

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Допускається до захисту
Завідувач кафедри

_____ Володимир ДІДІУР
“ ” _____ 2025

ДИПЛОМНА РОБОТА
_____ магістр
(освітній ступінь)

на тему: «ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ
КОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМИ ОЧИСТКИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО
КОМБАЙНА CASE»

Виконав: студент 2 курсу, групи 21м-ім,
спеціальність Н7 «Агроінженерія»

_____ Іван САМОЙЛЕНКО

Керівник: _____ Олександр ПУШКА

м. Умань – 2025

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Освітній рівень	магістр
Спеціальність	Н7 «Агроінженерія»
	(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Володимир ДІДУР
“ ____ ” _____ 2025

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Самойленко Іван Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Обґрунтування параметрів та удосконалення конструкції системи очисника зернозбирального комбайна CASE»

керівник роботи Пушка Олександр Сергійович, канд. техн. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
«__» _____ 2025 року №

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до проекту Огляд стану питання в галузі механізації збирання врожаю. Аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Сучасний стан та тенденції розвитку зернозбиральних комбайнів 2. Теоретичні дослідження процесу збирання врожаю. 3. Програма, методики проведення експериментальних досліджень картоплекопача. 4. Результати експериментальних досліджень. 5. Охорона праці 6. Техніко-економічна ефективність роботи. Висновки. Список використаних джерел. Додатки

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Тема. Мета і задачі досліджень. 2. Теоретичні дослідження (3 аркуша, А4). 3. Експериментальні дослідження (3 аркуша, А4). 4. Економічні показники (1 аркуш, А4). 5. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Пушка О.С., к.т.н., доцент		
2	Пушка О.С., к.т.н., доцент		
3	Пушка О.С., к.т.н., доцент		
4	Пушка О.С., к.т.н., доцент		
5	Прокопенко Е.В., к.с.-г.н., доцент		
6	Пушка О.С., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання: _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 18.04.2025 р.	Виконав
2	Теоретичний	до 20.06.2025 р.	Виконав
3	Експериментальний	до 12.09.2025 р.	Виконав
4	Охорона праці	до 17.10.2025 р.	Виконав
5	Економічний	до 07.11.2025 р.	Виконав
6	Демонстраційна частина	до 14.11.2025 р.	Виконав

Студент

(підпис)

Самойленко І.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Пушка О.С.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	
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 та мета досліджень.....	28
2. ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ КОМБАЙНА З АКСІАЛЬНО- РОТОРНИМ МОЛОТИЛЬНО-СЕПАРУЮЧИМ ПРИСТРОЄМ.....	29
2.1 Обґрунтування конструктивної схеми машини.....	29
2.2 Теоретичні положення конструктивних параметрів роторних МСП...32	
2.2.1. Переміщення хлібної маси у зазорі між ротором і решіткою підбарабання.....	32
2.2.2. Основи розрахунку потужності аксіально-роторних МСП	33
2.2.3. Призначення, типи, параметри і режими роботи очисників зерна....	35
Висновки.....	37
3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	38
3.1 Програма експериментальних досліджень.....	38
3.2 Прилади, обладнання досліджень.....	40
3.3 Польові дослідження комбайна.....	42
3.4 Зміни в конструкції дослідного зразка.....	45
Висновок.....	47
4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	48
4.1. Польові дослідження.....	48

4.2. Визначення продуктивності та витрати палива.....	53
Висновок.....	55
5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	56
5.1 Організація охорони праці при роботі на комбайні CASE 2388.....	56
5.2 Загальні вимоги охорони праці при роботі на комбайні.....	58
Висновок.....	61
6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ.....	62
Висновок.....	63
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	97
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	65
ДОДАТКИ.....	..67

Реферат

Самойленко І.С. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМИ ОЧИСТКИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА CASE / Магістерська випускна кваліфікаційна робота за спеціальністю Н7 «Агроінженерія» – Уманський національний університет садівництва, Умань, 2025 р.

У першому розділі роботи розглянуто сучасний рівень розвитку зернозбиральних комбайнів та ключові напрями їх удосконалення. У другому розділі проведено теоретичний аналіз роботи зернозбиральних машин та встановлено залежності між швидкістю руху агрегату й показниками його продуктивності. Третій розділ містить програму та методику проведення досліджень. За результатами експериментальної частини визначено вплив конструктивних і кінематичних параметрів очисних систем на ефективність відокремлення домішок під час збирання зернових культур. Окремо проаналізовано дію швидкості руху комбайна на якість очищення врожаю. У роботі також висвітлено питання охорони праці та безпеки під час виконання польових робіт, подано економічне обґрунтування запропонованих технічних удосконалень. У завершальній частині сформульовано висновки та наведено перелік використаних джерел.

Ключові слова: система очищення, решітний стан, зернозбиральний комбайн, ротор.

Вступ

Актуальність теми. Однією з головних передумов продовольчої безпеки України є підвищення ефективності аграрного виробництва на основі впровадження сучасних технологій, цифровізації процесів і модернізації машинно-тракторного парку. Перехід сільського господарства на індустріальну основу, впровадження інноваційних машин і систем автоматизації дозволяє не лише підвищити врожайність, а й забезпечити стабільне постачання продовольства населенню в умовах економічних та воєнних викликів.

Ефективність функціонування аграрного сектору України значною мірою залежить від рівня матеріально-технічного забезпечення сільськогосподарських підприємств усіх форм власності. Забезпечення галузі сучасною технікою безпосередньо впливає на продуктивність праці, собівартість продукції та соціально-економічний розвиток сільських територій.

Вирощування зернових культур традиційно займає провідне місце в структурі сільськогосподарського виробництва України, адже саме зерно становить основу харчування населення і є стратегічним товаром експортного значення. Україна входить до п'ятірки найбільших світових експортерів зерна, забезпечуючи значну частку світового ринку пшениці, кукурудзи та ячменю. Середньорічне виробництво зернових коливається в межах 35–50 млн тонн, а потенціал галузі, за оцінками експертів, сягає 80–100 млн тонн на рік.

Попри значні успіхи, залишається актуальною проблема якісного та своєчасного збирання врожаю. Несвоєчасне збирання призводить до втрат зерна, зниження його якості та економічних збитків. В умовах дефіциту сучасної техніки, особливо у малих і середніх фермерських господарствах, питання вдосконалення конструкцій зернозбиральних машин стає ключовим. Закордонна техніка є надто дорогою, а вітчизняні моделі часто не повною мірою відповідають агротехнічним вимогам сучасного виробництва. Це зумовлює необхідність модернізації існуючих сепаруючих механізмів або розроблення нових конструктивних рішень молотильно-сепаруючих систем.

Вирішення цього завдання дасть можливість оптимізувати процес обмолоту, зменшити втрати зерна, підвищити якість обробки зернової маси та забезпечити стабільність виробничих процесів. Своєчасне та ефективне збирання врожаю сприятиме підвищенню конкурентоспроможності українського зерна на світовому ринку, зміцненню продовольчої безпеки країни та збільшенню валютних надходжень.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи полягає у підвищенні ефективності процесу збирання зернових культур шляхом обґрунтування оптимальних технічних параметрів, режимів функціонування та конструктивних особливостей валково-обертового молотильно-сепаруючого органу зернозбирального комбайна CASE 2388 AXIAL-FLOW.

Для реалізації поставленої мети передбачено розв'язання таких основних завдань:

- дослідити фізико-механічні характеристики зерна пшениці, що визначають раціональний вибір параметрів молотильно-сепарувальних систем;
- розробити та аналітично обґрунтувати залежності, які дають можливість визначити оптимальні геометричні та кінематичні параметри валково-роторного молотильно-сепаруючого обладнання;
- провести аналіз існуючих технічних рішень у сфері молотьби та визначити шляхи підвищення ефективності відокремлення зерна від соломистих домішок;
- сформулювати напрями удосконалення технологічного процесу обмолоту і сепарації зернової маси з урахуванням конструктивних особливостей комбайна CASE 2388 AXIAL-FLOW.

У ході дослідження заплановано здійснити експериментальну оцінку впливу конструктивних параметрів і режимів роботи сепараційної системи на її продуктивність та якість функціонування. Передбачено виконання комплексних експлуатаційних, техніко-технологічних та економічних оцінок роботи зернозбиральних машин, оснащених удосконаленим валково-роторним молотильно-сепаруючим органом. На основі отриманих результатів розробляються

науково обґрунтовані рекомендації щодо вибору оптимальних параметрів та визначення раціональних режимів роботи валково-роторної системи з метою підвищення ефективності процесу збирання зернових культур.

Об'єкт дослідження — технологічний процес обмолоту та сепарації зернової маси із застосуванням валково-роторного молотильно-сепаруючого обладнання зернозбирального комбайна.

Предмет дослідження — закономірності впливу конструктивних параметрів та режимів роботи роторного комбайна на якість процесів обмолоту, сепарації та очищення зерна.

Аналітичний етап роботи виконано з використанням методів пружно-в'язкої динаміки, теорії контактної взаємодії, аналітичної та нарисної геометрії, математичного моделювання й системного аналізу. Експериментальні дослідження ґрунтувалися на методах повного факторного експерименту, математичної статистики, регресійного аналізу та теорії ймовірностей, що забезпечило кількісну оцінку впливу конструктивних та режимних параметрів на основні показники ефективності сепараційної системи.

Дослідження виконувалися за спеціально розробленими методиками із застосуванням сучасних комп'ютерних засобів вимірювань, статистичної обробки, цифрового моделювання та графічного аналізу експериментальних результатів.

Наукова новизна отриманих результатів. У ході дослідження отримано нові аналітичні залежності, що дозволили науково обґрунтувати оптимальні конструктивні параметри та режими роботи валково-роторного молотильно-сепаруючого агрегату з урахуванням фізико-механічних властивостей зернової маси та характеристик матеріалу робочих органів. Удосконалено теоретичні положення щодо взаємозв'язку між параметрами конструкції, кінематичними режимами роботи і якістю процесів обмолоту та сепарації зерна. Встановлено закономірності впливу основних конструктивних і технологічних параметрів валково-роторного молотильно-сепаруючого обладнання на показники ефективності відокремлення зерна від рослинних решток і на загальну якість зернового матеріалу після обмолоту.

Практичне значення отриманих результатів. Практична цінність роботи полягає у розробленні науково обґрунтованих рекомендацій щодо вибору конструктивних параметрів і визначення раціональних режимів роботи систем обмолоту та сепарації зерна для підвищення ефективності зернозбиральних комбайнів. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні нових і модернізації існуючих молотильно-сепаруючих систем, а також у навчальному процесі під час підготовки фахівців агроінженерного профілю.

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

1.1. Класифікація зернозбиральної техніки.

Збирання врожаю є одним із найвідповідальніших і найнапруженіших етапів у сільськогосподарському виробництві, оскільки саме від нього залежить збереження кількісних і якісних показників урожаю. Для забезпечення максимальної продуктивності, високої якості зерна та мінімальних трудових і фінансових витрат необхідно суворо дотримуватись агрономічно оптимальних строків збирання, забезпечувати безперервність технологічного процесу, гарантувати повноту збору врожаю та мінімізувати втрати, ефективно використовувати незернову частину біомаси та максимально завантажувати машинно-тракторний парк. Збирання врожаю завершує цикл вирощування будь-якої культури та визначає кінцевий економічний результат діяльності господарства. На сучасному етапі основним засобом механізованого збирання зернових культур є самохідні зернозбиральні комбайни, які здійснюють одночасно зрізання, обмолот, сепарацію, очищення та транспортування зерна до бункера. Вони забезпечують не лише збирання зернових, а й бобових, олійних культур, кукурудзи та насіння трав. Сучасні комбайни здатні проводити подрібнення соломи з рівномірним розподілом по полю або формувати валки для подальшої заготівлі кормів. До основних зернових культур належать пшениця, жито, ячмінь, овес, рис, просо, сорго та кукурудза, а також бобові – горох, квасоля, соя. Суцвіття пшениці, жита і ячменю – колос, а у кукурудзи чоловіче суцвіття – волоть, жіноче – качан. Залежно від технологічного процесу, збирання зернових культур здійснюють комбайновим або безкомбайновим способами. У комбайновому способі виділяють дві основні технології – однофазну (пряму) та двофазну (роздільну). Пряме комбайнування передбачає одночасне зрізання, обмолот, очищення й збирання зерна за один прохід комбайна. Цей метод ефективний за умови повної стиглості культури, коли вологість зерна й соломи відповідає агротехнічним вимогам. Він

забезпечує високу продуктивність процесу, зменшення втрат під час обмолоту, економію трудових і паливно-енергетичних ресурсів. Комбайн зрізає колосову масу, проводить її обмолот, відокремлює зерно від соломи, очищує його від домішок, після чого зерно надходить у бункер, а солома та полова або розподіляються по полю, або укладаються у валки. Усі ці операції здійснюються в одному безперервному потоці, що підвищує ефективність роботи агрегату. Роздільний (двофазний) спосіб застосовується для нерівномірно дозрілих, засмічених або вологих посівів. Спочатку косарка формує валки, у яких зерно і солома підсихають до вологості, придатної для обмолоту. Через 5–7 днів валки підбираються комбайном із підбирачем, і проводиться обмолот. Така технологія дозволяє починати збирання на кілька днів раніше повної стиглості, подовжити сезонну тривалість роботи комбайна та підвищити якість обмолоту за рахунок зниження вологості зерна. Недоліком є потреба у додатковій техніці, більші витрати палива та робочої сили, що збільшує собівартість збирання. З метою підвищення ефективності процесу та зменшення кількості незернової маси, що надходить у молотарку, за кордоном було розроблено нові способи збирання зернових і зернобобових культур, зокрема метод обчісування зерна на корені. Він довів свою перевагу над традиційними технологіями, оскільки зменшує навантаження на молотильно-сепаруючу систему, знижує втрати зерна, підвищує продуктивність комбайна майже удвічі, сприяє збереженню ґрунтової вологи завдяки високій стерні та полегшує виконання весняних посівних робіт за технології прямого висіву. Цей метод поступово впроваджується у практику українських господарств, особливо в умовах вологих або важкодоступних полів. Валкові жниварки застосовуються для зрізання стебел і формування валків у двофазних системах збирання. Вони класифікуються за призначенням (колосові, зернозбиральні, рисові, бобові, травозбиральні), способом агрегування (причіпні, навісні, напівнавісні, самохідні), формуванням валка (однопотоківі, двопотоківі, трипотоківі) та шириною захвату (вузькі, середні, широкі). Основними робочими органами жниварки є косарний апарат, дільники, стеблоутворювачі та мотовила. Залежно від конструкції дільники можуть бути з гострими або тупими ножами,

дугоподібними стрижнями, торпедами, ланцюговими пальцями чи дисками. Силосні та подрібнювальні машини оснащуються різними типами вальців – радіальними або ексцентриковими, а різальні апарати можуть бути пальцевими або безпальцевими, що приводяться в рух кривошипно-шатунним механізмом. Зернозбиральні комбайни поділяють на одинадцять класів залежно від їх продуктивності. Клас комбайна визначається основними параметрами молотильно-сепаруючої системи – шириною і довжиною молотильного барабана, продуктивністю подачі, потужністю двигуна та ємністю бункера. Ці параметри формують інтегральний показник, за яким визначають індекс комбайна та його належність до певного класу ефективності.

