УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Допущено до захисту
“___” _____2025 р.
Завідувач кафедри к.т.н., доцент

_____ Войтік А.В.

Кваліфікаційна робота (дипломний проект)
Перший (бакалаврський)

Тема проекту: **«Розробка загального критерію ефективності використання зернозбиральних машин та їх застосування для обґрунтування технічних рішень підвищення якості збирання зернових культур.»**

Виконав: студент 3 курсу,
групи 32 к-ім
Спеціальність 208
«Агроінженерія»
Фещенко А. М.
(прізвище та ініціали)

Керівник: Головатюк А.А.
(прізвище та ініціали)

Рецензент: Олена ЄРЕМЕЄВА
(прізвище та ініціали)

м. Умань - 2025 рік

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА

інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Освітня програма Бакалавр
Спеціальність 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Войтік А.В..
«____» _____**2025 р.**

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ)

студенту Фещенку Андрію Миколайовичу

Тема роботи «Розробка загального критерію ефективності використання зернозбиральних машин та їх застосування для обґрунтування технічних рішень підвищення якості збирання зернових культур»

керівник проекту: *Головатюк Анатолій Анатолійович, к. с-г. н.*
затверджено наказом УНУ 01-06/95 від 5 травня 2025 р.

2. Строк подання студентом пректу *«__» _____ 20____ р.*

3. Вихідні дані до проекту літературні джерела, технологічні та технічні рішення, методичні вказівки, методики.

4. Перелік питань, які потрібно розробити: *Вступ. 1. Аналіз стану питання за темою дипломного проекту. 2. Теоретичні та/або експериментальні дослідження за темою дипломного проекту. 3. Охорона праці. 4 . Обґрунтування досягнутих результатів. Загальні висновки. Список використаних джерел.*

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е. В.		

6. Дата видачі завдання – «____» _____ 2025_ р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел	17.02.25	
2.	Розділ 1	31.02.25	
3.	Розділ 2	14.03.25	
4.	Розділ 3	28.03.25	
5.	Розділ 4	12.04.25	
6.	Виконання ілюстративної частини роботи	19.04.25	
7.	Представлення роботи керівнику на перевірку	10.05.25	

Студент _____ Фещенко А. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Головатюк А.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП……	5
1. СТАН ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗБИРАННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ТА ВИКОРИСТАННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ МАШИН. ……	6
1.1 Огляд наукових робіт з дослідження якості збирання зернових культур…….	6
1.2 Критерії оцінки ефективності використання машин в агропромисловому комплексі……	12
2 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ РОЗРОБКИ УЗАГАЛЬНЕНОГО КРИТЕРІЮ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ МАШИН ТА ЕКПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ……	15
2.1 Основні положення комплексної оцінки використання зернозбиральних машин……	15
2.2 Обґрунтування показників ефективності використання зернозбиральних машин……..	17
2.3 Вдосконалена конструкція молотильно-сепаруючого облаштування зернозбирального комбайна класичної схеми…….	19
2.4 Теоретичні основи оцінки вимолоту і дроблення зерна при частковому вимолоті із скошеної зерносоломистої маси……	23
2.5 Оцінка ефективності використання зернозбиральних комбайнів із частковим вимолотом зерна. Висновки по розділу…….	28
3. ОХОРОНА ПРАЦІ……	32
3.1 Безпека праці під час збирання зернових культур……..	32
4. ОБГРУНТУВАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ……	34
Висновки……	36
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ……..	37

ВСТУП

Ефективне збирання зернових культур неможливе без удосконалення технічних засобів. Для впровадження нових технологій у виробництво необхідно спиратися на об’єктивні критерії ефективності, а не на суб’єктивні рішення.

У цьому контексті важливим завданням є створення нових та модернізація існуючих зернозбиральних комбайнів. Це сприятиме мінімізації втрат, зменшенню дроблення та пошкодження зерна, що позитивно позначиться на загальній продуктивності процесу збирання.

Наукова гіпотеза дослідження передбачає, що вибір зернозбиральних машин за комплексним критерієм ефективності дозволить значно скоротити втрати врожаю та підвищити його якість.

Дослідженням технологій збирання зернових займалися численні вчені, серед яких Артемов В.Є., Бур'янов А.І., Горбачов І.В., Морозов А.Х., Пінкін М.Г., Пугачов А.Н., Царьов Ю.А., Шаткус Д.І., Ярмашев Ю.Н. ті інші.

Таким чином, для підвищення ефективності збирання зернових культур у сучасних умовах необхідно вдосконалювати як технології, так і технічні засоби, що сприятиме зменшенню втрат зерна та покращенню якості кінцевого продукту.

1. СТАН ПРОБЛЕМИ: ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗБИРАННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ТА ВИКОРИСТАННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ МАШИН

1.1 Огляд наукових робіт з дослідження якості збирання зернових культур

Сучасне сільськогосподарське виробництво охоплює комплекс організаційних, технологічних, технічних, економічних та екологічних аспектів. Воно залучає посівні площі сільськогосподарських культур, трудові ресурси та технічні засоби, що забезпечують якісне виконання сільськогосподарських робіт з урахуванням умов їх використання.

Особливе місце у виробництві сільськогосподарських культур займає процес вирощування зернових культур, де збирання врожаю є завершальним та найбільш відповідальним етапом.

Помилки у виборі технології та способу збирання, неправильний підбір марок зернозбиральних машин відповідно до заданих умов, нестача збиральної техніки, її низька надійність, погана підготовка до експлуатації, низька кваліфікація комбайнерів та обслуговуючого персоналу, а також ряд інших факторів призводять до збільшення термінів збирання. Це, у свою чергу, знижує якість збирання та збільшує матеріальні витрати.

Одним з основних показників, що визначає якість збирання, є втрати зерна. Зниження втрат вже вирощеного врожаю зернових культур неможливе без застосування технології, адаптованої до умов збирання.

Огляд наукових робіт свідчить про розробку великої кількості технологій збирання зернових культур. Проте в Україні найбільшого поширення набула технологія прямого комбайнування (однофазне збирання). Її особливістю є те, що збирання основної маси поля, не засміченого бур'янами, з не полеглими та рівномірно дозрілими рослинами, починають після досягнення повної стиглості зерна.

Якщо збирана культура не відповідає вимогам прямого комбайнування, застосовують двофазне (роздільне) збирання. Ця технологія також

використовується в господарствах нашої країни. Пряме та роздільне комбайнування належать до традиційних технологій збирання зернових культур. Врахувати вимоги при виборі технології збирання можливо за комплексним критерієм ефективності [25].

На сьогодні розробляються нові безкомбайнові технології та удосконалюються існуючі технології збирання зернових культур з використанням серійних та розроблюваних зернозбиральних комбайнів. Особливе місце при цьому відводиться розробкам технологій збирання як зернових колосових, так і зернових мітелкових культур методом очесу без попереднього скошування рослин, тобто на корені. Це пов'язано зі значними витратами. Так, за даними [23], витрати на збирання мітелкових культур, особливо рису, перевищують більш ніж на 30 % витрат на їх виробництво. При цьому під час збирання спостерігаються істотні втрати, дроблення, обрушення та травмування зерна. За даними Абаєва В.В. [2], при збиранні рису методом очесу на корені виходить значно менша за об'ємом зерносоломиста маса, що складається з вільного зерна (70-80 %), обірваних мітелок (20-30 %) та солом'яних часток (5-7 %).

У цій роботі також показано, що втрати зерна на всіх операціях збирального процесу (скошування, підбір валків, обмолот, післяжнивна обробка зерна) залежать від режимів роботи, якості та своєчасності регулювань робочих органів залежно від умов збирання.

Таким чином, огляд та аналіз існуючих технологій збирання зернових культур показав, що при виборі тієї чи іншої технології слід враховувати не лише природно-кліматичні, але й технічні можливості та економічні умови господарства.

А.Н. Пугачов розділив усі втрати на два види: механічні (внаслідок роботи машин) та біологічні (природні).

