

НУБІП України

НУБІП України

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

01.12 – КМР. 203 “С” 2022.02.04. 003 ПЗ

САВКО ДМИТРО ОЛЕГОВИЧ

2023 р.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І

ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет

Конструювання та дизайну

УДК 631.354.022

ПОГОДЖЕНО

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
Надійності техніки
(назва кафедри)

Новицький А.В.

(підпис)

(ПШБ)

“ ”

2023 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Підвищення надійності сегментно-пальцевого ріжучого апарату

сільськогосподарських машин»

Спеціальність

133 – «Галузеве машинобудування»

(код і назва)

Освітня програма «Машини та обладнання сільськогосподарського

виробництва»

(назва)

Орієнтація освітньої програми

освітньо-наукова

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

д.т.н., професор

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Ловейкін В.С.

(ПШБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи:

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Банний О.О.

(ПШБ)

Виконав:

Савко Д.О.

(підпис)

(ПШБ)

КИЇВ - 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет Конструювання та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Надійності техніки

(назва кафедри)

к.т.н., доцент Новицький А.В.
(підпис) (ПІБ)
2021 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Савко Дмитро Олегович
(прізвище, ім'я, по батькові)
Спеціальність 133 – «Галузеве машинобудування»
(код і назва)
Освітня програма Машини та обладнання сільськогосподарського
виробництва»
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи «Підвищення надійності сегментно-пальцевого
різучого апарату сільськогосподарських машин»

затверджена наказом ректора НУБіП України від 04 лютого 2022р. № 203 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2023.05.01
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи Кількісний аналіз відмов жнивної частини
показав, що найбільше несправностей припадає на деталі різучого апарату, а саме
сегментів, протирізучих пластин і пальців.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. поломки протирізальних пластин і пальців;
2. Підвищити ресурс збиральних машин
3. Отримати від технології зміцнення деталей сегментно-пальцевого різучого
апарату економічний ефект.

Дата видачі завдання “15” жовтня 2021 року

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

Банний О.О.

(підпис)

(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Савко Д.О.
(прізвище та ініціали студента)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РІЗУЧОГО АПАРАТУ ЗБИРЧНИХ МАШИН, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	10
1.1 Аналіз технічного стану збиральних машин.....	10
1.2 Аналіз відмов збиральних машин.....	12
1.3 Огляд конструкцій різальних апаратів збиральних машин.....	16
1.4 Аналіз робіт, присвячених дослідженню різальних апаратів збиральних машин.....	21
1.5 Огляд та аналіз існуючих технологій підвищення надійності різальних інструментів.....	26
Висновки розділ 1.....	31
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СЕГМЕНТНО-ПАЛЬЦЕВОГО РІЗУЧОГО АПАРАТУ.....	34
2.1 Аналіз роботи сегментно-пальцевого різучого апарату.....	34
2.1.1 Силова взаємодія леза сегмента зі стеблом рослини.....	36
2.1.2 Потужність, що витрачається на процес різання в сегментно-пальцевому різучому апараті.....	43
2.2 Теоретична модель формування відмови сегментно-пальцевого різучого апарату.....	46
2.3 Модель формування ресурсу сегмента різучого апарату.....	48
Висновки по розділу 2.....	50
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	52
3.1 Устаткування для металографічних досліджень.....	52
3.1.1 Дослідження геометричних параметрів сегментів різального апарату.....	54
3.2 Методика нанесення зносостійкого покриття на робочу поверхню леза сегмента.....	56

3.3 Стендові випробування сегментів ріжучого апарату	58
3.3.1 Опис роботи стенду для визначення зносостійкості сегментів ріжучого апарату.....	58
3.3.2 Принцип роботи стенду для проведення випробувань сегментів ріжучого апарату на раптову відмову.....	62
3.4. Методика обробки експериментальних даних.....	64
РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ	70
4.1 Результати досліджень фізико-механічних властивостей сегментів різального апарату.....	70
4.1.1 Результати досліджень твердості матеріалу сегментів різального апарату.....	70
4.1.2 Результати досліджень геометричних параметрів лез сегментів ріжучого апарату	75
4.2 Результати проведення експерименту щодо визначення швидкості зношування стандартних та експериментальних сегментів ріжучого апарату.....	77
4.3 Результати порівняльних випробувань експериментальних та стандартних сегментів на раптову відмову.....	83
4.4 Визначення ресурсу стандартних та експериментальних сегментів ріжучого апарату.....	85
Висновки по розділу	87
РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОПОЗИЦІЙНИХ РІШЕНЬ	89
5.1 Розрахунок витрат на модернізацію сегмента ріжучого апарату.....	89
5.1.1 Розрахунок вартості механічної обробки сегмента ріжучого апарату	89
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	91
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛЬ	93
ДОДАТКИ	99

ВСТУП

Важливим завданням у технологічному процесі екошування зернових культур і трав є проведення робіт у стислі агротехнічні терміни, так як кожен наступний день веде до збільшення втрат біологічного врожаю. Успішне виконання цього завдання багато в чому визначається наявністю в господарстві необхідної кількості збиральних машин та їх технічним станом.