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

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

Таблиця 1.2 – Співвідношення між індексом класу зернозбирального комбайна та його основними техніко-експлуатаційними параметрами

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

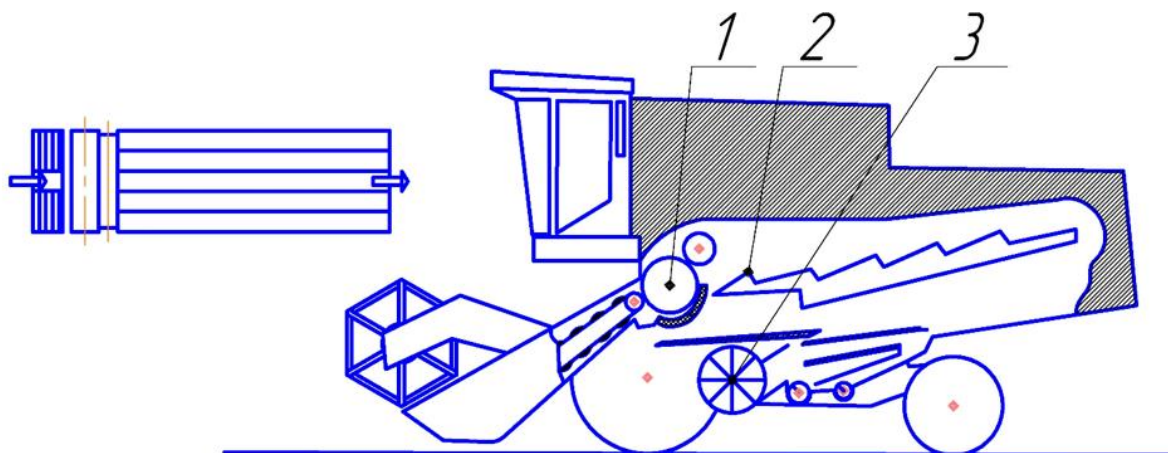


Рис. 1.1 – Зернозбиральний комбайн із традиційною схемою молотильно-сепараційного апарата (однобарабанний обмолот, клавішний соломотряс та повітряно-решітна система очищення):

1 – молотильно-барабанний апарат;

2 – клавішний соломотряс;

3 – вентилятор очисної системи.

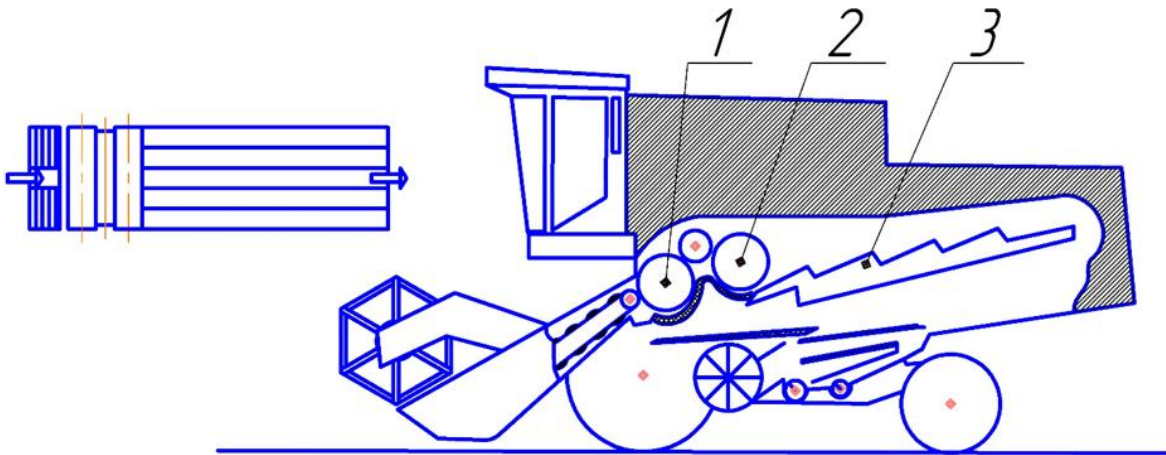


Рис. 1.2 – Зернозбиральний комбайн із традиційною молотильною системою та комбінованим соломосепаруванням (ротаційний і клавішний соломосепаратори для відокремлення грубого вороху):

1 – молотильний барабан;

2 – ротаційний соломосепаратор;

3 – клавішний соломосепаратор.

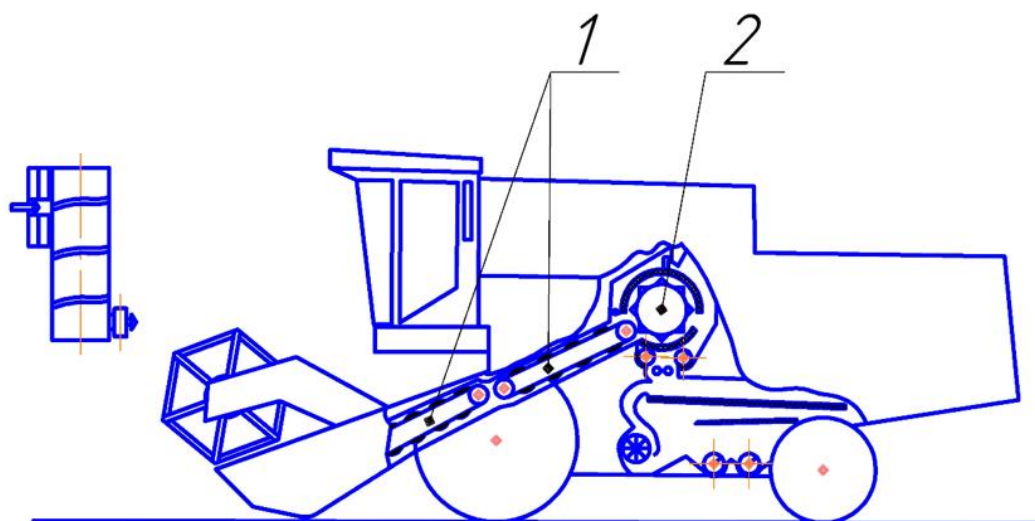


Рис. 1.3 – Комбайн з класичною системою обмолоту, ротаційним та роторним соломосепараторами грубого вороху: 1 – похилий транспортер; 2 – соломосепаратор.

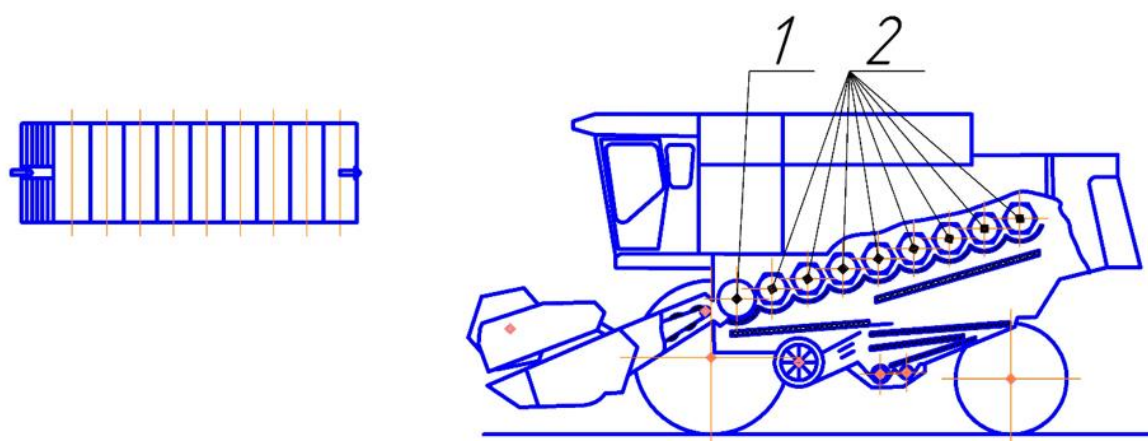


Рис. 1.4 – Комбайн з класичною системою обмолоту та багатобітерним соломосепаратором грубого вороху: 1 – молотильний барабан; 2 – багатобітерний соломосепаратор.

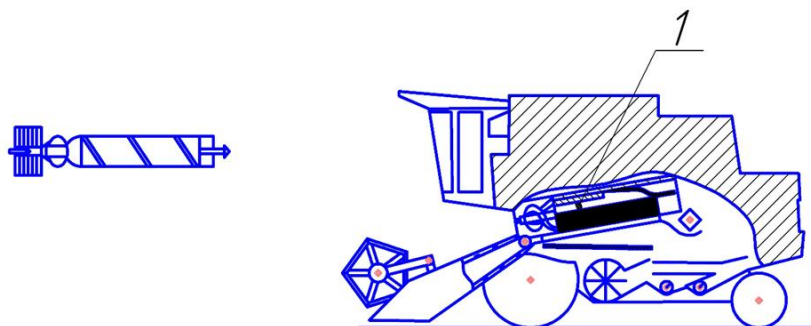


Рис. 1.5 – Машини з однороторними молотильними системами та осьовою подачею культури на обмолот: 1 – поздовжній ротор.

Після аналізу сучасних і традиційних конструкцій зернозбиральних комбайнів різних типів особливу увагу приділено машинам, оснащеним роторними молотильно-сепаруючими системами, які нині вважаються найбільш перспективними з точки зору підвищення продуктивності, якості обмолоту та енергоефективності процесу. Зернозбиральні комбайни з роторним молотильним і сепарувальним обладнанням забезпечують більш рівномірне навантаження на робочі органи, стабільність процесу відокремлення зерна від соломистої маси, зменшення втрат і пошкоджень зерна, а також кращу адаптацію до різних агротехнічних умов та культур. Їх використання сприяє інтенсифікації технологічного процесу збирання врожаю, скороченню простоїв і підвищенню загальної ефективності машинно-тракторного парку в аграрному виробництві.

1.2 Збирання незернової частини врожаю за участю зернозбиральних комбайнів

Збирання, транспортування та зберігання незернових частин (НЗЧ) зернових, бобових і круп'яних культур є одним із найтрудомісткіших етапів післязбирального процесу, оскільки потребує у два-три рази більших витрат праці та фінансових ресурсів, ніж саме збирання зерна. За результатами численних досліджень, трудовитрати на заготівлю НЗЧ можуть становити до 70 % загальних витрат на збирання всієї біологічної маси культури. Така ситуація пояснюється тим, що розвиток техніки для збирання соломи, зокрема рисової, відстає від розвитку зернозбиральних машин, а щільність агрегатів для зберігання та транспортування соломи (копиці, скирти, тюки, пачки тощо) у 7–20 разів перевищує щільність зерна в ємностях, що суттєво ускладнює її транспортування та логістику.

Сучасні технології комплексного збирання врожаю, які охоплюють як зерно, так і солому, здебільшого є ідентичними в частині процесу обмолоту, відрізняючись лише методами і складом машинного комплексу, що застосовується для збирання й утилізації соломи. Залежно від способу обробки незернових решток

розрізняють такі технологічні підходи: соломотрясу — із формуванням валків і подальшим підбиранням соломи; потокову — із подрібненням і навантаженням у причепи змінного складу; мульчувальну — із рівномірним розкиданням подрібненої соломи по поверхні поля з наступним прикочуванням або використанням як органічного добрива. У практиці сільськогосподарських підприємств часто застосовуються комбіновані схеми, що поєднують елементи різних технологій для підвищення їх ефективності.

За індивідуальної технології збирання соломи комбайн подає соломку та полови на жатку, після чого сформований валок залишається на стерні. Недоліком цього методу є практично повна втрата полови — найціннішої частини пожнивних залишків, яка містить значну кількість поживних речовин. У разі використання технології штабелювання солома укладається у штабелі масою 150–300 кг безпосередньо під час роботи комбайна за допомогою штабелеукладальника. Надалі штабелі збираються з поля тросовими волокушами, штовхачами або вантажаться на транспортні засоби для перевезення. Проте наявність великої кількості соломи на полі ускладнює подальший обробіток ґрунту, сприяє поширенню насіння бур'янів і може пошкоджувати сходи підсіяних культур, таких як люцерна чи конюшина.

Додатковою проблемою є низька щільність НЗЧ у купах, що знижує ефективність транспортування й потребує використання більш міцних і металомістких конструкцій причепів та тюкових пресів. Частина соломи та полови, розкиданих по полю, часто спалюється, що не лише завдає екологічної шкоди, але й призводить до втрати органічної речовини ґрунту. Несвоєчасне прибирання рослинних решток ускладнює післязбиральний обробіток ґрунту та може зменшити урожайність наступної культури на 3–10 ц/га.

Більшість машин, призначених для заготівлі сіна, не підходять для роботи із сінажем або соломкою, оскільки під час роботи вони забруднюють матеріал ґрунтом і спричиняють великі втрати корму. Потокова технологія збирання виявилася найбільш ефективною і тривалий час була базовою для більшості комбайнів українського зернозбирального парку. Вона передбачає безперервний процес

обмолоту врожаю, подрібнення соломи та завантаження її у регульований причіп, з'єднаний із комбайном. Залежно від виробничих потреб і природно-кліматичних умов господарства потокова технологія може реалізовуватись у різних модифікаціях — від утилізації соломи як органічного добрива до її використання для тваринницьких і енергетичних потреб.

Таким чином, удосконалення технологій збирання, транспортування та використання незернової частини врожаю є важливим напрямом підвищення ефективності аграрного виробництва, раціонального використання біомаси та збереження родючості ґрунтів.



Рис. 1.6 – Схема потокового відбору та транспортування соломи й половини під час роботи зернозбирального комбайна.

Валкова технологія збирання незернових частин урожаю передбачає, що після обмолоту зерно транспортується до бункера комбайна, а солома та інші соломисті залишки спрямовуються в соломотряс, де формується валок. Такий підхід забезпечує розділення зерна та незернової частини врожаю в єдиному технологічному потоці й дозволяє ефективно організувати подальше використання соломи.

Сучасні зернозбиральні комбайни оснащуються системами, які дають змогу не лише формувати валки, а й подрібнювати та рівномірно розкидати соломку по полю. Це сприяє збереженню вологості ґрунту, покращенню його структури та слугує елементом екологічно збалансованого землеробства. Водночас залишати укочену або не подрібнену соломку на полі недоцільно, оскільки вона ускладнює якісний передпосівний обробіток ґрунту та погіршує умови для сівби. Тому соломку необхідно або подрібнювати й розподіляти як органічне добриво, **або** збирати й

вивозити для подальшого використання в господарстві — на корм, підстилку чи як сировину для біоенергетичних установок.

При валковій технології незернові залишки укладаються в рівномірний валок за допомогою спеціального пристрою комбайна, після чого ці валки підбираються з поля різними типами обладнання — підбирачами, прес-підбирачами або подрібнювально-навантажувальними машинами. Така система значно спрощує роботу комбайнера, зменшує кількість зупинок через технічні несправності допоміжного обладнання (копачів, подрібнювачів, транспортерів тощо) і підвищує продуктивність комбайна за рахунок стабільної роботи основного технологічного ланцюга.

Валкова технологія збирання НЗЧ є ефективним компромісом між повною утилізацією пожнивних залишків і оптимізацією навантаження на зернозбиральну техніку, забезпечуючи баланс між агротехнічними, економічними та екологічними показниками процесу.



Рис. 1.7 – Формування валка з неподоланої (неподрібненої) соломи під час роботи комбайна.

Технології внесення соломи та полови

Сучасні технології утилізації та внесення соломи передбачають її дрібне подрібнення і рівномірне розкидання по полю як екологічно безпечний і ресурсоефективний спосіб відновлення родючості ґрунтів. На відміну від спалювання, яке супроводжується викидом диму, оксидів вуглецю та втратами поживних речовин, змішування подрібненої соломи з ґрунтом сприяє утворенню гумусу, активізації мікробіологічних процесів і запобігає вітровій та водній ерозії.

Під час подрібнення зазубрені ножі руйнують структурні елементи соломи, розкриваючи трубчасті целюлозні волокна й забезпечуючи швидке проникнення вологи та повітря. Це створює сприятливі умови для активної діяльності ґрунтових мікроорганізмів, які прискорюють розкладання органічної речовини. Завдяки цьому процеси гуміфікації починаються раніше, а целюлоза повністю інтегрується в ґрунтову структуру, поліпшуючи її водно-фізичні властивості. Подрібнені фракції соломи виконують функцію природного захисного шару (мульчі), який регулює вологість, температуру ґрунту та знижує випаровування води. Це, своєю чергою, полегшує подальший обробіток і забезпечує сприятливі умови для прямого посіву зернових культур.

Використання технологій подрібнення та мульчування соломи у поєднанні з елементами No-Till і Mini-Till дозволяє значно зменшити витрати енергоресурсів: споживання пального — у 2–3 рази, норму висіву насіння — на 20–25 %, а врожайність підвищується на 20–30 % завдяки поліпшенню водно-повітряного режиму та структурного стану ґрунту.