Механічні втрати зерна поділяються на прямі та непрямі. До прямих втрат відносяться втрати за молотаркою комбайна (втрати за молотильним пристроєм, очищенням, соломотрясом, елеваторами, шнеками та в місцях

з'єднань), жниваркою комбайна, валковою жниваркою та підбирачем (у вигляді вільного зерна, у зрізаних та незрізаних колосах). До непрямих втрат зерна відносяться дроблення, плющення, макро- та мікроушкодження. Проте, як показують результати багатьох досліджень, дроблення зерна залежить від сорту та врожайності збираної культури, вологості зерна та засміченості поля бур'янами, технічного стану робочих органів комбайна та багатьох інших чинників.

До прямих біологічних втрат відносяться осипання зерна з колосу та їх обламування, проростання зерна у соломі та на корені, а також втрати зерна від гризунів та інших шкідників. До непрямих біологічних втрат відносяться втрати якості зерна. Найважливішими з втрат є механічні.

Прямі та непрямі механічні втрати зерна значною мірою залежать від конструктивних особливостей зернозбиральних машин, регулювань та технічного стану робочих органів, режимів використання, агротехнічного стану збираної культури, біологічних та фізико-механічних властивостей обмолочуваної маси, а також організації збирання та інших факторів.

На сьогодні прийнято, що дроблення зерна зернозбиральними машинами при збиранні на продовольчі та фуражні потреби не повинно перевищувати 2 %, а при збиранні на насіння – 1 %.

Багаторічні дослідження вчених та виробничий досвід збирання зернових культур у різних регіонах показують, що для мінімізації втрат вже вирощеного врожаю збирання зернових культур необхідно виконувати в оптимальні агротехнічні терміни. Для забезпечення цієї умови слід враховувати досить багато чинників: площі, зайняті зерновими культурами, кількість зернозбиральних машин, що використовуються в господарстві на збиранні, їх технічна характеристика та рік використання, забезпеченість висококваліфікованими комбайнерами, врожайність, погодні умови та інші.

Парк зернозбиральних машин сільськогосподарського підприємства та його структура визначаються, в першу чергу, об'ємами площ

сільськогосподарських культур, що прибираються зернозбиральними машинами.

Збільшена врожайність вимагає застосування продуктивніших зернозбиральних комбайнів.

Вибір класів зернозбиральних комбайнів для конкретного регіону країни, оброблюваних зернових культур, що забезпечують збирання з високою ефективністю, є складним завданням, оскільки вимагає врахування безлічі різнорідних чинників. Використання якогось одного класу зернозбирального комбайна можливе лише в господарствах з малими площами однієї зернової культури. Проте великі сільськогосподарські підприємства обробляють різні зернові культури, що зумовлює необхідність застосування декількох класів комбайнів. При цьому можуть бути використані різномарочні комбайни як з класичним типом молотильно-сепаруючого пристрою, так і аксіального (роторного) типу. Застосування різномарочних комбайнів призводить до проблем з їх технічним обслуговуванням та ремонтом.

У сільськогосподарському виробництві найбільшого поширення набули зернозбиральні комбайни з класичним однобарабанним молотильно-сепаруючим пристроєм. Це пов'язано, в першу чергу, з високою надійністю технологічного процесу обмолоту та попереднього очищення зерна, а також можливістю здійснювати обмолот зернових колосових, зернобобових, мітелкових та олійних культур. Проте при збиранні зернових культур за несприятливих умов та при збиранні важкообмолочуваних культур ефективнішими є комбайни з двобарабанним молотильно-сепаруючим пристроєм. Цю перевагу комбайнів з двохбарабанним молотильно-сепаруючим пристроєм враховують зарубіжні фірми при розробці нових марок зернозбиральних машин.

На сьогодні селекціонерами розроблені короткостеблові сорти зернових культур. При збиранні таких культур істотні переваги за продуктивністю, втратами та дробленням зерна мають зернозбиральні комбайни з аксіальним молотильно-сепаруючим пристроєм. Проте у таких зернозбиральних комбайнів

нижчі показники ремонтопридатності, вища витрата палива, гірший розподіл обмолоченого зерна по решетах, ніж у комбайнів з класичним молотильно-сепаруючим пристроєм.

Розробкою принципово нових зернозбиральних машин та удосконаленням робочих органів серійно випущених зернозбиральних комбайнів займалися багато конструкторів та вчених, серед яких слід відзначити наукові роботи Байзакова Ж.С. [16], Бердишева В.Е. [19, 20], Бурьянова А.И. [31], Сірого Г.Ф. [248], Сухопарова А.И. [263], Царева Ю.А. [291], Шаткуса Д.И. [304], Ярмашева Ю.Н. [91]. Завдяки цим науковим роботам розроблені та впроваджені у виробництво високопродуктивні зернозбиральні комбайни: РСМ-10Б "Дон 1500 Б" (Мал. 1.2), РСМ142 "Акрос 530" (Мал. 1.3), СК-5МЭ-1 "Нива-ефект" (Мал. 1.4), Єнісей 1200 (Мал. 1.5) та інші. Також використовуються зернозбиральні комбайни зарубіжного виробництва: Полісся 1218 (Мал. 1.6), Джон Дір (Мал. 1.7) та інші.

Малюнок 1.2. Зернозбиральний комбайн РСМ-10Б "Дон 1500 Бі"

Малюнок 1.3. Зернозбиральний комбайн РСМ142 "Акрос 530"

Малюнок 1.4. Зернозбиральний комбайн Джон Дір

Зниження втрат зерна при збиранні зернових культур, як було зазначено вище, значною мірою визначається тривалістю збирання, яка, у свою чергу, залежить від надійності зернозбиральних комбайнів [25], а надійність – від терміну експлуатації.

Таким чином, існуючі зернозбиральні комбайни мають різні технічні характеристики, переваги та недоліки. Тому вибір марок зернозбиральних комбайнів слід здійснювати з урахуванням багатьох чинників: природно-кліматичних та господарських умов, збираних культур та інших, що впливають на окремі показники та узагальнений критерій ефективності використання зернозбиральних машин.

Як показує практичний досвід використання сучасних зернозбиральних комбайнів та огляд наукових досліджень, наявність у зернозбиральних комбайнів хороших технічних характеристик є необхідною умовою їх

високоефективного використання. Але цього недостатньо. Для підвищення ефективності їх використання потрібно враховувати багато чинників.

Таблиця 1.1. Порівняльні технічні характеристики зернозбиральних комбайнів

Показник	**РСМ10Б "Дон1500 Б"**	**РСМ142 "Акрос 530"**	**СК5МЭ-1 "Нива-ефект"**	**Єнісей 1200**	**Полісся 1218**	**Джон Дір 9500**
Пропускна можливість, кг/с	10	9,7	5,5	8	12	9
Продуктивність, т/год	14	22	7,2	9	18,5	8,9
Ширина захвату жатки, м	6,0/7,0/8,6	6,0/7,0/9,0	4,1/5,0/6,0	6,5	6,0/7,0/9,2	6,7
Діаметр барабана/ротора, мм	800	800	600	550	600/800	660
Довжина барабана/ротора, мм	1484	900	1185	1200	1500	1362
Частота обертів барабана/ротора, хв$^{-1}$	900	1800/3400	1260	459-1354	440-875	150-960
Кут захвату підбарабання деки, град.	130	130	146	127	83/130	142
Тип соломотряса (клавіш)	5	5	4	4	5	6
Загальна площа	12,27	4,74	7,69	3,4	5,0	4,11

очистки, м²						
Ємність бункера, м³	6	9	3	4,5	8	7,2
Потужність двигуна, кВт	173	184	106,5	103	243	162
Вага комбайна без жатки, кг	9983	13740	6637	9730	16600	11230

1.2 Критерії оцінки ефективності використання машин в агропромисловому комплексі

Основне завдання досліджень ефективності технічних систем, у тому числі й зернозбиральних машин, полягає у виборі стратегії використання машин, яка забезпечує найкращий результат в даних умовах. Дотепер при виборі стратегії виконання заданої

1.2 Критерії оцінки ефективності використання машин в агропромисловому комплексі

Основна мета досліджень ефективності технічних систем, зокрема зернозбиральних машин, полягає у визначенні оптимальної стратегії їх використання, що забезпечує найкращі результати в конкретних умовах. На сьогоднішній день при виборі стратегії виконання операцій найчастіше застосовуються критерії мінімальної собівартості, найменших витрат праці або максимального корисного ефекту, наприклад, продуктивності праці.

