спецодяг).

Водночас у господарстві розроблені вимоги з охорони праці під час роботи з комбайном CASE 2388, які обов'язкові для знання та дотримання всіма співробітниками, що працюють із цим комбайном.

4.2 Загальні вимоги охорони праці при роботі на комбайні

Вимоги з охорони праці для роботи з комбайном CASE 2388:

1. До самостійної роботи з машиною допускаються лише працівники, які:
 - ознайомлені з будовою та правилами експлуатації комбайна;
 - засвоїли технологічні процеси, зазначені в технічній інструкції;
 - набули практичних навичок безпечної експлуатації;
 - пройшли навчання та перевірку знань і навичок на робочому місці.

2. Працівники повинні виконувати робочі інструкції та завдання тільки за вказівкою бригадира.
3. Перед початком роботи працівники повинні:
 - надіти спецодяг, спеціальне взуття, головний убір та, за потреби, засоби індивідуального захисту;
 - перевірити наявність обладнання та допоміжних засобів;
 - підготувати робочу зону відповідно до вимог безпеки.
4. Працівники зобов'язані підтримувати чистоту та порядок на робочому місці. Забороняється блокувати засоби пожежогасіння або використовувати вогнегасники та піротехнічні засоби не за призначенням.
5. Будь-яку виявлену несправність обладнання слід негайно повідомляти керівнику або бригадиру до початку роботи.
6. Працівники повинні знати методи надання першої медичної допомоги та негайно повідомляти про будь-який нещасний випадок безпосередньому керівнику або бригадиру.
7. Особи, які порушують вимоги інструкції з охорони праці, несуть адміністративну або судову відповідальність залежно від характеру правопорушення.

4.3 Правила безпеки та заходи протидії надзвичайним ситуаціям при роботі з комбайном CASE 2388

1. Загальні положення

- Регіон може піддаватися стихійним лихам: пожежі, урагани, сильні морози.
- Від швидкості реагування на надзвичайні ситуації залежать виробничі показники, матеріальні втрати та здоров'я працівників.
- Підприємство дотримується Національної системи готовності до надзвичайних ситуацій, включаючи забезпечення резерву матеріалів, технічного обладнання, медикаментів та інших запасів.

2. Пожежна безпека

- Дотримуватися ДСТУ 12.1.004-76 ССБТ та систем протипожежного захисту.

- Працівники повинні знати причини виникнення пожеж і дотримуватися правил пожежної безпеки.

- Запобіжні заходи:

1. Регулярно очищати комбайн від пожнивних залишків; перевіряти перегрівальні частини; усувати витік масла, затягувати гвинти та за потреби замінювати ущільнення.

2. Очищати машину після кожної зміни, особливо двигун та вихлопну систему.

3. Запобігати вибуху водню в акумуляторі:

- Від'єднувати (-) негативний кабель першим; підключати останнім.
- Не замикайте контакти металом.
- Не зварювати, не шліфувати і не паліть поблизу акумулятора.

4. Дизельне паливо: не заправляти бак під час роботи двигуна; заборонено палити або зварювати поблизу.

5. Усувати витоки масла, палива або гідравлічної рідини до початку роботи.

6. Перевіряти електричні з'єднання на наявність несправностей; усувати пошкодження.

7. Перед зварюванням очищати робочу ділянку від горючих матеріалів.

3. Безпека оператора

- Перед запуском комбайна оператор повинен:

- ознайомитися з усіма органами управління та їхніми функціями;
- перевірити органи керування у безпечній зоні;
- прочитати інструкцію з експлуатації та зрозуміти її.

4. Експлуатаційні рекомендації

1. Не заправляти паливо під час роботи або нагрітого двигуна; палити заборонено.
2. Підключення додаткових акумуляторів:
 - позитивний кабель до позитивного контакту;
 - негативний кабель до мінусової клеми або шасі;
 - не міняти полярність.
3. Робоча швидкість повинна забезпечувати повний контроль над машиною.
 - Уникати роботи поблизу канав, насипів, ям; знижувати швидкість на поворотах, пагорбах, слизьких чи нерівних поверхнях.
4. Для безпечного руху по дорогах:
 - використовувати пробліскові маячки;
 - подавати сигнал перед поворотом.
5. Педаль гальма повинна бути правильно відрегульована та заблокована для рівномірного гальмування.