В українських господарствах солома досі рідко використовується як мульча або органічне добриво, хоча її внесення є надзвичайно ефективним засобом протидії ерозійним процесам. За даними агротехнічних досліджень, внесення 5 т соломи на гектар практично повністю усуває ризики вітрової ерозії, а також підвищує врожайність зернових культур на 23–48 %.

Подрібнена солома розподіляється по полю під час збирання врожаю. За правильно підібраного ступеня подрібнення та рівномірного розкидання вона добре взаємодіє з ґрунтом, утримує вологу та бере участь у природному кругообігу

поживних речовин. Особливо ефективною є рисова солома, яка завдяки капілярним властивостям волокон активно збагачує верхній шар ґрунту органічною речовиною.

Ключову роль у реалізації цієї технології відіграють подрібнювачі соломи, які забезпечують заданий розмір фракцій і рівномірність розподілу біомаси. У сучасних зернозбиральних комбайнах використовується понад 270 конструктивних типів подрібнювачів, що відрізняються будовою та принципом дії. Основними складовими системи є:

- робочий орган подрібнення, який приймає соломисту масу з молотарки;
- система зчеплення та передачі крутного моменту на подрібнювач;
- механізм подачі та рівномірного розподілу подрібненої маси;
- автоматичні системи регулювання ступеня подрібнення та напрямку розкидання соломи.

Застосування таких технологій сприяє комплексному використанню побічної продукції зерновиробництва, зменшенню втрат біомаси та формуванню сталих, екологічно безпечних систем землеробства.

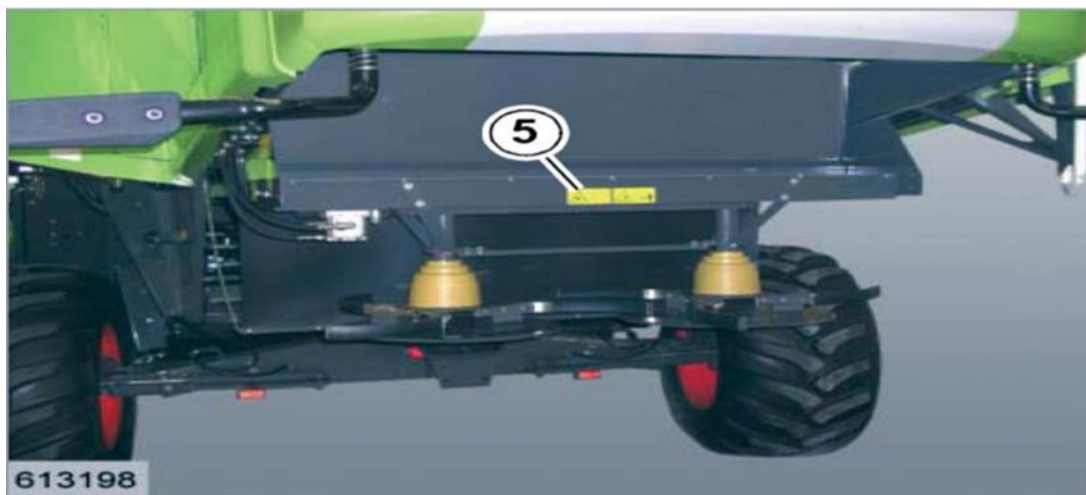


Рис. 1.8 – Техніко-технологічний комплекс, призначений для рівномірного розсіювання половин по поверхні поля.

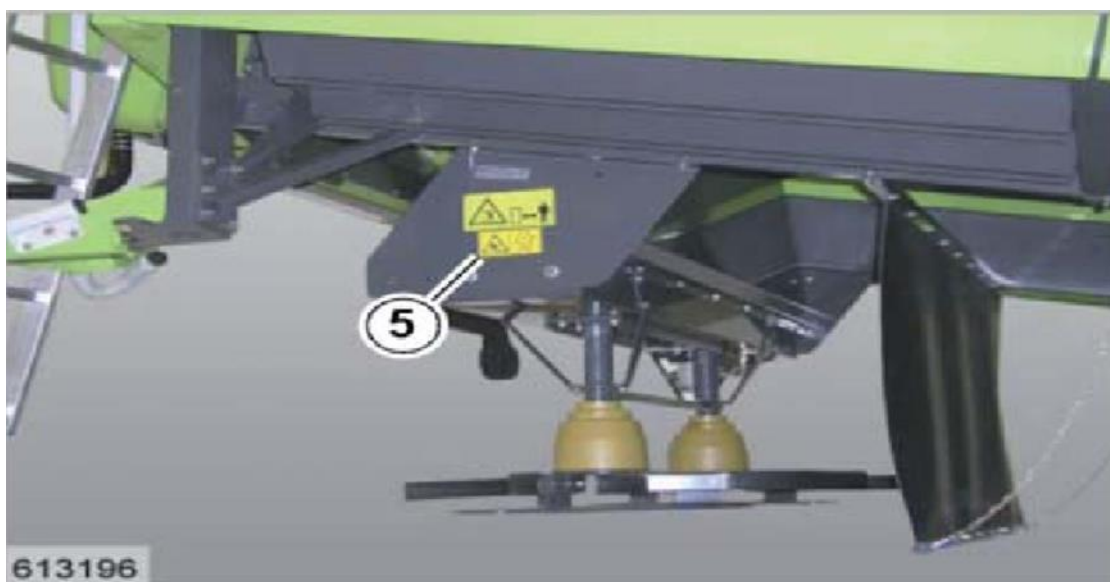


Рис. 1.9 – Система розподілу полови на полі після проходження через решітно-ситовий подрібнювальний вузол.



Рис. 1.10 – Подрібнення соломи та її подальше розсіювання по полю здійснюється вбудованою системою комбайна.

Сучасні тенденції в агротехнологіях і системах управління збиранням урожаю визначаються широким впровадженням технології прямого комбайнування, яка забезпечує оптимальну конфігурацію машинно-тракторних

комплексів, скорочення витрат ресурсів та підвищення економічної ефективності процесу збирання зернових культур. Такий підхід дозволяє зменшити кількість технологічних операцій, підвищити продуктивність праці та забезпечити своєчасне збирання врожаю з мінімальними втратами.

Під час експлуатації зернозбиральних комбайнів із системами роботи з соломою та половою застосовують дві основні технології: збирання з подрібненням і розкиданням соломи по полю та збирання з укладанням у валки для подальшого використання або транспортування.

Використання дрібноподрібненої соломи з рівномірним розподілом по поверхні поля є екологічно безпечним і високоефективним способом підвищення родючості ґрунтів. На відміну від спалювання, яке призводить до деградації родючого шару та втрати органічної речовини, внесення соломи в ґрунт сприяє утворенню гумусу, активізує мікробіологічну діяльність і покращує структуру орного шару. Солома, рівномірно розподілена та перемішана з верхнім горизонтом ґрунту, діє як природний меліорант, який регулює вологообмін, підвищує водопроникність і зменшує ризики ерозійних процесів.

Практичні дослідження доводять, що використання побічної продукції зернових культур — соломи злакових, бобових, кукурудзи та стебел соняшнику — як органічного добрива є одним із найефективніших методів збереження родючості українських чорноземів. Така технологія не лише запобігає деградації ґрунтів, а й знижує потребу у мінеральних добривах, забезпечує поліпшення біологічної активності ґрунтового середовища, підвищує вміст органічної речовини та сприяє сталому розвитку аграрного виробництва.

1.3 Короткий опис наукових досліджень процесів обмолоту зерна

Сучасні підходи до обмолоту зернових культур роторними комбайнами все більше орієнтовані на забезпечення високої якості зерна та мінімізацію його пошкодження. Питання збереження насінневих властивостей набуває особливої актуальності в умовах зростання вимог до сортового насіння та точного землеробства. Тому сучасні комбайни мають відповідати нормам, що

регламентують допустимий рівень травмування зерна та гарантують збереження його схожості й енергії проростання.

Пошкодження зерна виникає під впливом механічних навантажень на різних стадіях технологічного процесу: у жнивварці, молотильному апараті, очищувальних системах, шнекових транспортерах, а також у машинах післязбирального доробляння, протруєння, навантаження та транспортування. За даними І.Г. Строна, А.П. Тарасенка та інших дослідників, під час збирання врожаю кількість ушкоджених зерен може перевищувати 20%, а після етапів очищення та підготовки насіння – збільшуватися у 2–3 рази.

Вагомий внесок у розвиток теорії взаємодії робочих органів машин із зерновою масою зробили 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 видатні науковці. Їхні праці стали фундаментом для створення сучасних конструкцій молотильних апаратів і оптимізації режимів їх роботи.

Результати досліджень Ю.В. Лукінського свідчать, що використання автоматичного регулювання завантаження молотарки дозволяє значно зменшити рівень травмування насіння. Зокрема, під час обмолоту жита комбайном з автоматичним контролем цей показник не перевищував 2%, тоді як у звичайних умовах сягав 8–12%.

Традиційні барабанні молотильні апарати пропускають через себе всю масу соломи та зерна, забезпечуючи обмолот ударно-тертевим способом. Бильний барабан, взаємодіючи з підбарабанням по дузі понад 120° , здійснює багаторазові удари по колосках. Оскільки швидкість обертання бичів значно перевищує швидкість переміщення зернової купи, зерно піддається інтенсивному механічному навантаженню, що часто призводить до його травмування й часткового подрібнення — особливо на початковій стадії обмолоту.

На відміну від барабанних апаратів, роторні молотарки забезпечують обмолот переважно за рахунок ковзних і стиральних дій. Обертальні ротори плавніше втягують зернову масу та рівномірно зчищають зерно з колосків без різких ударних імпульсів. Завдяки цьому рівень травмування зерна істотно нижчий.

Теоретичні дослідження та виробничі випробування підтверджують, що найбільша зона пошкоджень формується у місцях різкої зміни вектора руху зернової маси, які характерні саме для барабанних систем.

Порівняльний аналіз першої половини процесу обмолоту показує, що роторні молотарки є більш "щадними" щодо насіння. Вони забезпечують менший відсоток дроблення та глибоких пошкоджень, хоча рівень мікропошкоджень може бути співставним або дещо відрізнятися залежно від конструкції та режимів роботи. Водночас барабанні системи, через іншу вісь обертання та характер силової взаємодії, створюють більші ударні навантаження.

Загальний рівень травмування визначається імпульсом сили удару, який відповідно до теорії імпульсу залежить від величини й тривалості прикладеної сили. Чим менший імпульс взаємодії робочого органа з зернівкою — тим нижчий рівень її пошкодження. Саме тому роторні системи, що працюють у режимі ковзання та стирання, демонструють кращі результати щодо збереження цілісності насіння:

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

де $S(t) \int_{t_1}^{t_2} F(t) dt$ — ударний імпульс;

де V_1 та V_2 — вектори швидкості частинки зернового вороху відповідно до та після взаємодії з бичами молотильного апарата. У координатних проекціях рівняння (1.2) можна подати у такій формі:

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

Під час проходження зернової маси через барабанний молотильний апарат початкову ділянку процесу обмолоту можна подати у спрощеному вигляді, що ілюструється на рис. 1.11 та 1.12.

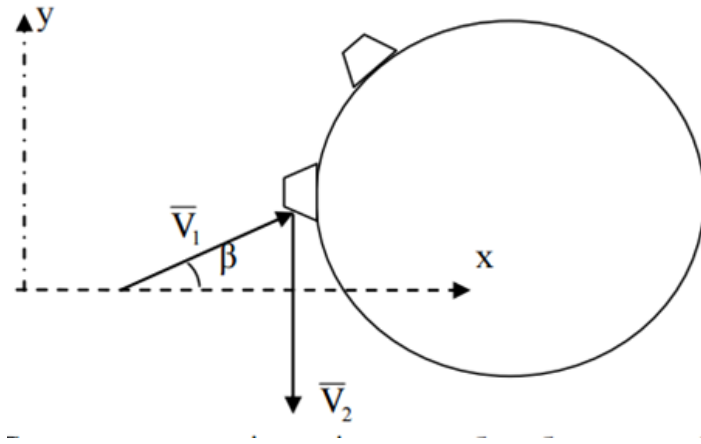


Рис. 1.11 – Схематичне відображення зміни швидкості зернівок під час їх взаємодії з барабанним молотильним апаратом.

У цьому випадку система рівнянь (1.3) набуває такого вигляду:

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

де β – кут, під яким зерновий ворох потрапляє до зони дії молотильного апарата.

За таких умов вираз набуває наступної форми:

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

А з урахуванням того, що V_2 є величиною, рівною вектору кутової (кругової) швидкості V_{kp} , отримуємо:

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

Під час проходження зернових грудок через роторний молотильний апарат початкову ділянку процесу обмолоту можна подати у спрощеному вигляді, як показано на рис. 1.12.

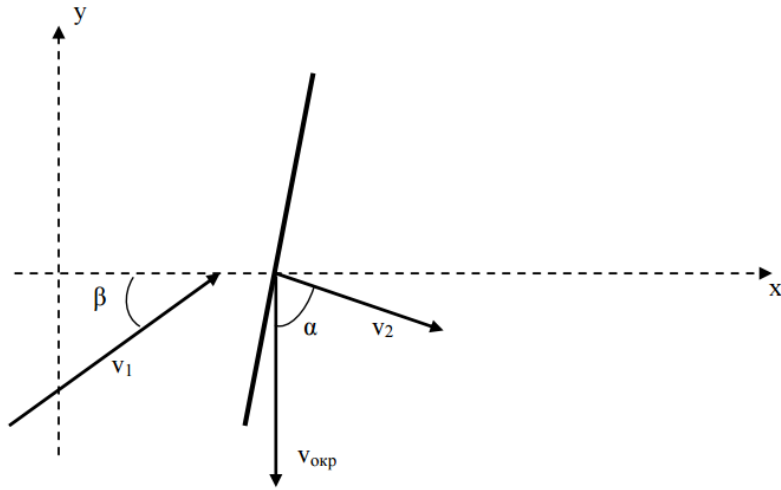


Рис. 1.15 – Кінематична схема зміни швидкості зернівок у процесі роторного обмолоту.

За таких умов система рівнянь (1.3) набуває такого вигляду:

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

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 $V_2 = V_{кр} \cdot \cos \alpha$.

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

Співвідношення імпульсів ударної дії в першій фазі обмолоту для барабанного молотильного апарата порівняно з роторним агрегатом P визначатиметься як:

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

З наведеної формули чітко випливає, що імпульсне навантаження під час барабанного обмолоту суттєво перевищує аналогічний показник у роторних системах. Це пояснює вищий рівень травмування зерна в барабанних молотарках, де ударний характер взаємодії робочих органів із зернівкою домінує над ковзними та стиральними діями.

Результати експериментальних досліджень, проведених на комбайнах із молотильними агрегатами барабанного та роторного типів, підтверджують цю тенденцію. Дані, наведені у таблицях 1.5 і 1.6, демонструють процентні значення мікротравмування зерна (функція Y_1) та ступінь його подрібнення (функція Y_2) залежно від частоти обертання барабана або ротора (X , об/хв). Такий підхід дозволяє об'єктивно оцінити вплив режимів роботи молотарки на якість зерна та визначити оптимальні технологічні параметри для зменшення пошкоджень.

Таблиця 1.5 – Основні параметри та характеристики барабанного молотильно-сепаруючого апарата.

X	600	700	750	800	820	900	980
Y2	0,81	0,82	1,38	1,46	3,30	-	6,17
Y1	26,40	26,90	-	28,20	-	32,40	-

Таблиця 1.6 – Характеристики та конструктивні параметри роторного молотильно-сепаруючого апарата

X	600	700	750	800	820	900	980
Y2	0,08	0,18	0,12	0,24	0,95	0,92	2,10
Y1	21,40	24,30	-	26,37	-	30,14	-

На поданому графіку відображено залежність рівня подрібнення зернівок, вираженого у відсотках, від частоти обертання молотильних апаратів барабанного та роторного типів.