Аналіз наукових праць як вітчизняних, так і зарубіжних вчених свідчить, що найбільш простими, але водночас надійними показниками є ті, що відображають функціонування машини в часі. До таких показників належать, передусім, найбільш поширений та універсальний техніко-економічний показник – продуктивність машини, а також коефіцієнт використання часу зміни, показники надійності тощо.

Зазначені показники можуть бути застосовані для оцінки ефективності використання всього парку зернозбиральних машин.

Важливо зазначити, що широко використовувані показники мають як переваги, так і недоліки.

На сьогоднішній день при техніко-економічних обґрунтуваннях різних технологічних процесів, включаючи збирання зернових культур, широко застосовуються методики, розроблені ще на початку 20-го століття, які враховують мінімізацію повних витрат на виконання заданої операції або використання машини.

Мета та завдання дослідження:

Метою роботи є підвищення якості збирання зернових культур шляхом впровадження нових технічних рішень, що сприяють зростанню ефективності використання техніки.

Для досягнення цієї мети визначені такі завдання:

1. Провести аналіз існуючих методик оцінки ефективності використання сільськогосподарських машин.

2. Розробити загальні критерії ефективності використання зернозбиральних комбайнів із врахуванням основних техніко-економічних показників.

3. Спроектувати молотильно-сепаруючий пристрій (МСП) і систему часткового вимолоту зерна для комбайнів, а також провести дослідження процесів обмолоту та сепарації зерна.

4. Розробити конструкцію щілинного бітера для інерційно-очисного модуля МСП, провести дослідження його ефективності та порівняти з серійними комбайнами.

Мета та завдання дослідження:

Метою роботи є підвищення якості збирання зернових культур шляхом впровадження нових технічних рішень, що сприяють зростанню ефективності використання техніки.

Для досягнення цієї мети визначені такі завдання:

5. Провести аналіз існуючих методик оцінки ефективності використання сільськогосподарських машин.

6. Розробити загальні критерії ефективності використання зернозбиральних комбайнів із врахуванням основних техніко-економічних показників.

7. Спроектувати молотильно-сепаруючий пристрій (МСП) і систему часткового вимолоту зерна для комбайнів, а також провести дослідження процесів обмолоту та сепарації зерна.

8. Розробити конструкцію щілинного бітера для інерційно-очисного модуля МСП, провести дослідження його ефективності та порівняти з серійними комбайнами.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ РОЗРОБКИ УЗАГАЛЬНЕНОГО КРИТЕРІЮ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ МАШИН ТА ЕКПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Основні положення комплексної оцінки використання зернозбиральних машин.

Комплексна оцінка використання зернозбиральних машин є результатом узгодженого аналізу якісних і кількісних показників їх експлуатації. Вона відображає ключові аспекти використання техніки в конкретних господарських умовах та узагальнює висновки щодо відповідності фактичних показників базовим (плановим, нормативним або найкращим з попередніх періодів).

Необхідність такої оцінки зумовлена потребою порівняння ефективності роботи окремих машин або збиральних комплексів не лише за окремими показниками, а й за загальним критерієм. Це дозволяє оцінити рівень досягнення встановлених цілей, порівняти результати роботи різних марок комбайнів та визначити оптимальні умови їх експлуатації.

Завдання комплексної оцінки:

1. Облік показників роботи машин, аналіз та планування їх використання.
2. Визначення рівня науково-технічного прогресу в галузі комбайнобудування.
3. Оцінка ефективності використання різних моделей зернозбиральних машин.
4. Аналіз методів збирання зернових культур.
5. Визначення ефективності експлуатації техніки в різних ґрунтово-кліматичних умовах.
6. Оцінка рішень керівників щодо використання машинного парку.
7. Вибір оптимальних варіантів експлуатації зернозбиральних машин.

Етапи комплексної оцінки:

1. Проблемний аналіз – визначення проблеми, чинників впливу, умов експлуатації та цілей дослідження.

2. Концептуальне дослідження – розробка алгоритму оцінки та аналіз впливу ключових факторів.

3. Операційні дослідження – оцінка ефективності експлуатації техніки з урахуванням конструктивних особливостей, надійності та обслуговування.

4. Детальні дослідження – уточнення залежностей між показниками, оцінка ефективності на основі експериментальних даних.

5. Ухвалення рішення – аналіз отриманих результатів та розробка заходів для вдосконалення експлуатації.

Фактори, що впливають на ефективність використання зернозбиральних машин.

За дослідженнями академіка В.П. Горячкіна, ефективність експлуатації комбайнів залежить від численних факторів, які можуть бути взаємопов’язаними та різнорідними за ступенем впливу. Основними з них є:

- Технічні характеристики зернозбиральних машин.
- Стан зернової культури на момент збирання.
- Умови експлуатації, зокрема ґрунтово-кліматичні фактори.

Підходи до оцінки:

Для визначення ефективності експлуатації зернозбиральних машин господарства поділяються на чотири групи за середнім річним напрацюванням комбайна. Інтервал річного навантаження визначається шляхом розрахунку різниці між межами першої та четвертої групи, поділеної на два.

Комбайни з аксіально-роторною схемою молотильно-сепаруючого пристрою мають суттєві переваги над традиційними моделями. Вони забезпечують зменшення втрат зерна у 1,5–2 рази, нижчий рівень дроблення зерна та його травмування завдяки більш м’якому впливу. Це підтверджує необхідність використання обґрунтованої комплексної оцінки ефективності експлуатації техніки.

Таким чином, комплексна оцінка використання зернозбиральних машин є важливим інструментом аналізу та підвищення ефективності їх експлуатації в різних умовах, що дозволяє оптимізувати процеси збирання зернових культур.