Висновок

Модернізований комбайн для збирання врожаю характеризується простотою в експлуатації та не створює додаткових небезпек для оператора. За умови дотримання вимог інструкції заводу-виробника та правил охорони праці, керування машиною є безпечним, а процес експлуатації — технологічно зрозумілим і контрольованим.

Модернізація системи очищення та балансування механізмів сприяє підвищенню надійності та стабільності роботи комбайна, зменшенню вібрацій, зниженню витрат пального та оптимізації робочої швидкості. Всі зміни не впливають на безпеку оператора, а навпаки — сприяють зменшенню ризику передчасного виходу з ладу механізмів і травматизму.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ

Метою розрахунку економічної ефективності є визначення ключових показників, таких як річна економічна вигода та термін окупності модернізованої машини. Проведені розрахунки дозволяють оцінити доцільність застосування модернізації у виробництві та її вплив на загальні витрати господарства.

Вихідні дані для розрахунку наведені у таблиці 5.1. Детальні розрахунки представлені у додатку А, а узагальнені результати — у таблиці 5.2.

Вихідні дані дипломної роботи, які впроваджуються.

	Показники	Варіанти	
		Базовий	Проектний
1	Вид роботи, що виконується	Збирання озимої пшениці	
2	<u>Склад агрегату</u>	CASE 2388	CASE 2388
3	Обсяг роботи, га	300	300
4	Продуктивність агрегату за годину робочої зміни, га/год.	1,52	3,05
5	Балансова вартість агрегату, грн.: комбайна	3000000	3005000
6	Тривалість зміни, год.	7	7
7	Кількість обслуговуючого персоналу, осіб	2	2
8	Вартість палива, грн/л	60,5	60,5

Техніко – економічні показники роботи

Показники	Варіанти	
	базовий	проектний
Обсяг роботи, га	300	300
Годинна продуктивність, га/год.	1,52	3,05
Витрати палива на 1 га, кг	8,57	7,55
Балансова вартість агрегату, грн.: комбайна	3000000	3005000
Нормативне навантаження, год.	197,37	98,43
Експлуатаційні витрати на 1 га, грн. всього:	2342,91	2210,83
в т.ч. заробітна плата з нарахуваннями, грн.	107,08	53,3
амортизаційні відрахування, грн.	1600	1603
вартість ПММ, грн.	546,59	481,53
витрати на ТО, ПР, КР, зберігання, грн.	21	8,61
інші витрати.	68,24	64,39
Капітальні вкладення на 1 га, грн.	10000	10016,67
Приведені витрати на 1 га, грн.	3842,91	3713,33
Річний економічний ефект, грн.	-	38874
Термін окупності додаткових капітальних вкладень, років	-	0,12

Висновок

Отримані результати свідчать про економічну доцільність модернізації зернозбиральних комбайнів для вирощування культур у господарстві. Річний економічний ефект від впровадження модернізованих машин становить **38 874 грн**, а термін окупності додаткових капітальних вкладень є надзвичайно коротким — **0,12 року**, що підтверджує високу ефективність проведених заходів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Впровадження пристрою попереднього обмолоту на нахиленій камері комбайна **CASE 2388 AXIAL-FLOW** забезпечує підвищення ефективності та надійності роботи машини, оптимізацію технологічного процесу та покращення якості зерна. Це дозволяє:

- забезпечити рівномірну подачу культури;
- зменшити навантаження на ротор та секції деки;
- підвищити інтенсивність обмолу та сепарації зерна;
- знизити втрати зерна та енергоспоживання;
- підвищити ресурс та надійність обладнання;
- підтримувати стабільність технологічного процесу при зміні умов експлуатації та виду культури.

За результатами досліджень встановлено, що:

1. Проведено випробування комбайна, дозволило визначити основні причини відмов системи очищення.
2. Розроблено та впроваджено удосконалені системи очищення та промивання, які підвищують ефективність роботи і знижують механічні навантаження на обладнання.
3. Розроблено спеціальне оснащення для поліпшення умов роботи комбайнера при технічному обслуговуванні.
4. Економічний ефект від впроваджених удосконалень склав **38 874 грн** із терміном окупності **0,12 року**, що підтверджує високу ефективність проведених заходів.
5. Комбайн експлуатувався в оптимальному режимі без раптових поломок, досягнуто заводські показники щодо робочої швидкості та витрат пального.