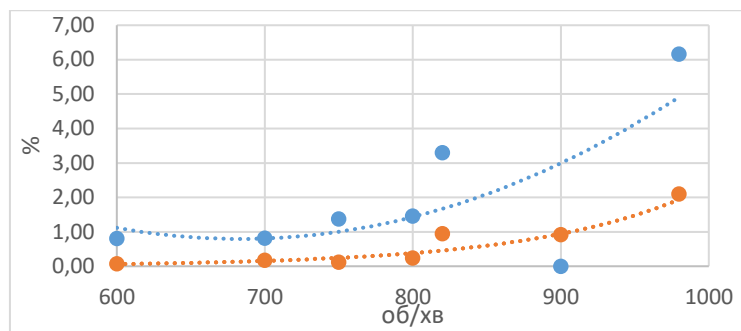


Рис. 1.16 – Залежність частки подрібнених зернівок від частоти обертання молотильного органу.

Отже, отримані теоретичні дані та побудовані графічні залежності щодо рівня мікропошкоджень і дроблення зерна повністю узгоджуються з результатами експериментальних і виробничих досліджень. Порівняння демонструє, що під час роботи барабанних молотарок інтенсивність травмування та подрібнення зернівок є значно вищою, ніж у роторних системах. Це означає, що роторні комбайни забезпечують помітно кращу збереженість насіння озимої пшениці та жита, що безпосередньо впливає на підвищення якості посівного матеріалу.

У зв'язку з цим метою даної магістерської роботи є вдосконалення роботи аксіально-роторного молотильно-сепаруючого механізму, оптимізація його технологічного процесу, конструкційних параметрів та режимів функціонування.

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 відбуваються одночасно в межах одного агрегату, що забезпечує високу інтенсивність технологічного процесу та якісне відокремлення зерна. За роторного типу обмолоту основна частина зерна м'яко зчищається з колосків та ефективно відділяється від соломистої маси, що значно знижує рівень його травмування і сприяє підвищенню посівних та товарних якостей. Завдяки активному сепараційному режиму роторні молотарки забезпечують мінімальні втрати зерна навіть за умов підвищеної врожайності чи високої вологості хлібної маси.

Разом із тим, інтенсивність роботи ротора має й певні недоліки — частина соломи подрібнюється і втрачає валкоутворювальну структуру, через що її складніше підбирати прес-підбирачем. Крім того, за умов прямого комбайнування, коли маса соломи значно перевищує масу зерна, а стебла зберігають високу міцність, питомі витрати палива можуть зростати на 20–30 %.

Молотильно-сортувальні пристрої (МСУ) призначені для відокремлення зерна від колосків та дрібних домішок, а також для очищення обмолоченого матеріалу від грубих часток. За конструкційними та техніко-технологічними характеристиками роторні молотильно-сепаруючі пристрої поділяються на дві основні групи: агрегатні та моноблочні [10–14].

МСУ агрегатного типу створені за класичною схемою: замість клавішних соломотрясів застосовують роторні пристрої поперечного або аксіально-поточкового виконання. Моноблочні МСП являють собою одно- або двороторні системи з аксіальною чи тангенціальною подачею, які забезпечують інтенсивне подрібнення хлібної маси та її ефективне розділення на фракції [11, 16].

У аксіально-роторних моноблочних МСП робочий орган обертається з частотою 10–20 об/хв у нерухомому корпусі або навпаки — корпус здійснює обертання у напрямку, протилежному ротору (як у комбайнах Torum RSM). Конструкція ротора подана на рис. 2.1: корпус має конічну форму, у вхідній частині виконаний без перфорацій, а в зоні обмолоту й сепарації обладнаний суцільною або частковою (на кут 120–270°) решіткою з прямокутними отворами. Додатково у таких пристроях можливе регулювання зазору між ротором і корпусом та частоти обертання ротора, що дозволяє гнучко налаштовувати процес під різні умови роботи.

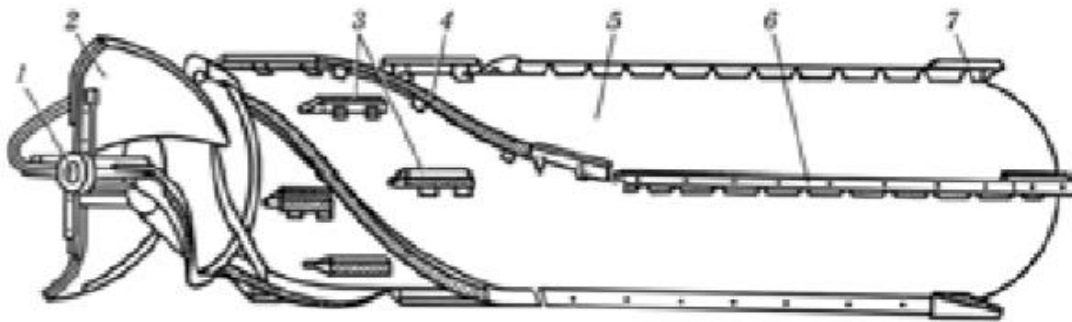


Рис. 2.1 – Конструкція аксіального ротора зернозбирального комбайна:

1 – хрестовина; 2 – лопать; 3 – прямолінійні біла з рифленням; 4 – криволінійне біло з рифленням; 5 – порожнистий (пустотілий) циліндр; 6 – пряме гладке біло; 7 – підсилювальна планка.

Окремо розглянемо конструктивні елементи ротора комбайна CASE 2388 AXIAL-FLOW, що є об'єктом дослідження (див. рис. 2.2).

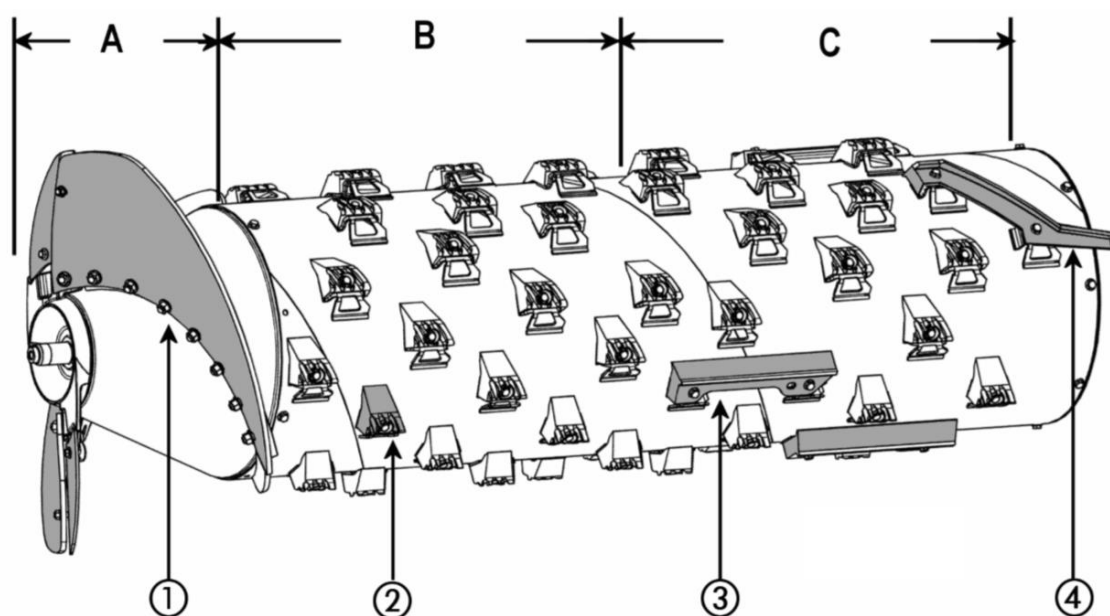
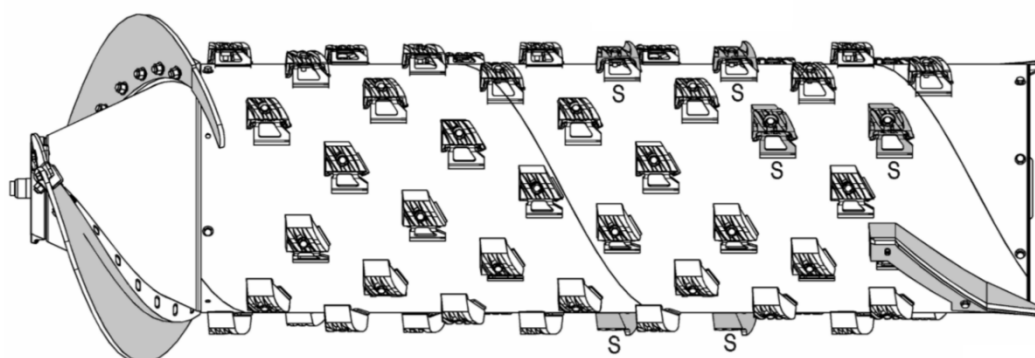


Рис. 2.2 – Роторний молотильно-сепаратійний апарат зернозбирального комбайна
CASE 2388 AXIAL-FLOW.

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 машини мотовило 1 захоплює верхню частину стебел і спрямовує їх до ріжучого апарата. Після зрізання рослин різальний механізм передає їх до шнека 2, який переміщує масу до центральної частини жатки. Звідти за допомогою пальцевого подавача стебла надходять на розпірний бітер 3, що активно подає їх у зону похилого транспортера 4.

Похилий транспортер, оснащений гребінчастими планками, подає рослинну масу до приймальної камери молотильного апарата — ротора 24. Гвинтові лопаті ротора захоплюють зрізані стебла та направляють їх у робочу зону між ротором і молотильним решетом 9, де відбувається основний обмолот.

У процесі обмолоту зерно, разом із половиною та дрібними частками соломи, проходить крізь отвори решета й потрапляє на головну віброплиту. Солом'яні грудки, що не пройшли через сито, рухаються далі вздовж осі ротора до сепараційної зони. Поступово, під дією відцентрових сил і стирального впливу, із грудок відокремлюється залишкове зерно й дрібні солом'яні частинки, які прокидуються крізь решітки на віброплиту та дільник солом'яних решток 15. Сформовані солом'яні пучки виводяться з корпусу через вікно і подаються бітером 10 до подрібнювача 14.

Потік зерна, полови та дрібної соломи, який потрапив на струшувальну дошку, попередньо розділяється та спрямовується до вібросит 17 і 18. Решітчаста структура сит забезпечує додаткове очищення зерна під дією повітряного потоку, створеного вентилятором 20: важкі зернівки спрямовуються до зернового шнека 19, тоді як легка половина та подрібнена солома видаляються до подрібнювача 14.

Необмолочені колоски, що залишилися на верхньому ситі 17, переміщуються подовжувачем 15 та через його жалюзі надходять у колосовий шнек 16 для повторного обмолоту. Повторно обмолочений матеріал повертається на головну струшувальну дошку.

Очищене зерно елеватором 8 та шнековим транспортером подається в бункер 6. Після накопичення необхідної кількості зернової маси розвантажується в транспортний засіб через відповідну систему вивантаження.

2.2 Теоретичні положення конструктивних параметрів роторних МСП

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

Швидкість переміщення стеблової маси вздовж увігнутої траєкторії роторного пристрою визначається фізичними властивостями хлібної маси, товщиною шару, довжиною та міцністю стебел, а також напрямком і режимами роботи машини. На початковій ділянці підбарабання, довжина якої становить 100...150 мм, колоски входять у молотильну щілину зі швидкістю приблизно 3...6 м/с.

У роторних молотильно-сепарувальних пристроях (МСП), які встановлені на валу, стеблова маса рухається по спіралеподібній траєкторії зі збільшуваним кроком. Частота обертання ротора складає близько 1,5 об/с. За подачі 10 кг/с швидкість руху потоку становить 14...15 м/с, а його осьова компонента сягає 3...5 м/с.

Діаметр ротора в зонах обмолоту та сепарації є важливою конструкційною характеристикою. У одно-роторних системах максимальний діаметр розташований у зоні входу, де встановлені спіральні лопаті. Збільшення діаметра ротора приводить до подовження шляху рослинної маси в робочій порожнині. Це, у свою чергу, збільшує кількість взаємодій робочих органів зі стебловою масою, покращує інтенсивність сепарації та підвищує ефективність обмолоту. Водночас збільшується площа решітної поверхні, що позитивно впливає на якість очищення зерна.

Типові технічні параметри роторів: при пропускній здатності $q = 8...12$ кг/с діаметр ротора становить $D = 700...770$ мм; при $q = 5...6$ кг/с — близько 750 мм. Довжина ротора без урахування вхідного патрубка — близько 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

$a_x u_\phi$ і опору ротора повітря $b_x u_\phi^3$ становить

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

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

Для штифтових роторів значення коефіцієнта a_h становить 5,0...5,5 Н, а для бітерних роторів — 0,85...0,90 Н на кожні 100 кг маси ротора (або барабана). Цей показник характеризує силу тертя в підшипниках, зведену до умовного елемента — кульки або штифта.

Коефіцієнт $c = 0,055...0,090$ описує аеродинамічний опір ротора, який визначається його геометричною формою, конфігурацією робочих елементів та густиною повітряного середовища.

Потужність, що витрачається на обертання ротора під час холостого ходу, є малою й зазвичай не перевищує 2–3 кВт.

Для робочих роторів цей показник має такі значення:

$$N_x = a_x u_p + b'_x u_p^3 + b''_x u_p^3, \quad (2.3)$$

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

Потужність холостого ходу ротора завдовжки 3 м зазвичай становить 10–12 кВт. Необхідна потужність молотарки N_o , що використовується для подолання

опору під час взаємодії ролика чи штифта з хлібною масою, визначається як добуток середньої окружної сили P , яка діє на ролик (барабан) або штифті ротора, та лінійної швидкості їх обертання. Формально це можна подати так:

$$N_o = Pu_o. \quad (2.4)$$

Для визначення середнього значення окружної сили, що діє на кульку ротора (або барабана), експериментальним шляхом була отримана така узагальнена залежність:

$$P = a_0q + b_0q^2, \quad (2.5)$$

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 - $a_0 = 100...200H(\kappa\text{гс} / \text{с})^{-1}$ і $b_0 = 8...10H(\kappa\text{гс} / \text{с})^{-2}$; аксіально-роторні - $a_0 = 120...160H(\kappa\text{гс} / \text{с})^{-1}$ і $b_0 = 8...15H(\kappa\text{гс} / \text{с})^{-2}$.

Менші значення цієї величини характерні для зернової маси з вологістю 8–10%, тоді як більші відповідають продукту з підвищеною вологістю 25–35%. Із зростанням вологості хлібної маси збільшується й сумарна потужність, необхідна для забезпечення стабільного обертання ротора (або барабана).

На основі співвідношень (2.1) та (2.2) можна записати узагальнений вираз для визначення потужності, потрібної для приводу барабана:

$$N = a_x u_o + b_x u_o^3 + (a_0 + b_0 q) q u_o, \quad (2.6)$$

а для ротора –

$$N = a_x u_p + b_x' u_o^3 + b_x'' u_o^3 (a_0 + b_0 q) q u_p. \quad (2.7)$$

Для моноблочних молотильно-сепаруючих пристроїв (МСП) з осьовим ротором при масовій подачі зернової маси $q = 10$ кг/с споживана потужність становить $N = 80...130$ кВт. Це означає, що такі роторні МСП витрачають у 1,5...2 рази більше енергії на 1 кг зерна, ніж барабанні МСП класичної схеми.

Водночас у традиційних барабанно-клавішних системах додатково необхідно передбачати 7–9 кВт для приводу бітерів та соломотрясів, що також впливає на загальний енергетичний баланс машини.

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

На соломовідділювачі від молотильно-сепарувального пристрою надходять суміші соломи неоднорідного складу, які можуть містити 55–80 % зерна, 20–45 % полови, частково недомолочені колоски, насіння бур'янів та різні механічні домішки. Такий матеріал відносять до так званої дрібної фракції.