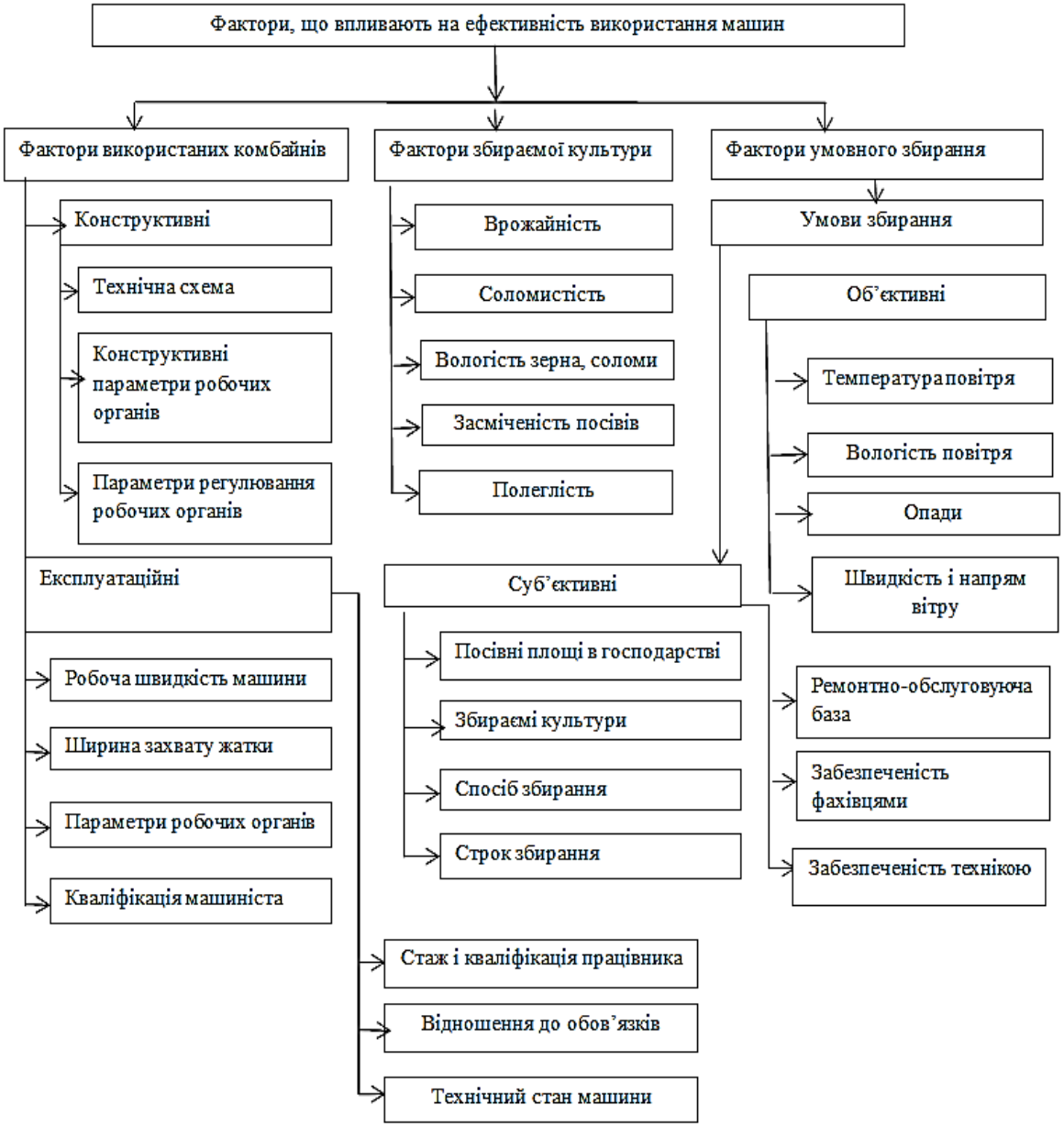


Рисунок 2.1 Фактори, що впливають на ефективність використання зернозбиральних машин.

2.2 Обґрунтування показників ефективності використання зернозбиральних машин

Збирання зернових культур є складним технологічним процесом, що виконується із застосуванням різних машин і механізмів, зокрема зернозбиральних машин. Від ефективності їх використання значною мірою залежать результати збирання. Оцінити ефективність використання зернозбиральних машин можна на основі сукупності кількісних і якісних показників.

Аналіз наукової літератури свідчить, що ефективність використання зернозбиральних машин оцінюється за допомогою ряду одиничних показників. Комплексна оцінка ефективності ґрунтується на диференційованому методі, який передбачає порівняння фактичних значень показників із найкращими досягнутими значеннями.

При виборі показників ефективності слід враховувати такі вимоги [16]:

1. Максимально можливий рівень ефективності використання зернозбиральних машин.

2. Потенціал підвищення рівня показників за рахунок впровадження технічних і технологічних заходів.

3. Однорідність показників у межах групи, відсутність дублювання та зайвих показників.

4. Сумісність вибраних показників із загальною системою оцінки якості технологічного процесу.

З урахуванням зазначених вимог було визначено склад і структуру показників ефективності використання зернозбиральних машин. Вони поділяються на дві основні групи: техніко-економічні показники та показники якості роботи машин.

Аналіз засвідчив, що продуктивність зернозбиральної машини за годину основного часу та витрата палива безпосередньо впливають на собівартість збирання одного гектара зернових культур. Оскільки ці показники можна точно виміряти та перевірити при повторних дослідженнях, вони включені до подальших аналізів.

Річне навантаження на одну зернозбиральну машину визначається її продуктивністю за годину основного часу..

2.3 Вдосконалена конструкція молотильно-сепаруючого облаштування зернозбирального комбайна класичної схеми

При збиранні зернових культур комбайнами втрати зерна не повинні перевищувати допустимий рівень, встановлений агротехнічними вимогами. Однак експериментальні дослідження показали, що втрати озимої пшениці за молотаркою комбайна "Дон-1500" становлять 1,5%, а недомолот у соломі та полові досягає 14,9 т загальних втрат зерна [20].

Для зменшення недомолоту запропоновано вдосконалений молотильно-сепаруючий пристрій (рис. 2.2).

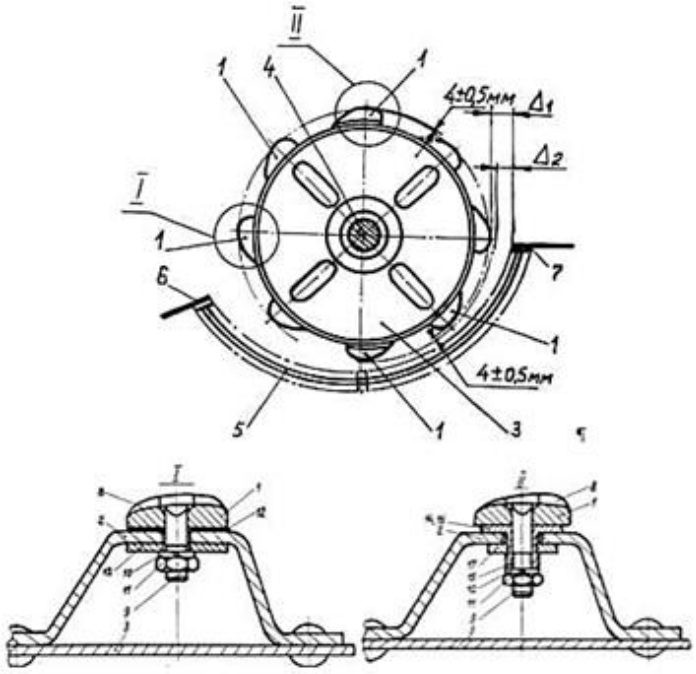


Рисунок 2.2 - Молотильно-сепаруючий пристрій

Конструкція молотильно-сепаруючого пристрою (рис. 3.1) включає: біта 1, змонтовані на підбичниках 2; барабан 3, встановлений на валу 4; прутково-планчасту деку 5.

Розміри молотильних проміжків на вході в молотильний простір (між планкою 6 і бичами) та на виході (між планкою 7 і бичами) регулюються спеціальним механізмом 14 із різьбовою втулкою 15. Біти оснащені рифами 8 із правим і лівим нахилом до осі. Кріплення бітів до підбичників здійснюється за допомогою болтів 9, шайб 10 і гайок 11. Додатково встановлені регулювальні прокладки 12 та планки 13. Фіксація різьбової втулки виконується фасонною гайкою 17.

Експериментальні дослідження комбайна "Дон-1500", обладнаного цим пристроєм, показали зниження загальних втрат зерна до 1,3% за рахунок зменшення недомолоту в соломі та полові на 1,9% і 1,1% відповідно. Водночас чистота бункерного зерна знижується з 95,8% до 94,9%, а рівень дроблення зерна зростає з 2,4% до 2,8%.

Отже, удосконалення традиційної конструкції молотильно-сепаруючого пристрою не забезпечує істотного зниження дроблення та травмування зерна. Це зумовлює необхідність подальшого вдосконалення комбайна, який би одночасно мінімізував втрати зерна недомолотом і суттєво знижував його травмування.

Одним із перспективних рішень є впровадження в конструкцію комбайна пристрою попереднього обмолоту зерносоломистої маси. Така система дозволить:

1. На першому етапі виділяти мінімально подрібнене і травмоване зерно, збираючи його в окремий бункер для подальшого використання як насіннєвий матеріал.

2. На другому етапі здійснювати остаточний вимолот залишкового зерна вдосконаленим молотильно-сепаруючим пристроєм, спрямовуючи його в основний бункер для продовольчих і фуражних потреб [18].

Однією з ключових вимог до зернозбиральних машин є мінімізація дроблення і травмування зерна, особливо під час збору насіннєвого матеріалу. Насіння з мінімальними пошкодженнями зародка та ендосперми зберігає високу схожість [3, 13] і краще зберігається.

Пристрій часткового вимолоту зерна із скошеної зерносоломистої маси [18] є модернізованою проставкою комбайна РСМ-10Б "Дон-1500Б" із додатковими механізмами.