Дослідження надійності зернозбиральних комбайнів [78] показали, що з усіх простоїв техніки, що становлять 32...35% загального робочого часу, частку технічних несправностей припадає 17,4...19,8%. За результатами державних випробувань на машино випробувальних станціях фактичне напрацювання на відмову у вітчизняних комбайнів знаходиться в межах 3...70 год, а коефіцієнт готовності 0,85...0,97, відповідно. Найбільша кількість відмов припадає на жниварну частину, механічні передачі, гідросистеми, робочі органи молотарки, електричні та електронні засоби контролю.

У свою чергу кількісний аналіз відмов жнивної частини показав, що найбільше несправностей припадає на деталі ріжучого апарату, а саме сегментів, протиріжучих пластин і пальців. Слід зазначити, що поломки протирізальних пластин і пальців в основному відбуваються внаслідок насакування на них сегментів, що деформувалися від попадання в зону різання сторонніх предметів.

Основними несправностями сегментів ріжучого апарату, що викликають відмову збиральної техніки, є знос різальної кромки леза, деформація або поломка внаслідок раптових відмов, а також ослаблення його кріплення до ножової смуги через неякісну фіксацію.

З вище сказаного випливає, що дослідження, спрямовані на підвищення надійності сегментно-пальцевого ріжучого апарату збиральних машин за рахунок модернізації конструкції сегментів, є актуальними та становлять практичний інтерес.

Мета дослідження - підвищення надійності сегментно-пальцевого ріжучого апарату збиральних машин удосконаленням параметрів сегментів.

Об'єкт дослідження - Робочі поверхні сегмента ріжучого апарату, що визначають його ресурс, та процес руйнування при раптовій відмові.

Предмет дослідження - закономірності розвитку зношування робочої поверхні леза сегмента ріжучого апарату та характер його руйнування при виникненні раптової відмови.

Методика дослідження передбачає використання теорії ймовірностей та надійності, математичного аналізу та системного підходу, що забезпечують аналітичний опис роботи сегменту ріжучого апарату, стандартних методик стендових та експлуатаційних випробувань на сучасному обладнанні, а також методів планування багатфакторного експерименту, математичної статистики для обробки отриманих результатів.

Магістерська робота складається з п'яти розділів та присвячена підвищенню надійності ріжучого апарату збиральних машин за рахунок формування покращених конструктивно експлуатаційних параметрів сегментів.

У першому розділі «Стан питання підвищення надійності ріжучого апарату збиральних машин, мета та завдання дослідження» проведено аналіз технічного стану жнивних машин та виявлено основні причини їх простою в період збирання, проведено огляд конструкцій різальних апаратів та їх різальних елементів, проаналізовано основні способи підвищення надійності різальних апаратів. Сформульовано мету та завдання дослідження.

У другому розділі «Теоретичні передумови підвищення надійності сегментно-пальцевого ріжучого апарату» застосовано новий підхід розгляду ріжучого апарату як складної технічної системи, нижчими елементами якої є робочі поверхні сегмента ріжучого апарату та отримана теоретична модель їх напрацювання повністю. Розглянуто взаємодію леза сегмента зі стеблом рослини та отримано математичну залежність, що відображає основні параметри, що впливають на енергоємність процесу різання. Проведено аналіз загальних витрат, пов'язаних із відновленням працездатності ріжучого апарату при раптовій відмові. Розроблено теоретичну модель підвищення ресурсу леза сегмента нанесенням зносостійкого покриття.

У третьому розділі «Програма та методика експериментальних досліджень» представлені загальна програма досліджень, комплекс обладнання для нанесення зносостійкого покриття та металографічного аналізу сегментів ріжучого апарату,

методика комп'ютерного моделювання навантажень, що діють на сегмент, дано опис лабораторних установок для дослідження на зносостійкість та раптову відмову сегментів, представлена загальна обробка експериментальних даних

У четвертому розділі «Результати експериментальних досліджень та їх аналіз» представлені результати дослідження визначення фізико-механічних властивостей сегментів та геометричних параметрів їх форми, результати комп'ютерного моделювання навантажень, що діють на сегмент. За результатами багатofакторного експерименту встановлено взаємозв'язок зносостійкості експериментальних сегментів ріжучого апарату від режимів та умов роботи.

Наведено результати випробувань модернізованих сегментів на раптову відмову та прогнозовано довговічність їх роботи в умовах рядової експлуатації.

П'ятий розділ «Техніко-економічна оцінка результатів дослідження».

Наведено основні показники роботи модернізованого сегмента ріжучого апарату та надано економічні розрахунки ефективності запропонованих рішень щодо підвищення надійності різальних апаратів.

Наприкінці дисертації викладено загальні висновки.

Наукова новизна:

- теоретична модель формування параметричної відмови в результаті зносу робочих поверхонь лез сегмента, що контактують з матеріалом стебел рослин, та залежності швидкості зношування його робочих поверхонь;

- теоретична модель підвищення довговічності леза сегмента ріжучого апарату шляхом формування зносостійкого покриття;

- нова конструкція сегмента, що забезпечує надійну роботу ріжучого апарату за рахунок збільшення зносостійкості леза і зниження витрат на відновлення його працездатності при виникненні раптових відмов.