Очисні системи комбайна призначені для відокремлення чистого зерна з цієї фракції з мінімально допустимими втратами, що не повинні перевищувати 0,3 %. Рівень очищення має відповідати установленим вимогам: не менше 97 % для більшості зернових культур і близько 95 % — для зернобобових та насіння кормових трав.

Прикладом сучасної конструкції очисно-молотильної системи є молотарка-очищувач CASE 2388, основні елементи якої наведено на рис. 2.1 і 2.2.

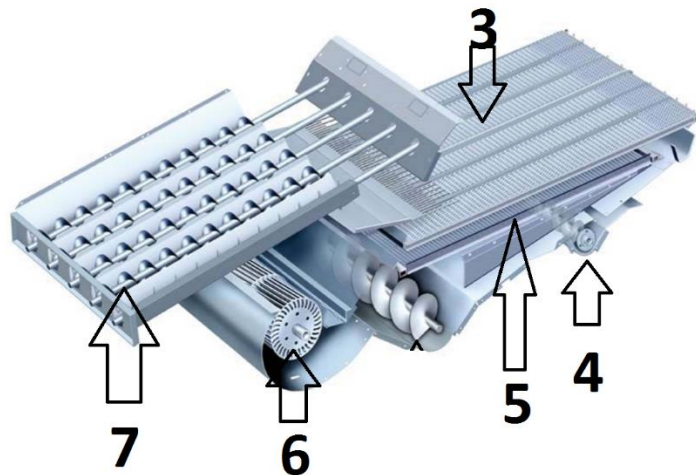


Рис. 2.1 – Конструктивно-технологічна схема системи очищення зерна в комбайні CASE 2388.

На відміну від традиційної схеми очищення, у якій застосовується хитна струшувальна дошка, у досліджуваній конструкції встановлено зерновий шнек. Таке технічне рішення дозволило усунути дві суттєві проблеми:

- зменшити втрати зерна під час роботи комбайна на схилах;
- запобігти налипанню маси на робочу поверхню дошки при збиранні вологих, забур'янених або важких ворохів.

Водночас шнековий транспортер подає ворох не розділеним на дві фракції, а єдиним потоком, що збільшує навантаження на очисні решета.

У такій конструкції очисна система функціонує таким чином: зерновий шнек 7 подає масу полови з вихідного отвору МСП на половий шків 3. Далі очищене зерно пересипається в черевичний шків 5, звідки надходить до зернового шнека, а потім — у зерновий бункер.

Крупні домішки, включно з недомолоченими колосками, виносяться передньою частиною верхнього решета та потрапляють у колосовий шнек 4, який подає їх у колосовий елеватор 1, а звідти — у другий колосовий шнек 2 для повторного обмолоту у молотарці.

Решета 3, 5 та вентилятор 6 здійснюють поділ вороху за розміром часток і під дією повітряного потоку. Для збирання різних культур застосовують решета з регульованим кутом нахилу жалюзі, що дозволяє адаптувати процес очищення до особливостей конкретної культури.

Пропускна здатність решета визначається залежно від типу культури, площі робочої поверхні та питомого навантаження:

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

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 соломистості (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, у досліджуваного комбайна CASE 2388 площа решітного стану становить $5,1 \text{ м}^2$, тоді як у різних моделей комбайнів, включно з селекційними зразками, цей показник перебуває в межах $1,75 \dots 7,5 \text{ м}^2$.

Висновок

Проведений аналіз конструкції та режимів роботи комбайна з валоповоротною молотильно-сепарувальною системою засвідчив, що в умовах лукопасовищних угідь комбайн CASE 2388 працює стабільно, без суттєвих експлуатаційних проблем.

Машина показала високу ефективність під час збирання таких культур, як ячмінь, пшениця, соняшник та кукурудза. Певні недоліки роторних систем проявляються на дуже вологому або пересушеному зерні, проте їх можна усунути шляхом регулювання зазорів у роторі та налаштування очисних шківів. Серед можливих ускладнень — забивання ротора вологою масою та накопичення дрібної соломи на решетах при збиранні пересушених культур.

3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма експериментальних досліджень

У машинно-тракторному парку фермерського господарства для виконання всього комплексу збиральних робіт використовується зернозбиральний комбайн CASE 2388 AXIAL-FLOW (рис. 3.1). Машина виготовлена у 2007 році та після п'яти сезонів роботи була придбана господарством у 2012 році. Комбайн перебуває у доброму технічному стані: всі регламентні технічні обслуговування виконані своєчасно, а аварійні відмови усунуті.



Рис. 3.1 – Зернозбиральний комбайн CASE 2388 AXIAL-FLOW під час виконання виробничих операцій.

Це свідчить про те, що голчасті підшипники у підвісній системі та шатунні вузли очисних шківів почали втрачати працездатність, що спричинило утворення тріщин у лонжеронах ситового блока та на самих очисних шківах.

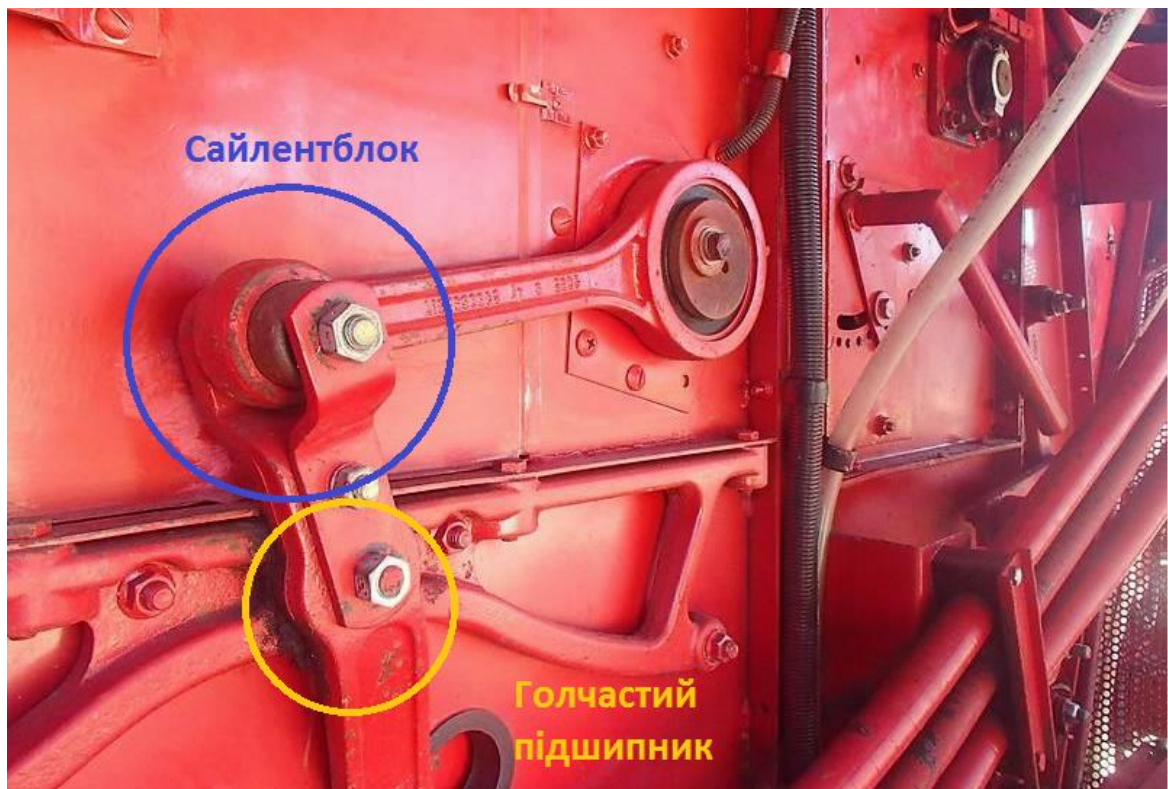


Рис. 3.2 – Приводний механізм коливного руху очисних решіт зернозбирального комбайна.



Рис. 3.3 – Конструкція рухомого вузла кріплення очисних решіт у системі очищення комбайна.

Було прийнято рішення провести випробування комбайна у фактичних робочих умовах, тому перший етап досліджень здійснювали на завантаженому полі. Оскільки отримання точних параметрів у робочому режимі комбайна в польових умовах є складним, додатково виконали вимірювання й на ненавантаженої ділянці.

Вібраційні характеристики реєстрували у двох взаємно перпендикулярних площинах — вертикальній та горизонтальній. Спочатку вимірювання проводили на базовому, немодифікованому комбайні без навантаження, після чого — на доопрацьованій машині як у холостому режимі, так і під час роботи з навантаженою очисною системою.

Порівняльний аналіз конструкції досліджуваного комбайна з аналогами іноземного виробництва показав, що передчасний вихід з ладу підшипників і сайлентблоків зумовлений недосконалим конструктивним виконанням очисного шківів. Зокрема, очисні решета мають лише два вузли кріплення — передній і задній, тоді як у закордонних комбайнах їх кількість становить від чотирьох до шести. З огляду на значну масу решіт, наявних точок кріплення недостатньо, що призводить до їх перевантаження та прискореного зношування.

Додатково встановлено, що підвищена вібрація внаслідок незбалансованості очисної системи також сприяє виходу з ладу підшипників і зменшенню ресурсу елементів підвіски.

Щоб виключити можливість заводського дефекту, було проведено опитування та консультації з власниками комбайнів аналогічної моделі, які експлуатуються в інших господарствах. Під час спілкування з користувачами комбайна CASE 2388 AXIAL-FLOW з'ясувалося, що зазначений конструктивний недолік є характерним для всієї модельної серії, а не лише для окремих машин.

3.2 Прилади та обладнання досліджень

Під час проведення досліджень використовувалися штангенциркулі, мікрометри, кернографи, а також віброметр АТТ-9002. Для виготовлення необхідних пластин застосовували шліфувальне, свердлильне та зварювальне обладнання.

Детальніше розглянемо віброметр АТТ-9002, який використовували для вимірювання параметрів вібрації очисного просіювача комбайна. Цей цифровий портативний прилад призначений для визначення віброприскорення та віброшвидкості. Діапазон вимірювання віброшвидкості становить $0 \dots 200$ мм/с, а віброприскорення — $0 \dots 200$ м/с². Зовнішній вигляд пристрою та розміщення його органів керування наведено на рис. 3.4.

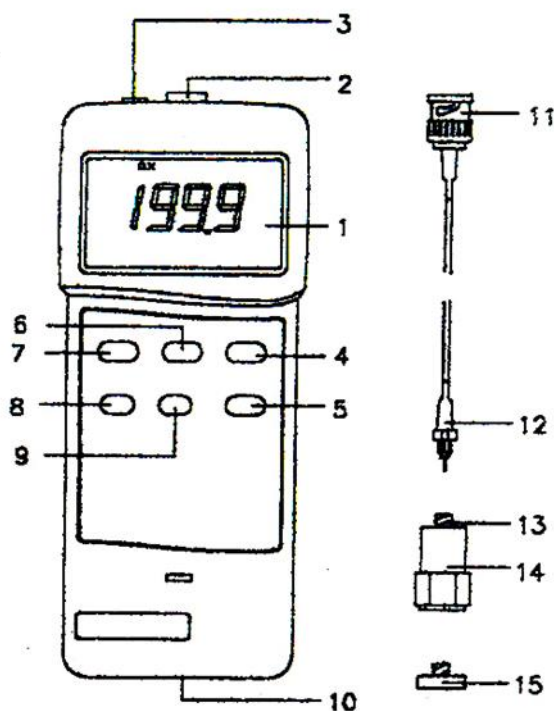


Рис. 3.4 – Зовнішній вигляд вимірювача вібрації АТТ-9002:

1 – дисплей; 2 – роз'єм для підключення вимірювального зонда; 3 – інтерфейсний вихід RS-232; 4 – перемикач режимів RMS/PEAK (середньоквадратичне/пікове значення); 5 – перемикач ACC/VEL (прискорення/швидкість); 6 – кнопка утримання показів; 7 – кнопка «Увімк./Вимк.»; 8 – кнопка запису даних; 9 – кнопка виклику з пам'яті; 10 – батарейний відсік з кришкою; 11 – BNC-роз'єм

кабелю датчика; 12 – міні-роз'єм датчика; 13 – гніздо підключення датчика вібрації; 14 – сам датчик вібрації; 15 – магнітна основа датчика.

Правила користування віброметром АТТ-9002:

1. Під'єднайте вимірювальний зонд до відповідного гнізда та підготуйте прилад до роботи (див. рис. 3.4).

2. Піднесіть датчик до досліджуваної поверхні таким чином, щоб його магнітна основа щільно прилягала до об'єкта в напрямку осі Z. Якщо поверхня немагнітна, утримуйте зонд вручну, забезпечуючи надійний контакт із поверхнею.

3. Увімкніть прилад, натиснувши кнопку «Вкл/Викл».

4. Встановіть перемикач ACC/VEL у положення ACC. Виконайте вимірювання віброприскорення у напрямку Z в усьому діапазоні частот, змінюючи частоту за допомогою регуляторів множника та плавного налаштування генератора. Отримані дані занесіть у таблицю звіту.

5. Переведіть перемикач ACC/VEL у положення VEL. Виміряйте віброшвидкість об'єкта у напрямку Z за аналогічною процедурою. Результати знову внесіть у таблицю.

6. Вимкніть генератор. Зніміть об'єкт із вібростола, встановіть модуль віброізоляції та закріпіть конструкцію на столі стенда. Знову увімкніть генератор.

7. Зафіксуйте зонд АТТ-9002 на досліджуваній поверхні магнітною основою та повторіть вимірювання віброприскорення відповідно до п. 4. Результати занесіть у звітну таблицю.

8. Після завершення роботи вимкніть як вимірювальний прилад, так і генератор.

3.3 Польові дослідження комбайна

Польові випробування базового комбайна були проведені у 2015 році, за результатами яких встановлено низку особливостей його роботи. Дослідження показали, що на малих робочих швидкостях (2–3 км/год) навантаження на очисну систему суттєво зменшується, і тому проблемні вузли зношуються значно

повільніше, ніж при роботі на рекомендованій швидкості 4–5 км/год. Водночас зниження швидкості призводить до появи інших суттєвих недоліків:

Різке падіння продуктивності, що збільшує тривалість збирання врожаю та може спричинити значні економічні втрати для господарства.

Підвищене паливоспоживання на гектар, що є критичним фактором при роботі на значних площах. Роторні комбайни традиційно відрізняються вищими витратами пального порівняно з машинами барабанного типу, і робота на занижених швидкостях лише погіршує цей показник.

Складність і трудомісткість ремонту, зокрема заміна пошкоджених деталей, таких як сайлентблоки. Додатковою проблемою є те, що після демонтажу коромисла 24 виникає потреба у повторному налаштуванні решіт за допомогою регулювальної шайби 25 (рис. 3.5), що значно збільшує загальний час простою техніки.

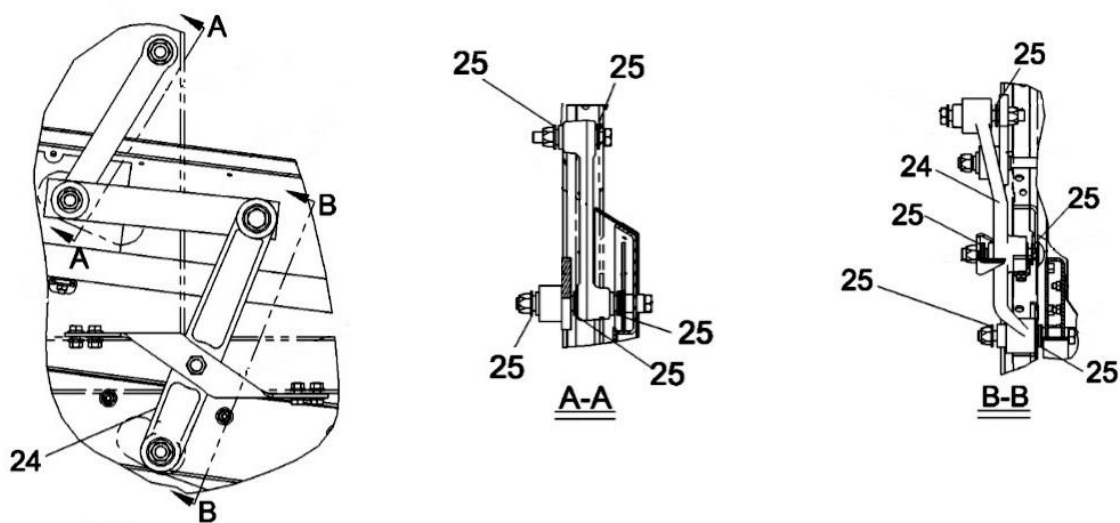


Рис. 3.5 – Коромисловий механізм приводу решітного стану в системі очищення комбайна.