Його конструкція (рис. 2.3) включає:

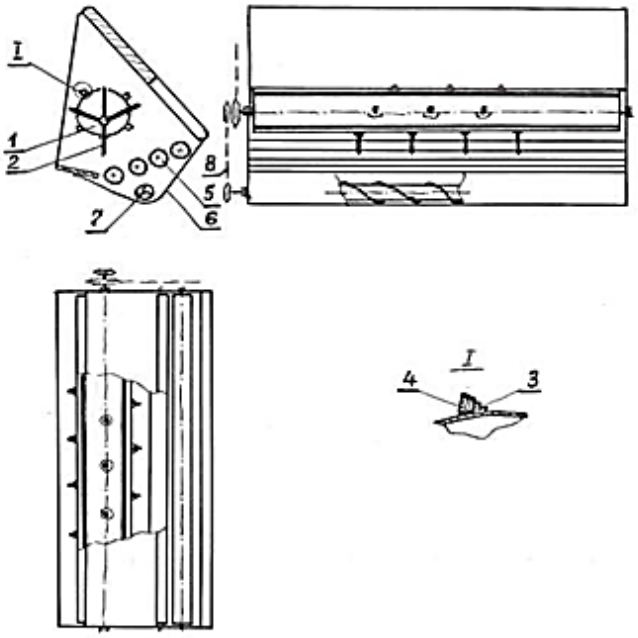


Рисунок 2.3 - Схема модернізованої проставки: бітер 1 з пальчиковим механізмом 2; планки 3 для кріплення ременів 4; ролики 5, розташовані під бітером; кожух 6, під яким знаходиться зерновий шнек 7.

Рисунки 2.4–2.7 ілюструють елементи конструкції, зокрема шнек для транспортування зерна, місце встановлення роликів і вдосконалені компоненти проставки.



Рисунок 2.4 - Шнек для транспортування вимолоченого зерна



Рисунок 2.5 - Місце установки транспортуючих роликів і шнека



Рисунок 2.6 - Елементи вдосконаленої конструкції проставки



Рисунок 2.7 - Комплект транспортуючих роликів, встановлених в корпусі проставки.

Принцип роботи пристрою такий: зрізані рослини надходять у механізм, де переміщуються між бітером 1 і роликами 5. Взаємодія з пальчиковим механізмом 2 та ременями 4 сприяє відокремленню стиглих і цінних зерен, які випадають між роликами та транспортуються шнеком 7 в окремий бункер комбайна.

На якість збирання зернових культур впливає низка факторів, зокрема:

- конструкція комбайна [1, 9, 20, 23];
- рівень технічного обслуговування [21];
- методи та організація збирання врожаю [7, 15, 21] тощо.

Одним із важливих критеріїв оцінки роботи комбайна є рівень дроблення зерна. Дроблення може відбуватися на всіх етапах його переміщення в комбайні — від різального апарата та мотовила до вивантажного шнека.

З урахуванням цих факторів модернізація комбайна, що включає пристрій часткового вимолоту зерна, дозволяє значно знизити рівень пошкодження зерна та підвищити якість зібраного врожаю.

2.4 Теоретичні основи оцінки вимолоту і дроблення зерна при частковому вимолоті із скошеної зерносоломистої маси

Системи пневматичного транспортування зерна в комбайнах мають забезпечувати його попереднє очищення від пилу та легких домішок, при цьому зберігаючи необхідну продуктивність та допустимий рівень пошкодження зерна.

Запропонована конструкція пристрою для часткового вимолоту зерна з використанням вакуумного транспортера дозволяє зменшити травмування зерна на 20-28% порівняно з механічними системами. Внутрішня поверхня трубопроводів, що контактує із зерном, виготовлена з гуми, що додатково знижує його пошкодження при ударах об стінки.

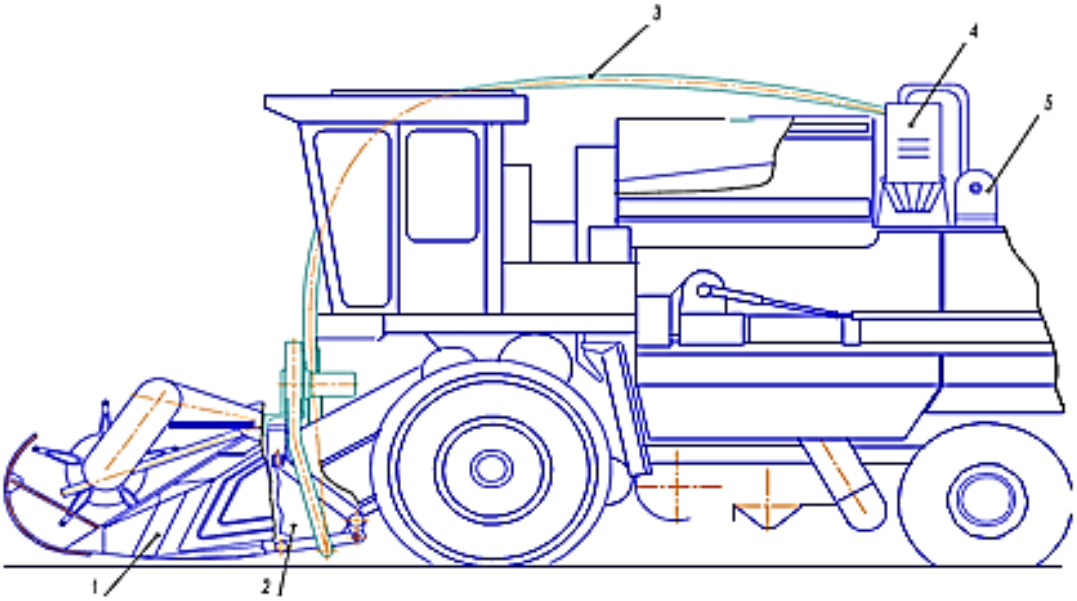


Рисунок 2.8 - Схема зернозбирального комбайна з удосконаленою конструкцією і часткового вимолоту зерна із скошеної зерно- солом'яної маси. 1 - жниварка, 2 - модернізована проставка, 3 - трубопровід, 4 - циклон, 5 – вентилятор.

У експериментальному зразку застосовано трубопровід діаметром 0,1 м та вентилятор із електродвигуном потужністю 2,5 кВт. Однак технічні характеристики запропонованої транспортної системи потребують оптимізації, основними критеріями якої є рівень травмування зерна та висота його підйому.

Попередні експериментальні дослідження показали, що вакуумний транспортер може піднімати зерно на висоту понад 3 м, що є достатнім для сучасних зернозбиральних комбайнів. Принципова схема подачі зерна з бункера комбайна до окремого накопичувача представлена на рисунку 2.9.

Зерно, що проходить частковий вимолот, самопливно потрапляє у бункер 2 через скатну дошку 1. Далі за допомогою вентилятора 8 воно транспортується трубопроводом 3 у циклон 4, де під дією відцентрових сил відбувається його очищення. Після цього зерно накопичується на заслінці 5, відкриття якої переміщує його в окремий бункер 6. При відкритті заслінки автоматично відключається вентилятор 8.

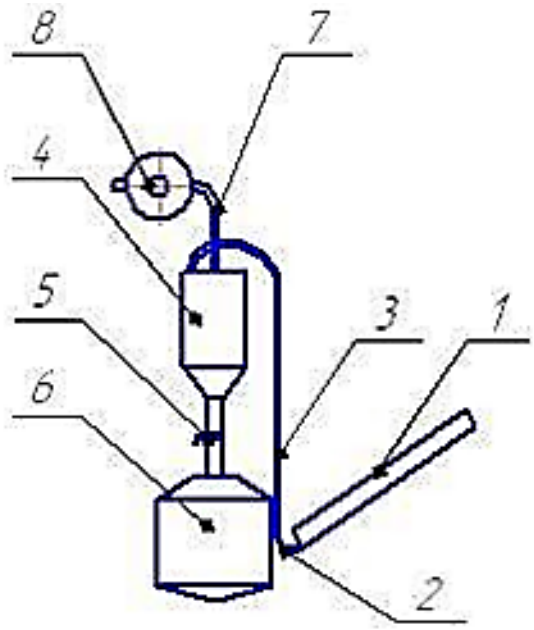


Рисунок 2.9 - Система подання зерна із бункера комбайна в його окремий бункер. 1 - скатна дошка; 2 - бункер; 3 - трубопровід; 4 - циклон; 5 - заслінка; 6 - бункер для мінімально травмованого зерна; 7 - трубопровід; 8 – вентилятор

Відокремлені пил і легкі домішки виводяться назовні через трубопровід 7. Для ефективного транспортування зерна висота його підйому може досягати 4 м, а подача зерна повітряним потоком здійснюється зі швидкістю до 10 кг/с при діаметрі трубопроводу від 0,1 до 0,15 м.