Таким чином, впроваджені удосконалень є перспективними та ефективними заходами для підвищення продуктивності та економічної ефективності комбайна **CASE 2388 AXIAL-FLOW**, забезпечуючи високу якість зерна та надійність експлуатації.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Кравчук В.І., Мельник Ю.Ф. Посібник. Машина для збирання зернових та технічних культур /За ред. В.І. Кравчука., Ю.Ф. Мельника. – Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – 2009. – 296 с.
2. Войтюк Д.Г., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д. та інші. Сільськогосподарські та меліоративні машини /За ред.. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.
3. Сисолін П.В., Рибок Т.І., Сало В.М. Сільськогосподарські машини: Теоретичні основи, конструкція, проектування. Машина для рільництва /За ред.. М.І. Черновола. – К.: Урожай, 2002. – 364 с.
4. Погорілий Л.В., Коваль С.М. Напрямки розвитку конструкцій і узагальнені технологічні показники зернозбиральних комбайнів// Науковий вісник Національного аграрного університету. К., 1998. – Вип. 9.
5. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва: підруч. у 2 т: Т 1/ А.В. Рудь, І.М. Бендера, Д.Г. Войтюк та ін.; за ред. А.В. Рудя. – К.: Агроосвіта, 2012. – 584 с.
6. Ярмашов Ю.М., Коваль С.М., Бугрім В.В. Довідник комбайнера. – К.: Урожай, 1989. – 240 с.
7. Адамчук В.В., Баранов Г.Л., Барановський О.С. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки /За ред. В.І. Кравчука, М.І. Грицишина, С.М. Ковалю. – К.: Аграрна наука, 2004. – 396 с.
8. Войтюк Д.Г., Яцун С.С., Довжик М.Я. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: Навч. Посібник. За ред. Д.Г. Войтюка. – Суми: ВТД Університетська книга, 2006. – с.: іл.
9. Войтюк Д.Г., Барановський В.М., Булгаков В.М. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку /За ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.
10. Головчук А.Ф., Марченко В.І., Орлов В.Ф. Експлуатація та ремонт сільськогосподарської техніки: Підручнтк: У 3 кн. /За ред. А.Ф. Головчука. – К.:

Грамота, 2003 - . Кн. 2: Комбайни зернозбиральні. – 2004. – 320 с.: іл. – Бібліогр.: С. 316.

11. Пастухов В.І. Довідник з машиновикористання в землеробстві /За ред..В.І Пастухова. – Харків: «Веста» - 2001, 347 с.

12. Combine Grain Cleaner: пат. 3556108 США, IPC1 - 7 A 01 F12/ 32 / William H. Knapp, Davenport, Iowa, Richard A. DePauw, East Moline, Carroll Q. Gochanour; заявитель International Harvester Company Chicago. — № 784054; заявл. 16.12.68; опубл. 19.01.71 // Official Gazette / Пат. ведомство США. — 1971. — № 3A. — С. 32.

13. Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень. Частина 1 : навчальний посібник / Кветний Р. Н., Богач І. В., Бойко О. Р., Софіна О. Ю., Шушура О.М.; за заг. ред. Р.Н. Кветного. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 193 с.

14. Пастушенко С.І., Руденко О.Г., Іщенко В.В. Практикум з теоретичної механіки. – Вінниця: Нова книга, 2006. – 382 с.

15. Гаєва Л. І. Використання експлуатаційних матеріалів та економія паливно-енергетичних ресурсів : навч. посіб. / Л. І. Гаєва, Ф. В. Козак, В. М. Мельник. – Івано-Франківськ ІФНТУНГ, 2014.222 с.

16. Гречкосій В.Д. Довідник сільського інженера.- К.: Урожай, 1991.- 397 с.

17. Корчемний М. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. Тернопіль, 2001. 314 с

18. Ружицький М.А. Експлуатація машин і обладнання: Навчальний посібник / Ружицький М.А., Рябець В.І., Кіяшко В.М. та ін. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 617 С

19. Convertible Rotor: пат. 3621850 США, A01F12/22 / William H. Knapp, Davenport, Iowa, Richard I. Wood, El Dorado Springs; заявитель International Harvester Company Chicago. — № 995; заявл. 06.01.70; опубл. 23.11.71 // Official Gazette / Пат. ведомство США. — 1971. — № 49A. — С. 9.