Зростання експлуатаційних витрат, включно з оплатою праці комбайнерів, а також низка інших економічних факторів.

З огляду на це польові випробування базового комбайна були проведені на декількох ділянках (дві ділянки озимої пшениці та дві ділянки соняшнику), причому умови місцевості та культура суттєво різнилися (табл. 3.1).

Під час збирання озимої пшениці на ділянці №1 було встановлено, що система очищення комбайна виходила з ладу після намолоту:

- 70 т при швидкості 3 км/год,
- 45 т при швидкості 4 км/год,
- 20 т при швидкості 5 км/год.

На полі №2 несправність фіксувалася після намолоту:

- 53 т при швидкості 3 км/год,
- 35 т при швидкості 4 км/год,
- 15 т при швидкості 5 км/год.

Ураховуючи підвищену забур'яненість ділянок, було встановлено, що відмови комбайна мають чітку залежність від робочої швидкості: зі збільшенням швидкості різко зменшується допустимий намолот до моменту поломки. При цьому ухил рельєфу, згідно з результатами дослідження, істотного впливу на відмови не мав.

Під час збирання соняшнику спостерігалася аналогічна залежність між швидкістю руху комбайна та частотою відмов, хоча значення намолоту перед виходом системи з ладу дещо відрізнялися через інші фізико-механічні властивості культури. Підсумкові результати наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Узагальнені результати експериментальних досліджень роботи базового зернозбирального комбайна

Поле	1	2	3	4
Культура	Озима пшениця	Озима пшениця	Соняшник	Соняшник
Врожайність, ц/га	42	25	30	18
Ухил місцевості, %	5	7	5	6
Забур'яненість, %	10	30	15	35
Швидкість руху, км/год	2	2	2	2
	3	3	3	3
	4	4	4	4
Вихід з ладу після обмолоту, т	70	53	80	52
	45	35	53	34
	20	15	24	16

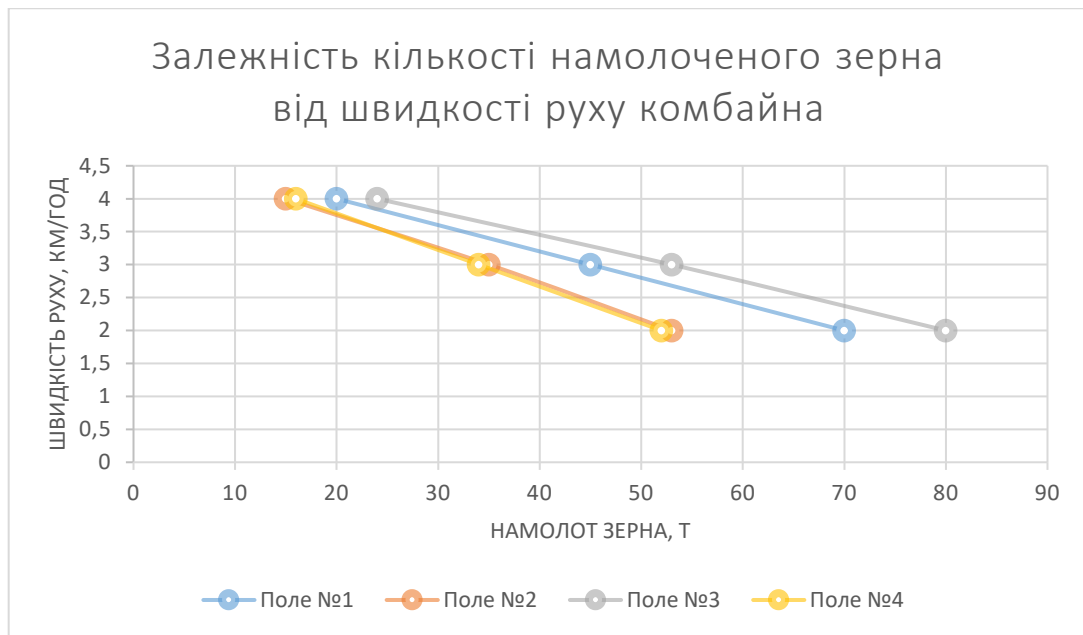


Рис. 3.6 – Графічне відображення результатів експериментальних досліджень базового комбайна.

Для усунення виявлених недоліків та запобігання подальшим відмовам необхідно вдосконалити конструкцію існуючих зернозбиральних комбайнів і забезпечити роботу машини в оптимальному діапазоні швидкостей. До початку досліджень комбайни працювали зі швидкістю близько 2 км/год, що є недостатнім для своєчасного та ефективного збирання врожаю.

3.4 Зміни в конструкції дослідного зразка

Для усунення проблем передчасного виходу з ладу підшипників у підвісному вузлі («павуку») системи очищення комбайна CASE 2388, а також для запобігання появі тріщин у лонжеронах решітного стану, були запропоновані та впроваджені такі конструктивні заходи:

Підвищення надійності та довговічності підвісної системи шляхом встановлення додаткового голчастого підшипника (рис. 3.5 і 3.6). Реалізація цього рішення передбачала заміну штатних шайб у підвісному механізмі на голчасті підшипники аналогічних розмірів до тих, що вже заводськи встановлені в конструкції. Така модернізація забезпечує зменшення зносу вузла та не перешкоджає надходженню мастила у підшипникову пару.

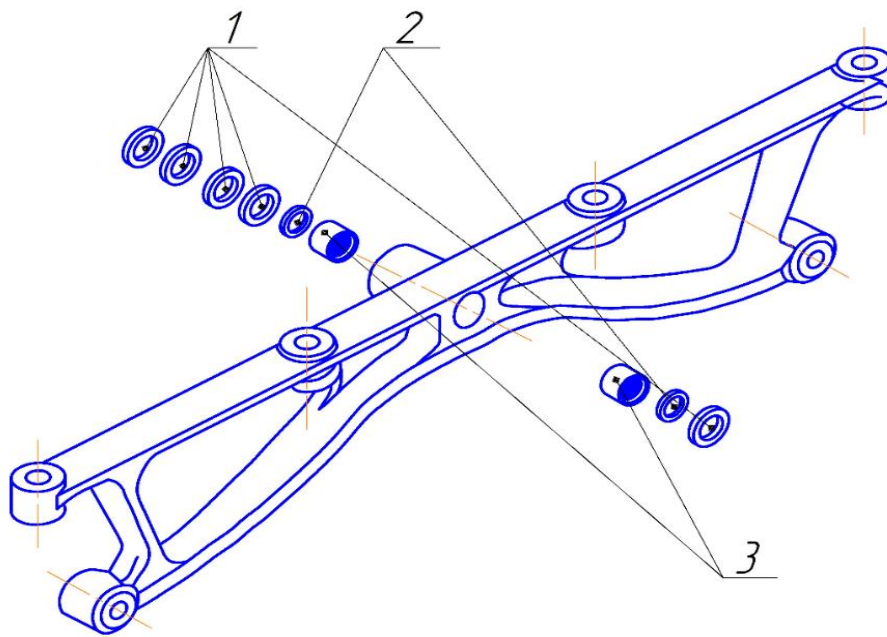


Рис. 3.6 – Конструктивна схема підвісного вузла базового зернозбирального комбайна: 1 – шайба 29/32" $\times$ 1 1/2" $\times$ 0,060"; 2 – ущільнювальна манжета; 3 – голчастий підшипник.

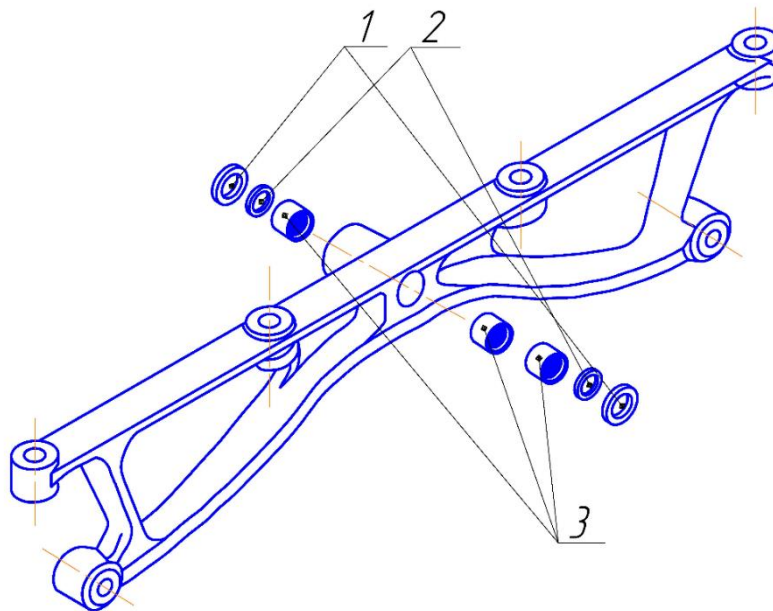


Рис. 3.7 – Модернізований підвісний вузол удосконаленого комбайна: 1 – шайба 29/32" $\times$ 1 1/2" $\times$ 0,060"; 2 – ущільнювальна манжета; 3 – голчастий підшипник.

Для запобігання тріщинам у стійках (рамі) решітного стану та недопущення розривів очисного сита до конструкції рамної частини було додатково приварено підсилювальну пластину, що забезпечує збільшення її жорсткості та міцності (рис. 3.8).

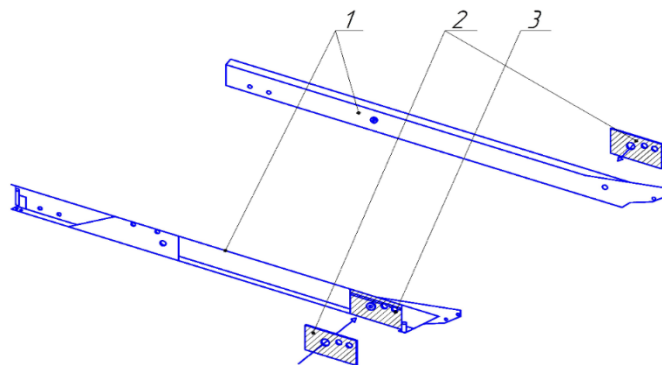


Рис. 3.8 – Схема посилення рами решітного стану: 1 – лонжерони (основна рама); 2 – підсилювальні пластини; 3 – зони їх кріплення.

Для зменшення ймовірності відмов сайлентблоків було прийнято рішення щодо впровадження конструктивних змін у вузлах, де ці елементи встановлені, з метою підвищення їхньої довговічності та надійності.

Висновок

У цьому розділі наведено результати базових досліджень та польових випробувань комбайнів, а також описано розроблену та впроваджену вдосконалену систему очищення комбайна CASE 2388, спрямовану на забезпечення стабільної та ефективної роботи машини під час збирання врожаю.

Установлено, що під час збирання кукурудзи навантаження на очисну систему значно зростають, унаслідок чого її елементи можуть виходити з ладу швидше, ніж при роботі на пшениці або соняшнику. Це підтверджує необхідність подальших конструктивних удосконалень для підвищення довговічності комбайнів у складних експлуатаційних умовах.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Польові дослідження

Голчасті підшипники підвісної системи очищення комбайна CASE 2388 зазнали руйнування внаслідок надмірних ударних навантажень, що передавалися на підшипниковий вузол під час роботи. Для усунення цієї проблеми було прийнято рішення встановити третій додатковий голчастий підшипник у вже наявний вузол, розмістивши його замість демонтованої шайби. Таке конструктивне доопрацювання дозволило збалансувати роботу очисної системи, збільшити площу опорного контакту та підвищити стійкість вузла, що суттєво подовжило його ресурс.

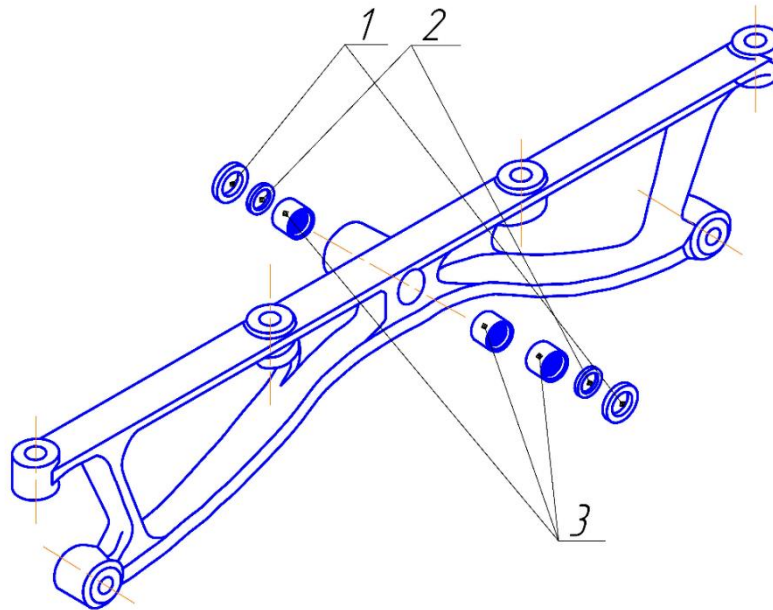


Рис. 4.1 – Конструкція модернізованого підвісного вузла удосконаленої машини:

1 – шайба $29/32'' \times 1\ 1/2'' \times 0,060''$; 2 – ущільнювальна манжета; 3 – голчастий підшипник.

Додаткові підшипники були встановлені у підвісній системі з обох боків комбайна, що забезпечило симетричне підсилення та підвищення надійності вузла. Для оцінювання ефективності модернізації проведено порівняльний огляд базового

та вдосконаленого варіантів машини, а результати спостережень внесено до відповідних таблиць.

На рисунку 4.2 наведено конструкцію очисної системи, у якій транспортний механізм виконано у вигляді набору паралельно розташованих шнеків 8, змонтованих у відкритому коробі безпосередньо під молотильним агрегатом. Подібне технічне рішення описано, зокрема, в патентах США [19]. Саме така система очищення застосована і на досліджуваних моделях комбайнів.