Застосування запропонованої пневматичної системи транспортування дозволяє знизити рівень дроблення та травмування зерна в процесі його переміщення.

Запропонована конструкція зернозбирального комбайна передбачає встановлення пристрою часткового вимолоту між жниваркою та похилою камерою. Для комбайна РСМ-10Б "Дон-1500Б" замість стандартної проставки використовується модернізований модуль, показаний на рисунку 2.10.

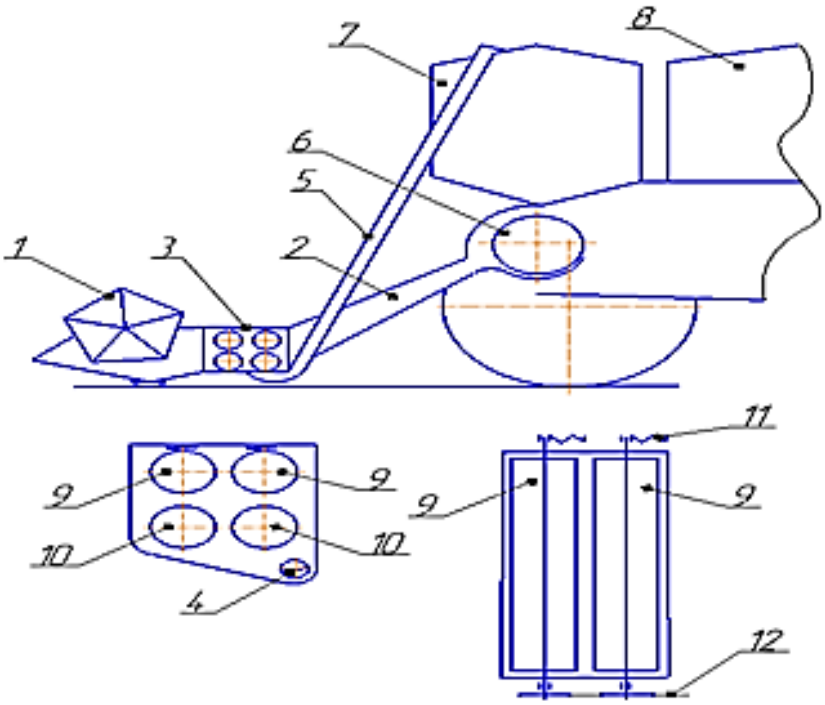


Рисунок 2.10 - Схема зернозбирального комбайна з облаштуванням часткового вимолоту зерна із скошеної зерносоломистої маси. 1 - жниварка, 2 - камера похилої, 3 - облаштування часткового вимолоту зерна із скошеної зерносоломистої маси, 4 - шнек, 5 - система транспортування зерна, 6 - молотильний апарат, 7 - окремий бункер, 8 - основний бункер, 9 - верхній ярус вальців, 10 - нижній ярус вальців, 11 - механізм регулювання проміжків, 12 - привід

Головна відмінність цієї конструкції від серійних аналогів — наявність пристрою часткового вимолоту зерна та окремого бункера для збереження мінімально травмованого зерна. Пристрій включає два яруси вальців, між якими проходить зерносоломиста маса. Верхні вальці мають підпружинену конструкцію, а проміжок між ними регулюється механізмом зміни зазору.

Зрізані стебла надходять у міжвальцевий простір, де відбувається частковий вимолот за рахунок деформації та вібрації верхнього ярусу вальців. Внаслідок цього руйнується механічний зв’язок зерна з колосом, що сприяє виділенню певної частки зерна, яке далі сепарується та транспортується у спеціальний бункер для мінімально травмованого зерна.

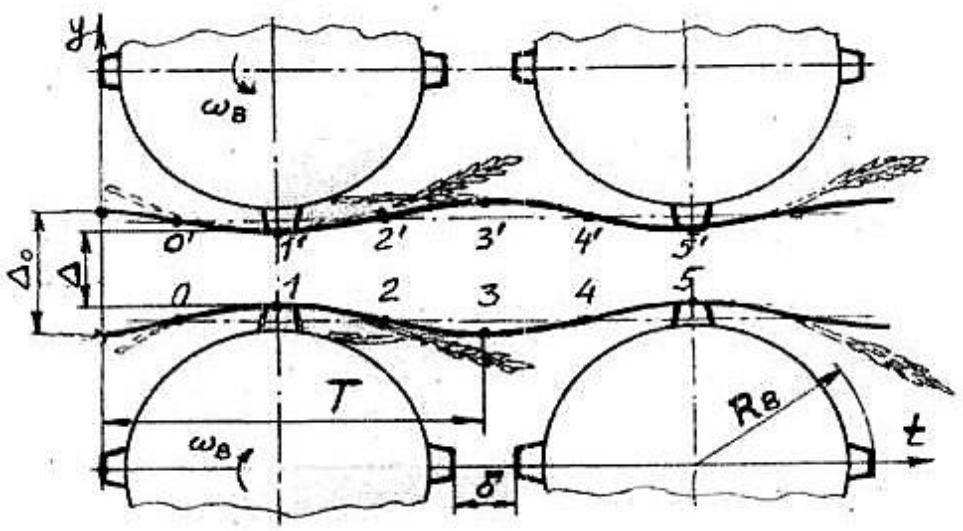


Рисунок 2.11 - Траєкторія руху стебел обмолочуваної зернової культури

Дослідження показали, що швидкість транспортування зерносоломистої маси повинна відповідати швидкості транспортера похилої камери (v = 3,2 м/с). Проміжок між вальцями першого та другого ярусів обраний з урахуванням розмірів зернобобових культур і становить 0,009 м.

Спостереження показали, що траєкторія руху стебел нижніх шарів близька до синусоїдальної форми. Швидкість переміщення маси у пристрої обиралася з урахуванням нерозривності потоку, тобто вона дорівнює швидкості транспортера похилої камери (для комбайна РСМ-10Б "Дон-1500Б" vтр = 3,2 м/с), отже, vм = vтр.

Мінімальний проміжок між планками першого та другого рядів вибрано за такими критеріями:

- колоси повинні захоплюватися планками другого ряду;
- великі вимолочені зерна повинні вільно проходити крізь проміжок.

Оскільки комбайни використовуються для збирання не лише зернових колосових, а й зернобобових культур (нут, горох тощо), розміри зерен яких значно більші, прийнято проміжок Δ = 0,009 м.

У процесі переміщення зерносоломиста маса зазнає деформацій і коливань, що сприяє розриву механічного зв'язку між зерном і колосом. Частина зерна відокремлюється, проходить через стеблові грати й решето, надходить до шнека, а потім через елеватор – у спеціальний бункер для

мінімально травмованого зерна, що особливо цінне для використання як насіння [6, 8, 17, 23].

Пристрій часткового вимолоту зерна містить корпус, бітер (**рисунок 2.12),** планки, що обмолочують, кронштейн з L-подібним профілем, пружини та штоки. Бітер оснащений стаканами, у яких розміщені пружини та штоки, шарнірно з'єднані з кронштейном, що забезпечує коливання планок.

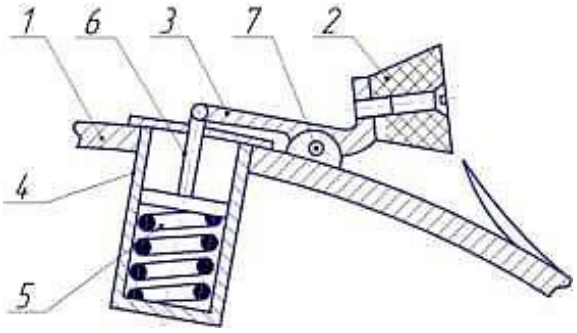


Рисунок 2.12 - Елементи пристрою часткового вимолоту зерна. 1 - бітер, 2 - планка, що обмолочує, 3 - кронштейн, 4 – стакан, 5 - пружина, 6 - шток, 7 – вісь.

Коливання планок впливають на зерносоломисту масу з певною частотою, яка залежить від жорсткості пружини. Це дозволяє збільшити вимолот зерна на 2-3% у порівнянні з прототипом, не збільшуючи рівень травмування зерна.