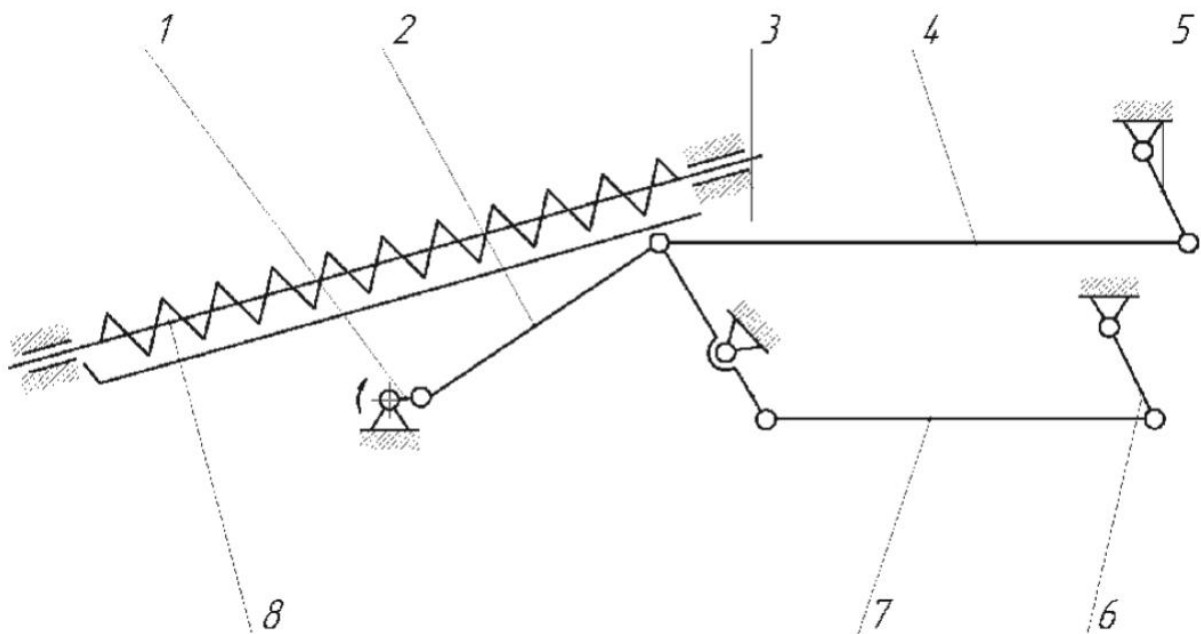


Рис. 4.2 – Схематична будова системи очищення із шнековим транспортним механізмом: 1 – кривошип; 2 – шатун; 3 – двоплече коромисло; 4 – верхній решітний стан; 5, 6 – шарнірні підвіски; 7 – нижній решітний стан; 8 – шнековий транспортер.

Особливістю розглянутих систем очищення є те, що в їхній конструкції відсутня струшувальна пластина, яка забезпечує статичне врівноваження ситових блоків 4 і 7. Цю конструктивну недосконалість можливо усунути шляхом приварювання додаткової пластини. Встановлення такого елемента не лише не погіршує балансування ситового млина, а навпаки — сприяє кращому розподілу маси й підвищенню стабільності роботи системи.

Для досягнення повного врівноваження ситового млина було прийнято рішення встановити додатковий вантаж на його опорну конструкцію. Ці вантажі виконують функцію підсилювальних пластин рами. Оскільки господарство не мало можливості створити спеціалізований стенд, усі необхідні випробування проводили безпосередньо на комбайні — до й після внесення конструктивних удосконалень. Для балансування використовувалися пластини масою по 2,5 кг кожна.

Основними критеріями оцінювання оптимальності роботи системи були значення вертикальних і горизонтальних віброприскорень, які реєструвалися з панелі механізму за допомогою віброметра АТТ-9002. Мінімальні значення віброприскорення свідчили про ефективну та стабільну роботу очисної системи, тоді як підвищені показники вказували на наявність дисбалансу або інших небажаних коливань.

Перед початком основного експерименту були виміряні базові значення горизонтальних і вертикальних коливань панелі комбайна. За середньої частоти обертання двигуна (1300 об/хв) горизонтальні та вертикальні амплітуди становили відповідно 55 і 30 мкм, тоді як при збільшенні частоти до 2000 об/хв вони зростали до 110 і 45 мкм. Це підтверджує, що з підвищенням частоти обертання колінчастого вала збільшується інерційна складова, що, у свою чергу, призводить до зростання амплітуди вібрацій.

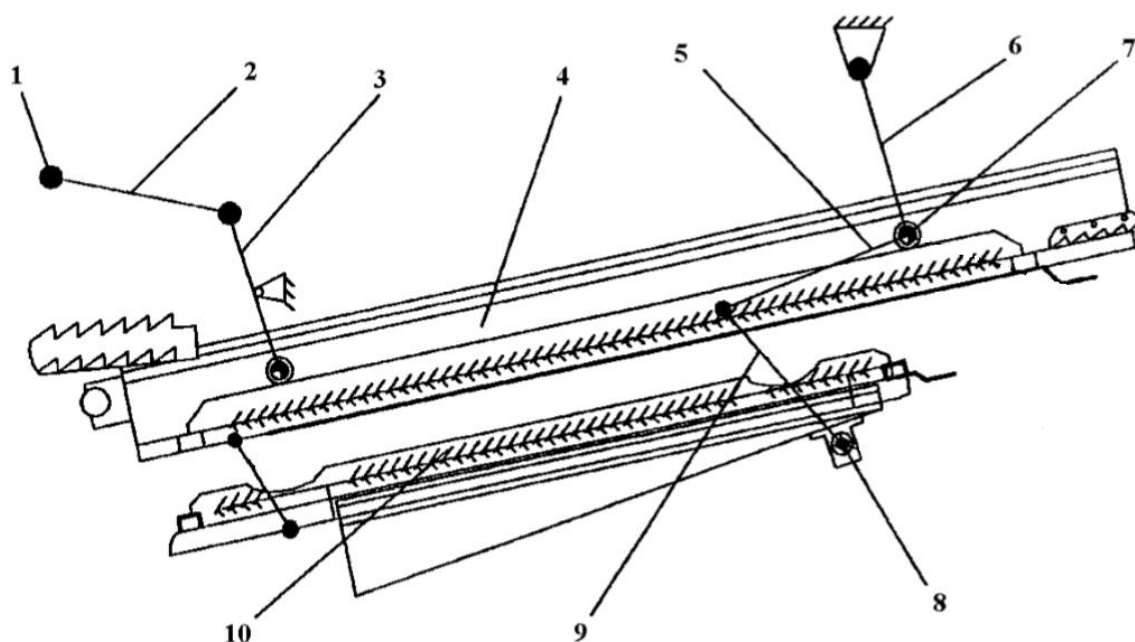


Рис. 4.3 – Механізм коливального руху решітного стану:

1 – опорні підшипники коливального вала; 2 – шатун; 3 – приводний важіль; 4 – верхнє решето; 5, 6 – підвісні елементи; 7 – задня опорна вісь коливання верхнього решета; 8 – нерухома вісь важільного механізму; 9 – двоплечий важіль; 10 – нижнє решето.

Результати вимірювання віброприскорень системи очищення подано у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Показники віброприскорень, зафіксованих на конструктивних елементах панелей 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 отриманих експериментальних даних, наведених у таблиці 4.1, свідчить про появу додаткових збуджувальних навантажень у роботі вузла. Це

зумовлює суттєвий розрив між максимальними та мінімальними значеннями віброприскорень, що наочно ілюструється на рис. 4.4.

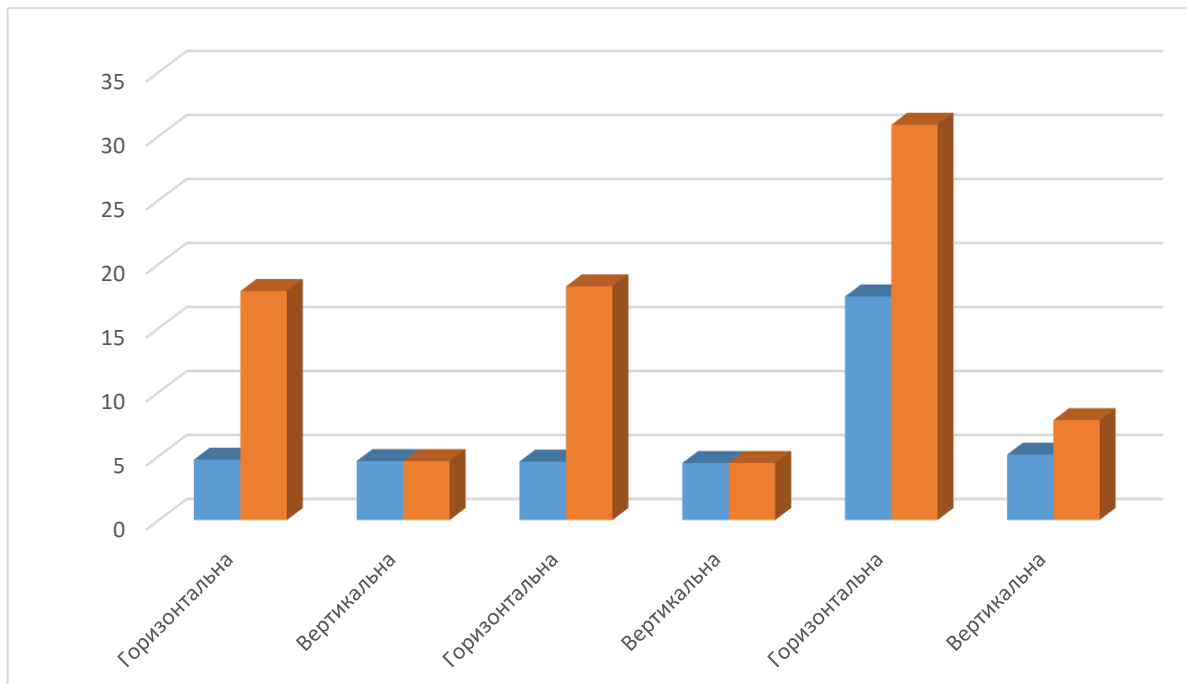


Рис. 4.4 – Графічне відображення рівнів віброприскорень на панелях системи очищення.

У порівнянні з базовою конструкцією застосування балансувальних плит (як із додатковими вантажами, так і без них) дозволило істотно зменшити рівень вібраційних навантажень у горизонтальній площині та помітно знизити їх у вертикальній. Відсоткові значення зменшення амплітуд вібрацій наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Показники зменшення рівнів віброприскорень 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 показано в таблиці 4.2, застосування балансувальних пластин забезпечує істотне зменшення віброприскорень. Для додаткового усунення впливу збуджувальних сил у систему очищення було внесено низку конструктивних змін. Під час подальших вимірювань для визначення критичної маси балансувальної пластини застосовували додаткові вантажі: у кожному циклі випробувань на пластину встановлювали одну додаткову шайбу масою 0,6 кг.

Підсумкові результати наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – 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 свідчить, що віброприскорення панелі очисної системи змінюється залежно від маси встановлених балансувальних вантажів. Найвище значення віброприскорення було зафіксовано при використанні п'яти додаткових вантажів. У зв'язку з цим було прийнято рішення відмовитися від подальшого збільшення маси балансирів, оскільки наявних пластин виявилось достатньо для досягнення оптимального балансування очисної системи рис.4.5.

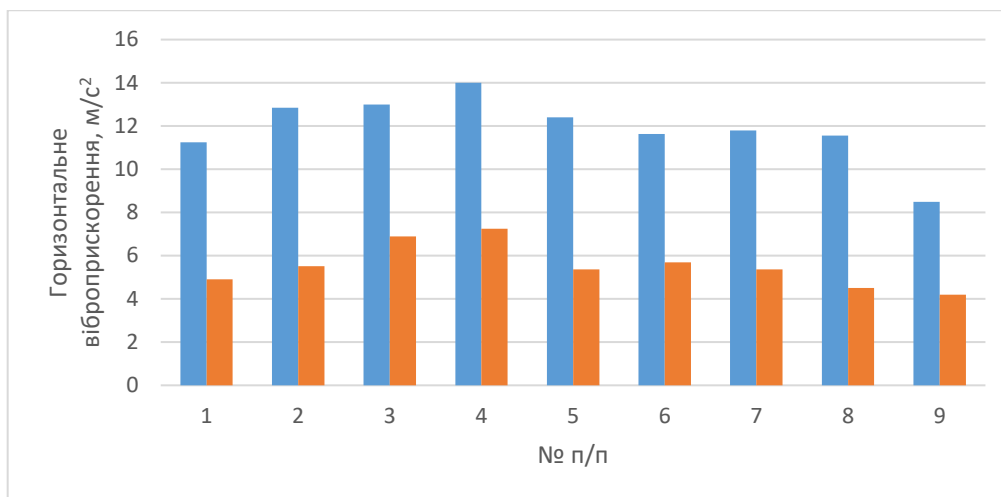


Рис. 4.5 – Зміна рівня віброприскорень на панелях системи очищення залежно від маси балансирних вантажів.

4.2. Дослідження у полі

Було також проведено дослідження з визначення витрати дизельного палива на гектар обмолоченої площі. Отримані результати засвідчили зниження паливоспоживання з 9,98 л/га до 8,78 л/га (рис. 4.2). Оскільки експеримент тривав упродовж кількох збиральних сезонів, для забезпечення коректності порівнянь викликалися ділянки з однаковою врожайністю та схожими рельєфними умовами (табл. 4.1).

Таблиця 4.4 – Порівняльні показники паливної витрати машини до та після проведення модернізації

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

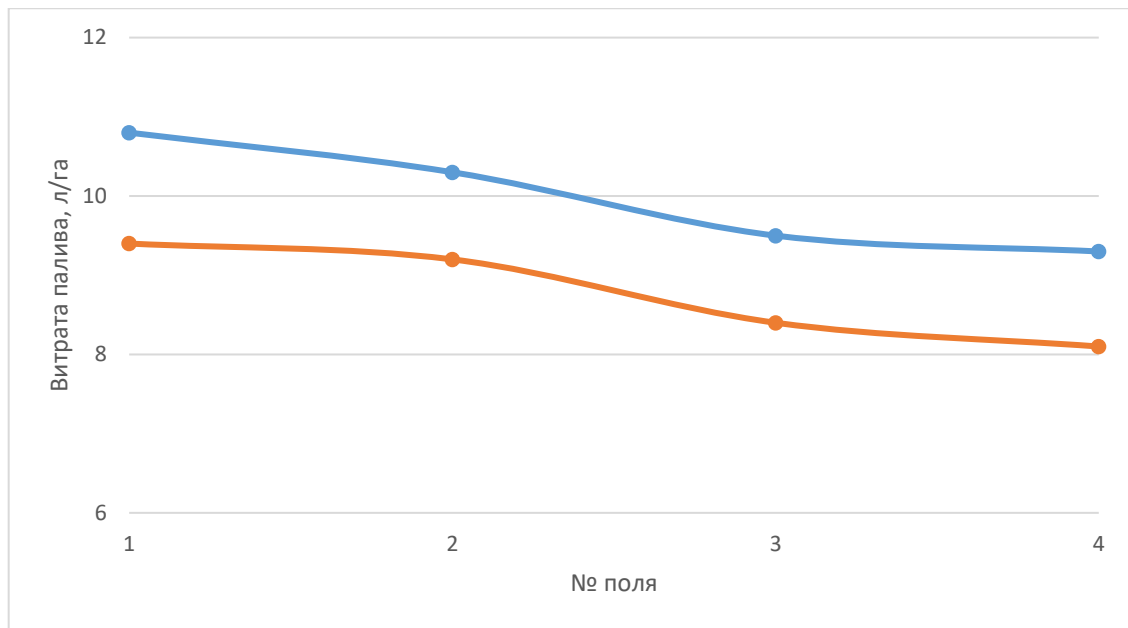


Рис. 4.6 – Порівняння паливних витрат машини до та після удосконалення.

Додатково було виконано розрахунок приросту ефективності роботи модернізованих установок.

$$W_{зм} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot T_{зм}, \quad (4.1)$$

На досліджуваному комбайні встановлено жатку CASE 2020 із шириною захвату 7,62 м.

Під час експериментальних випробувань базова модифікація машини працювала зі швидкістю 2 км/год, тоді як удосконалена (проектна) – 4 км/год. Тривалість робочої зміни становила 7 годин.

Підставимо вихідні дані у розрахункові формули:

$$W_{зм}^{\bar{o}} = 0,1 \cdot 7,62 \cdot 2 \cdot 7 = 10,672a$$

$$W_{зм}^n = 0,1 \cdot 7,62 \cdot 4 \cdot 7 = 21,332a$$

У підсумку модернізований комбайн отримав можливість працювати на оптимальній робочій швидкості, при цьому змінна продуктивність машини зросла у два рази, без виникнення відмов або перевантажень у системі очищення (рис. 4.7).