2.5 Оцінка ефективності використання зернозбиральних комбайнів із частковим вимолотом зерна

При оцінці ефективності використання зернозбиральних комбайнів, обладнаних пристроями часткового вимолоту зерна із скошеної зерносоломистої маси, спочатку проводили розрахунки для серійного комбайна, а потім – для комбайнів з відповідними пристроями, виготовленими за патентами.

Для розрахунків використовували експериментальні дані, отримані під час випробувань серійного комбайна РСМ-10Б "Дон-1500Б".

Дані, наведені в таблиці 1, свідчать, що експериментальні показники серійного комбайна РСМ-10Б "Дон-1500Б" співпадають з отриманими раніше результатами, проте розрахункові значення КД, КМт і Кисп. відрізняються у

зв'язку з іншими значеннями параметрів Дтр = 0,7 та Мттр = 8,8, які є кращими серед порівнюваних комбайнів.

Фактичні значення дроблення та макротравмування зерна визначалися за середньозваженими показниками. Відбір зерна здійснювався в окремий бункер, де накопичувалося 10% найменш травмованого зерна із загального намолоту. Середньозважене значення дроблення зерна:

- для комбайна з пристроєм 1 – 0,9;
- для комбайна з пристроєм 2 – 0,7.

Середньозважене значення макротравмування зерна:

- для модернізованих комбайнів – 8,8 і 9,2 відповідно;
- для серійного комбайна – 14,1.

Таблиця 1 Значення приватних і необхідних показників, а також узагальненого критерію ефективності використання серійного комбайна РСМ-10Б "Дон-1500Б" та комбайнів, обладнаних пристроями часткового вимолоту зерна.

Показник	Зернозбиральний комбайн		
	серійний	Обладнаний пристроєм відбору травмованого зерна	
		1	2
W_0, га/г	2,66	2,66	2,66
$W_0^{тр}$, га/г	2,66		
$К_{W_0}$	0,91	0,91	0,91
$Зт$, люд.·г/га	0,402	0,402	0,402
$Зт^{тр}$, люд.·г/га	0,402		
$К_{Зт}$	0,67	0,67	0,67
$Q_{га}$, кг/га	10,9	11,1	11,0
$Q_{га}^{тр}$, кг/га	10,9		
$К_{Qга}$	0,77	0,784	0,777
$П$,%	1,19	1,19	1,19
$П^{тр}$,%	0,79		
$К_{П}$	1,28	1,28	1,28
$Д$, %	0,9	0,9	0,7
$Д^{тр}$, %	0,7		
$К_{Д}$	0,720	0,720	0,560
$Мт$,%	14,1	8,8	9,2
$Мт^{тр}$,%	8,8		
$К_{Мт}$	0,705	0,440	0,460
$К^{вик.еф.}$	2,714	4,270	5,299
$К^{вик.еф.відносна.}$	0,322	0,507	0,629

За результатами розрахунків приватних показників ефективності (таблиця 1) визначені значення узагальненого критерію ефективності використання порівнюваних зернозбиральних комбайнів (рисунки 3.19 та 3.19-а). Також розраховано значення відносного узагальненого критерію ефективності використання (див. таблицю 1 і рисунок 2.13) з урахуванням отриманого раніше найкращого результату, коли зерно транспортується в окремий бункер пневматичною системою (вик = 8,422).

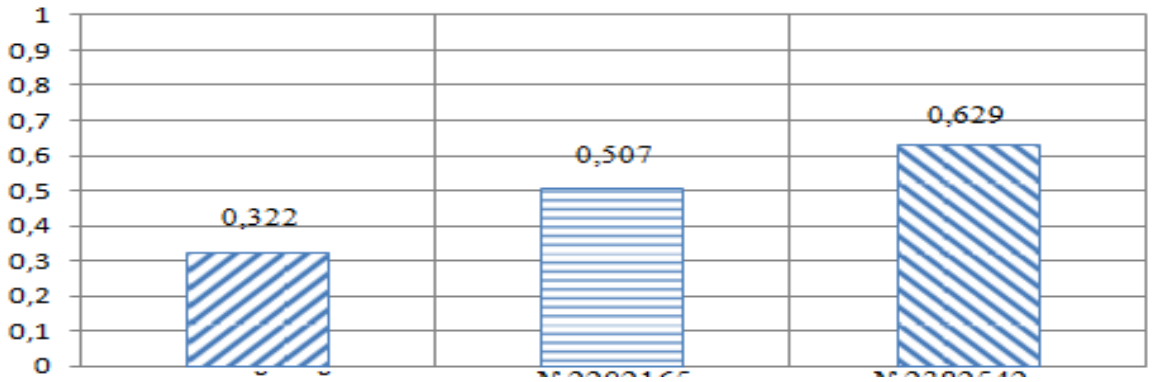


Рисунок 2.13 – Динаміка зміни узагальненого (а) та відносного (б) узагальненого критерію ефективності використання зернозбиральних комбайнів серії РСМ-10Б "Дон-1500Б", як у базовій комплектації, так і оснащених пристроями часткового вимолоту зерна зі скошеної зерносоломистої маси.

Таким чином, впровадження пристроїв часткового вимолоту зерна значно підвищує ефективність експлуатації зернозбиральних комбайнів.

Висновки по розділу

1. Запропоновано комплексну оцінку ефективності використання зернозбиральних машин на основі узагальненого критерію з урахуванням значень та їхньої відносної важливості.

2. Обґрунтовано основні показники ефективності використання зернозбиральних машин:

- продуктивність за годину основного часу (W0);
- питомі витрати праці (Зт);
- експлуатаційна витрата палива (Qга);
- прямі втрати зерна (П);
- дроблення зерна (Д);

- макротравмування зерна (Мт).

3. Запропоновано нову конструкцію молотильно-сепарувального пристрою, що дозволила зменшити втрати зерна в комбайні до 1,33% завдяки скороченню недомолоту в соломі та полові.

4. Розроблено два варіанти пристроїв для часткового вимолоту зерна зі скошеної зерносоломистої маси.

5. Запропоновано використовувати вакуумний транспортер зерна разом із пристроєм часткового вимолоту, що знижує травмування зерна на 21-29% у порівнянні з механічним транспортуванням.

3. ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Безпека праці під час збирання зернових культур

Збирання зернових культур є одним із найбільш травмонебезпечних етапів сільськогосподарського виробництва. Недотримання правил охорони праці, виробничої та трудової дисципліни може спричинити травми або навіть загибель працівників.

Перед початком жнив важливо нагадати про основні правила безпечного виконання механізованих робіт. До керування зернозбиральним комбайном допускаються особи, які досягли 18-річного віку, мають відповідне посвідчення, пройшли медичний огляд і навчання з охорони праці. Помічниками комбайнера можуть працювати особи не молодші 17 років, які пройшли інструктаж із безпеки та медичний огляд.

Серед основних небезпечних факторів під час жнив:

- перекидання техніки на нерівних ділянках, ухилах понад 9°, мостах і греблях;
- затискання під час ремонту та регулювання механізмів комбайна;
- потрапляння частин тіла або одягу в незахищені рухомі частини;
- зіткнення з природними та штучними перешкодами;
- ураження електрострумом або блискавкою;
- механічні травми через несправний інструмент;
- опіки під час пожеж;
- наїзд на людей, що перебувають у невизначених для відпочинку місцях.

Щоб уникнути перекидання комбайна, заборонено перемикати передачі під час руху вгору, працювати на схилах понад 15°, пересуватись по вузьких греблях на великій швидкості. Помічник комбайнера не повинен сидіти на бункері чи сходах під час роботи техніки.

Перед початком роботи необхідно перевірити справність інструменту, засобів пожежогасіння, аптечки, освітлення, сигналізації, очистити кабіну від пилу, перевірити скло, відрегулювати сидіння.

Перед запуском двигуна слід пересвідчитись, що в механізмах не залишились сторонні предмети, а перед початком руху подати попереджувальний сигнал. Усі налаштування та ремонтні роботи виконують лише при вимкненому двигуні. На кермі повинна бути табличка «Не вмикати! Працюють люди».

Перед початком жнив необхідно обкосити кути та смуги для розвороту техніки, позначити місця для відпочинку. Якщо через поле проходять лінії електропередач, слід перевірити відстань до землі (не менше 6 м).