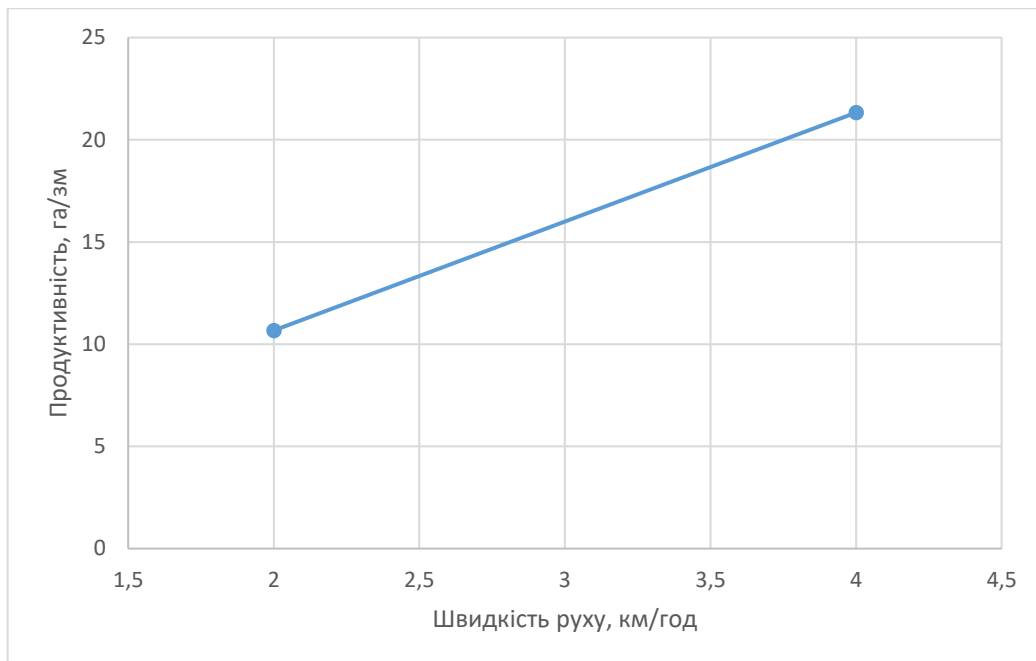


Рис. 4.7 – Графік залежності робочої швидкості комбайна, км/год.

Висновок

Експертний аналіз підтвердив, що якість роботи модернізованого комбайна повністю відповідає агротехнічним нормам. Його фактична продуктивність узгоджується із заводськими технічними параметрами. Машина стабільно виконує всі технологічні операції навіть за максимальної робочої швидкості **5,5 км/год**. Відмінності у функціонуванні технічних систем серійного та удосконаленого комбайнів чітко простежуються: робоча швидкість збільшилася, паливна витрата зменшилася, а очисна система вийшла на раціональний режим роботи з підвищеною ефективністю.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Організація охорони праці при роботі на комбайні CASE 2388

Низку організаційних та профілактичних заходів щодо забезпечення безпечних умов праці здійснюють спеціалісти з охорони праці, які також контролюють правильність виконання робіт. Відповідальним за виробничу дільницю призначається уповноважена особа, яка координує виконання всіх вимог безпеки. Інженери, технічні працівники та інші фахівці проводять навчання й інструктажі з охорони праці для всіх працівників, незалежно від їхнього досвіду та кваліфікації. Інструктаж обов'язковий для всіх бригад, незалежно від рівня ризику, пов'язаного з виробничими процесами.

До роботи з обладнанням допускаються лише працівники, які пройшли навчання, ознайомилися з правилами охорони праці та техніки безпеки й опанували інструкції з експлуатації машин. Забороняється використовувати несправне обладнання, а також виконувати регулювання, змазування або очищення машин під час їх роботи та без необхідних огорожень. При проведенні налаштувань чи ремонту обов'язково відключається головний автоматичний вимикач, а на щиті встановлюється попереджувальний плакат «Не вмикати».

Усі мийні та дезінфекційні засоби повинні мати сертифікати якості, зберігатися у герметичних контейнерах та видаватися лише підготовленому персоналу, який використовує відповідні засоби індивідуального захисту. Використання несертифікованих розчинів або залучення до роботи осіб без спеціального допуску забороняється.

Рівень шуму обладнання в робочих приміщеннях не повинен перевищувати 60 дБ. Для запобігання нещасним випадкам необхідно регулярно, не рідше одного разу на місяць, перевіряти затягування кріпильних елементів — гайок, болтів і гвинтів. Чистота та порядок у зоні ремонту й на прилеглій території мають підтримуватися постійно. В зимовий період особливу увагу слід приділяти

очищенню шляхів евакуації від снігу та льоду; усі входи та проходи повинні бути вільними. Заборонено здійснювати самовільні прибудови чи встановлювати додаткові навіси.

Правильне використання паливно-мастильних матеріалів є ключовим чинником пожежної безпеки. Відповідальність за дотримання цих вимог несуть підприємство та уповноважена особа.

Система охорони праці забезпечує соціальний захист працівників, які зазнають впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Організаційні аспекти охорони праці регулюються законодавством, нормативно-правовими актами та технічною документацією. Працівники інженерно-технічних спеціальностей щороку проходять навчання з охорони праці, яке включає інструкції, наочні матеріали та відпрацювання прийомів безпечної роботи з обладнанням.

Разом із тим у господарстві виявлено ряд недоліків: відсутність сигнального маркування та знаків безпеки, недостатнє оснащення санітарних приміщень, відсутність куточків з охорони праці на польових ділянках і місцях відпочинку, відсутність кімнат для оздоровчого харчування, слабо організовані кабінети та пересувні лабораторії. Також недостатньо забезпечуються працівники засобами індивідуального захисту, а ремонтний інструмент часто перебуває в незадовільному стані.

Попри це, на підприємстві розроблено вимоги з охорони праці при роботі з комбайном CASE 2388, яких зобов'язані дотримуватися всі працівники.

5.2. Загальні вимоги охорони праці при роботі на комбайні

До самостійної роботи допускаються лише ті працівники, які ознайомилися з конструкцією машини, правилами експлуатації, опанували технологічні процеси, передбачені інструкцією, та пройшли навчання й перевірку знань.

Виконання робіт здійснюється виключно за вказівкою бригадира.

Перед початком роботи працівник має одягнути спецодяг і взуття, підготувати робоче місце та перевірити необхідне обладнання.

Підтримання чистоти робочої зони є обов'язковим; заборонено блокувати засоби пожежогасіння.

Про всі помічені несправності необхідно негайно повідомляти керівника.

Працівники повинні знати правила надання першої медичної допомоги і повідомляти про будь-який нещасний випадок.

Порушення вимог охорони праці тягне за собою адміністративну або судову відповідальність.

Висновок

Модернізований зернозбиральний комбайн є безпечним у роботі та не створює додаткових ризиків для персоналу. За умови дотримання вимог заводу-виробника та правил охорони праці управління машиною є надійним, безпечним та не викликає складнощів.

6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ

Метою розрахунку економічної ефективності є визначення ключових показників — річної економії та терміну окупності модернізованої машини. Отримані значення дають змогу оцінити доцільність упровадження технічних удосконалень у виробничий процес. Вихідні дані для проведення розрахунків наведено в таблиці 6.1.

Самі розрахунки подано в додатку А дипломної роботи, а узагальнені результати представлено в таблиці 6.3.

Таблиця 6.1 – Основні вихідні дані, використані у дипломній роботі

	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

Таблиця 6.3 – Техніко-економічні показники роботи дослідного та базового комбайнів

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 підтверджують економічну доцільність модернізації зернозбиральних комбайнів для умов господарства та специфіки вирощуваних культур. Річний економічний ефект становить 38 874 грн, що свідчить про істотне зниження експлуатаційних витрат. Термін окупності додаткових капітальних вкладень є надзвичайно коротким — лише 0,12 року, тобто кілька тижнів, що робить впровадження удосконалень фінансово обґрунтованим та ефективним рішенням.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У роботі проведено комплексне дослідження та випробування базового комбайна CASE 2388 AXIAL-FLOW з метою встановлення причин виникнення дефектів у роботі системи очищення.
2. Комбайн був випробуваний у різних умовах — на чотирьох ділянках із різною врожайністю та рельєфом. Це дозволило визначити залежність між режимами роботи машини, умовами навантаження та параметрами комбайна. Найбільший вплив на частоту відмов очисної системи мала робоча швидкість: її збільшення призводило до прискореного виникнення несправностей.
3. Удосконалена система очищення, розроблена та впроваджена для комбайна CASE 2388, забезпечила оптимальні умови роботи машини під час збирання всього врожаю, вирощуваного в господарстві.
4. Комплекс конструктивних доопрацювань — установлення додаткових підшипників у вузол опори решітного стану, підсилення рами за рахунок приварювання пластин, балансування системи очищення балансувальними пластинами — дозволив знизити ударні навантаження на раму, підшипники та сайлентблоки та підвищити ефективність роботи решітного стану.
5. Розроблено спеціальне обладнання для покращення умов праці комбайнера під час виконання робіт зі заміни підшипників і сайлентблоків на комбайнах CASE 2388.
6. Економічний ефект від упроваджених удосконалень становив 38 874 грн, а термін окупності — лише 0,12 року, що свідчить про високу економічну ефективність модернізації.
7. Завдяки внесеним змінам комбайн зміг працювати в оптимальному режимі без раптових відмов, при цьому були досягнуті заводські показники щодо робочої швидкості та витрати пального.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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., Софина 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.

20. Закон України: Про охорону праці (Стаття 21) [Електронний ресурс] / Режим доступу: // rada.gov.ua.

ДОДАТКИ

Для проведення економічної оцінки проекту необхідно визначити такі пункти:

1. Змінна продуктивність агрегату (W_{3M}), га/зм;

$$W_{3M} = W_{год} \cdot 7. \quad (6.1)$$

$$W_{3M}^6 = 1,524 \cdot 7 = 10,67,$$

$$W_{3M}^n = 3,05 \cdot 7 = 21,34.$$

2. Витрата робочого часу на одиницю роботи агрегату (B), люд.-год./га:

$$B = \frac{K_{np} \cdot T_{3M}}{W_{3M}}. \quad (6.2)$$

$$B^6 = \frac{2 \cdot 7}{10,67} = 1,31,$$

$$B^6 = \frac{2 \cdot 7}{21,34} = 0,66.$$

3. Нормативне завантаження агрегату (T_n), га:

$$T_n = \frac{Q}{W_{год}}, \quad (6.3)$$

$$T_n^6 = \frac{300}{1,52} = 197,37,$$

$$T_n^n = \frac{300}{3,05} = 98,43.$$

4. Нормативні витрати на ТО,ПР, КР, зберігання (грн):

$$H_{рем} = \frac{B \cdot 0,097 \cdot W_{год}}{T_n}, \quad (6.4)$$

$$H_{рем}^6 = \frac{3000000 \cdot 0,097 \cdot 1,52}{197,37} = 224107,$$

$$H_{рем}^n = \frac{3005000 \cdot 0,097 \cdot 3,05}{98,43} = 90321.$$

Для розрахунку економічної ефективності визначаємо показники наведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2.

Розрахункові показники впровадження проекту		
Показники	Варіанти	
	базовий	проектний
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

Експлуатаційні витрати (EB) всього, грн./га:

$$EB = 3П + A + B_{ам} + B_{рем} + IB, \quad (6.5)$$

де $3П$ – заробітна плата з нарахуваннями, грн./га:

$$3П = \frac{ТС}{W_{год}} \cdot 1,2 \cdot 1,22, \quad (6.6)$$

де $3П$ – заробітна плата;

$ТС$ – тарифна ставка, грн. ($ТС = 111,18$);

1,2 – коефіцієнт, що враховує додаткову доплату;

1,22 – коефіцієнт, що враховує розмір відрахувань на соціальні заходи;

$$ЗП^{\delta} = \frac{111,18}{1,52} \cdot 1,2 \cdot 1,22 = 107,08,$$

$$ЗП^{\eta} = \frac{111,18}{3,05} \cdot 1,2 \cdot 1,22 = 53,3.$$

- амортизація основних засобів, грн./га:

$$A = \frac{B \cdot \lambda}{100 \cdot Q}, \quad (6.7)$$

де B - балансова вартість, грн;

λ - норма амортизації, % ($\lambda = 16$ - для комбайна);

Q - обсяг робіт, га або т;

для комбайна CASE 2388 AXIAL-FLOW:

$$A^{\delta} = \frac{3000000 \cdot 16}{100 \cdot 300} = 1600,$$

$$A^{\eta} = \frac{3005000 \cdot 16}{100 \cdot 300} = 1602,67.$$

Всього $A^{\delta} = 1600$ грн/га та $A^{\eta} = 1603$ грн/га

- витрати на ПММ, грн/га:

$$B_{\text{пмм}} = H_{\text{пмм}} \cdot U_{\kappa}, \quad (6.8)$$

де $H_{\text{пмм}}$ - норма витрати палива, кг/га ($H_{\text{пмм}} = 8,57$ для базового агрегату та $H_{\text{пмм}} = 7,55$ для проектного);

U_{κ} - комплексна ціна 1 кг ПММ, грн. ($U_{\kappa} = 63,78$ грн);

$$B_{\text{пмм}}^{\delta} = 8,57 \cdot 63,78 = 546,59,$$

$$B_{\text{пмм}}^{\eta} = 7,55 \cdot 63,78 = 481,53.$$

- затрати на КР, ПР, ТО та зберігання, грн/га:

$$B_{\text{рем}} = \frac{K \cdot H_{\text{рем}}}{W_{\text{год}}}, \quad (6.9)$$

де K – коефіцієнт переводу тракторів в умовні еталонні ($K = 2,1$);

$H_{рем}$ – норма відрахувань на КР, ПР, ТО та зберігання;

$W_{год}$ – годинна продуктивність агрегату га/год;

$$B_{рем}^{\bar{}} = \frac{2,1 \cdot 12,5}{1,52} = 21,$$

$$B_{рем}^{\pi} = \frac{2,1 \cdot 12,5}{3,05} = 8,61.$$

Інші витрати складають 3 % від загальної суми експлуатаційних витрат, \$:

$$IB = \frac{(3П + А + B_{гмм} + B_{рем}) \cdot 3}{100}. \quad (6.10)$$

$$IB^{\bar{}} = \frac{(107,08 + 1600 + 546,59 + 21) \cdot 3}{100} = 68,24,$$

$$IB^{\pi} = \frac{(53,3 + 1603 + 481,53 + 8,61) \cdot 3}{100} = 64,39$$

Отже експлуатаційні витрати будуть дорівнювати грн/га:

$$EB^{\bar{}} = 107,08 + 1600 + 546,59 + 21 + 68,24 = 2342,91,$$

$$EB^{\pi} = 53,3 + 1603 + 481,53 + 8,61 + 64,39 = 2210,83.$$

Капітальні вкладення (KB) на 1 га, грн:

$$KB = \frac{B}{Q}. \quad (6.11)$$

для комбайна:

$$KB^{\bar{}} = \frac{3000000}{300} = 10000,$$

$$KB^{\pi} = \frac{3005000}{300} = 10016,67.$$

Всього $KB^{\bar{}} = 10000$ грн/га та $KB^{\pi} = 10016,67$ грн/га.

Приведені витрати на 1 га, грн:

$$ПВ = EB + 0,15 \cdot KB. \quad (6.12)$$

$$ПВ^{\bar{}} = 2342,91 + 0,15 \cdot 10000 = 3842,91,$$

Приведені витрати на весь обсяг робіт, грн.:

$$ПВ_Q = ПВ \cdot Q. \quad (6.13)$$

$$ПВ_Q^{\delta} = 3842,91 \cdot 300 = 1152873 ,$$

$$ПВ_Q^{\eta} = 3713,33 \cdot 300 = 1113999 .$$

Річний економічний ефект, грн.:

$$E_p = [ПВ_Q^{\delta} - ПВ_Q^{\eta}] = [1152873 - 1113999] = 38874 \quad (6.14)$$

Термін окупності капітальних вкладень (T_o), років:

$$T_o = \frac{\Delta KB}{E_p} = \frac{5000}{38874} = 0,12 , \quad (6.15)$$

де ΔKB – розмір додаткових капітальних вкладень по проекту, який визначається по різниці капітальних вкладень.

Результати розрахунків заносимо в таблицю 6.3.