Справний комбайн – запорука пожежної безпеки. Перед роботою потрібно перевірити електрообладнання, стан ізоляції дротів та уникати перегріву деталей, де може накопичуватись солома. Заправку паливом здійснюють при вимкненому двигуні на безпечній відстані від хлібних масивів.

Дотримання правил безпеки допоможе уникнути аварійних ситуацій і зберегти життя та здоров’я працівників.

4. ОБГРУНТУВАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Актуальність дослідження.

Ефективне використання зернозбиральних машин є одним із ключових чинників, що впливають на продуктивність аграрного сектора. Сучасні технології дозволяють підвищити врожайність і мінімізувати втрати зерна, проте для цього необхідно ретельно аналізувати параметри роботи машин, їх конструктивні особливості та умови експлуатації. Комплексна оцінка використання зернозбиральних машин дозволяє об’єктивно визначити рівень їх ефективності та розробити заходи щодо оптимізації процесів збирання врожаю.

Метою дослідження є розробка та обґрунтування методології комплексної оцінки ефективності використання зернозбиральних машин з урахуванням техніко-економічних та експлуатаційних показників.

Завдання дослідження:

1. Аналіз існуючих підходів до оцінки ефективності зернозбиральних машин.
2. Визначення основних чинників, що впливають на продуктивність комбайнів.
3. Розробка методики комплексної оцінки ефективності експлуатації техніки.
4. Дослідження впливу конструктивних змін на ефективність збирання врожаю.
5. Визначення оптимальних режимів роботи зернозбиральних машин у різних умовах.

Методи дослідження

Дослідження базується на використанні системного підходу до аналізу експлуатаційних показників, зокрема:

- експериментальних випробувань роботи зернозбиральних машин;
- математичного моделювання ефективності збирання зернових культур;
- статистичного аналізу продуктивності техніки;

- порівняльного аналізу роботи різних моделей зернозбиральних машин у реальних виробничих умовах.

Наукова новизна:

1. Запропоновано диференційований метод оцінки ефективності використання зернозбиральних машин, що враховує не лише продуктивність, а й якість зібраного зерна.

2. Визначено вплив конструктивних змін молотильно-сепаруючих пристроїв на зниження втрат і травмування зерна.

3. Обґрунтовано критерії вибору оптимальних параметрів роботи зернозбиральних комбайнів залежно від ґрунтово-кліматичних умов.

Практична значущість:

Результати дослідження можуть бути використані:

- для підвищення ефективності роботи зернозбиральних машин у фермерських господарствах;
- при проектуванні нових моделей комбайнів із покращеними експлуатаційними характеристиками;
- для оптимізації технологічних процесів збирання зернових культур.

Висновки

Комплексна оцінка використання зернозбиральних машин є важливим інструментом підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва. Впровадження новітніх методів аналізу та удосконалення конструктивних елементів комбайнів дозволяє зменшити втрати врожаю, підвищити продуктивність і знизити експлуатаційні витрати.

Висновки

1. Дослідження показали, що для модернізованої проставки оптимальними є такі параметри:

- кількість планок на бітері – 4 шт.;
- висота планки – 19 мм;
- проміжок між остовом бітера і роликом на вході – 70 мм;
- частота обертання бітера – 300 хв$^{-1}$;
- кількість планок на вальці – 4 шт.;
- кут нахилу планки відносно поздовжньої осі вальця – 0°±5°;
- молотильний проміжок – 35±5 мм;
- частота обертання провідного вальця першої пари – 260±50 хв$^{-1}$.

2. Використання обладнання для часткового вимолоту зерна із скошеної зерносоломистої маси на зернозбиральних комбайнах типу РСМ-10Б "Дон-1500Б" з оптимізованими геометричними та кінематичними параметрами дозволяє збирати в окремий бункер до 10% зерна з рівнем дроблення не більше 0,1%. При застосуванні модернізованої проставки:

- чистота зерна у додатковому бункері – 88,2%, у основному – 97,7%;
- макротравмування – 2,0%;
- мікротравмування зерна – 3,1%.
- Для облаштування часткового вимолоту, встановленого між жниваркою та похилою камерою, ці показники відповідно становлять: 82,5%; 97,2%; 2,4%; 3,6%.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Войтюк Д. Г., Дубровін В. О., Іщенко Т. Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини / за ред. Д. Г. Войтюка. — Київ : Вища освіта, 2024. — 544 с.

2. Войтюк Д.Г., Барановський В.М., Булгаков В.М. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку. Київ : Вища освіта, 2015. 464 с.

3. Головчук А. Ф., Марченко В. І., Орлов В. Ф. Комбайни зернозбиральні. — Київ : Грамота, 2015. — 318 с.

4. Іліяшик В.В., Дуганець В.І., Мошенко І.О. Аналіз конструкцій жаток FLEX та адаптація їх до роботи з зернозбиральними CLAAS на збиранні сої. Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету : Випуск 24. 2022. С.48-56.

5. Кочев В. І., Кушнарьов А. С. та ін. Довідник по регулюванню сільськогосподарських машин. — Київ : Урожай, 1993. — 262 с. 4. Машини для збирання зернових та технічних культур / за ред. В. І. Кравчука, Ю. Ф. Мельника. — Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2009. — 296 с.

6. Макаренко М.Г. Яким комбайном збирати зерно? // Агробізнес сьогодні. http://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/ 1055-iakym-kombainom-zbyraty-zerno.html

7. Погорілець С. М., Живопуп Г. І. Зернозбиральні комбайни. — Київ : Урожай, 1994. — 228 с.

8. Погорілий Л. В., Коваль С. М. Напрямки розвитку конструкцій і узагальнені технологічні показники зернозбиральних комбайнів // Науковий вісник Національного аграрного університету. — Київ, 1998. — Вип. 9.

9. Рудь А.В., Мошенко І.О., Павельчук Ю.Ф., Іліяшик, В.В. Михайлова Л.М. Технікотехнологічний аналіз зернозбирального комбайна New Holland. Збірник наукових праць : Випуск 23 / Подільський державний аграрно-технічний університет ; за ред. д.е.н., професора, заслуженого працівника сільського господарства України, ректора університету (голова) В.В. Іванишина. Кам'янець-Подільський, 2015. С.13-33.

10. СОУ 74.3-37-04604309-786:2012. Загальні правила задання вимог при нормуванні надійності.

11. Сучасні тенденції розвитку конструкції сільськогосподарської техніки / за ред. В. І. Кравчука, М. І. Грицишина, С. М. Коваля. — Київ : Аграрна наука, 2024. — 396 с.

121. Baumgarten, J. Prozesssimulation verbessert die Entwicklung von Erntemaschinen / J. Baumgarten // Landtechnik, 2001; Jg. 56, S.-H. 2. - pp. 440-442.

13. Cherkasov Yu., Shepelev S., Shepelev V. Differentiation of the sea- sonal loading of combine harvester depending on its technical readiness // Procedia Engineering. 2015. Вып. 129. С. 161–165.

14. Combine loss model and optimization of the mashine System: Nath Surya, Johnson W.H., Milliken G.A. Trans. ASAE, 1982, 25, №2, 308-312.

15. Gubsch M. Zu einigen Aspekten in der Mahdrescherentwicklung. Agrartechnik, 3, 1972, S. 122-125.

16. https://agriculture.newholland.com/eu/uk-ua

17. https://www.caseih.com/emea/ua-ua/home

18. https://www.claas.ua/

19. https://www.deere.ua/uk/

20. https://www.fendt.com/ua/index

21. Koller K. Mahdrescher ohne Schuttler DLG-Mitteilungen. Frankfurt/M. 98 (1983), 13, S. 732-735.

22. Kutzbach H.-D. Mahdrescher auf der DLG 1984. Landtechnik. 7/84, S.324-326.

23. Strauss, G. Die technische Überwachung von Kraftfahrzeugen / G. Strauss // Berlin: Transpress, 1975. S. 18-21.

24. Wacker P. Vergleich von Axial-und Tangentialdreschsytemen in Getreide. Landtechnik. 6/88, S.264-266.

25. Wojtasiewicz R. Abhagigkeit zwischen Durchsatz und technischokonomischen Parametern konventioneller Mahdrescher. Agrartechnik, 4, 1999, S. 156-158.