Практична значущість роботи. Запропоновані технічні рішення забезпечують підвищення ресурсу леза сегмента в 2,8...3,2 рази та зменшують енергоємність процесу різання на 10%, а також знижують наслідки раптової відмови, спричиненої потраплянням у зону різання сторонніх предметів, що скорочує загальний час простою збиральної машини. з технічних причин та матеріальні витрати на ліквідацію несправності.

Апробація роботи. Основні результати досліджень викладено на: XVIII Міжнародній науковій конференції «Рациональне використання енергії в техніці TechEnergy 2022» (17-19 травня 2022 року). Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2022р.; X Міжнародної науково-технічної конференції з нагоди 116-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, члена-кореспондента ВАСГНІЛ, віцепрезидента УАСДЮ Володимира Савовича КРАМАРОВА (1906-1987) та 125-ї річниці НУБІП України «КРАМАРОВСЬКІ ЧИТАННЯ» (23-24 лютого 2023 р).

Публікації результатів досліджень.

За результатами досліджень було опубліковано 3 друкованих праць, у тому числі 2 тези і 1 публікація що входить до переліку наукових фахових видань України.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РЕЖУЧОГО АПАРАТУ ЗБИРАЛЬНИХ МАШИН, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз технічного стану збиральних машин

Важливим завданням у технології збирання є проведення робіт у стислі агротехнічні терміни (7-12 днів), так як кожен наступний день веде до збільшення втрат біологічного врожаю. Наприклад, збільшення тривалості збирання зернових на площі 300 га призводить до втрат від 0,3 до 1,4 т за годину [11], а при загоствленні кормів до втрат у них протеїну до 20% [11]. Успішне виконання цього завдання багато в чому визначається наявністю в господарстві необхідної кількості збиральних машин та їх технічним станом.

За даними [11, 14, 12] понад 60% всієї сільськогосподарської техніки країни виробили свій ресурс чи технічно застаріли. При цьому в господарствах, виробництво яких засноване на застосуванні машин з високим ступенем зносу, врожайність зернових культур не перевищує 12,0-19,3 ц/га [11].

Аналіз оснащення сільськогосподарських підприємств технікою в Росії та Ставропольському краї [78, 107, 108] показав (рисунк 1.1 та 1.2), що зараз має місце негативна динаміка зниження кількості основних видів сільгоспмашин.

Зокрема, за останні десять років кількість зернозбиральних комбайнів по краю зменшилась у 1,4 рази, тоді як загалом по країні це зниження становило 5,0 разів.

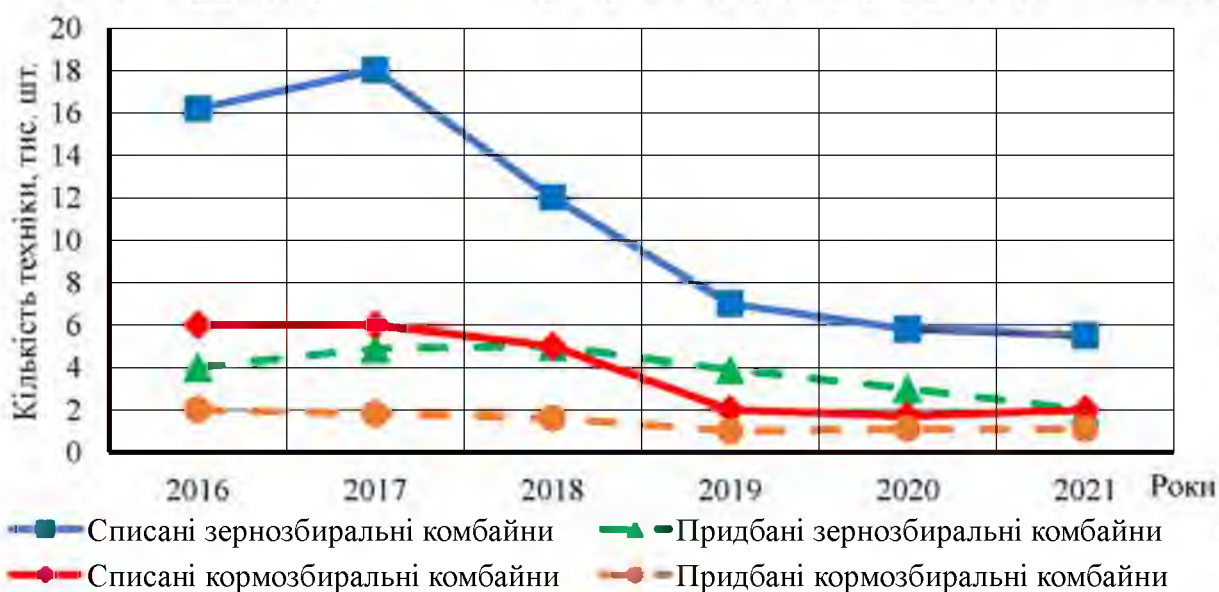


Рисунок 1.1 - Діаграми списання та придбання основних видів техніки в

середньому по Україні

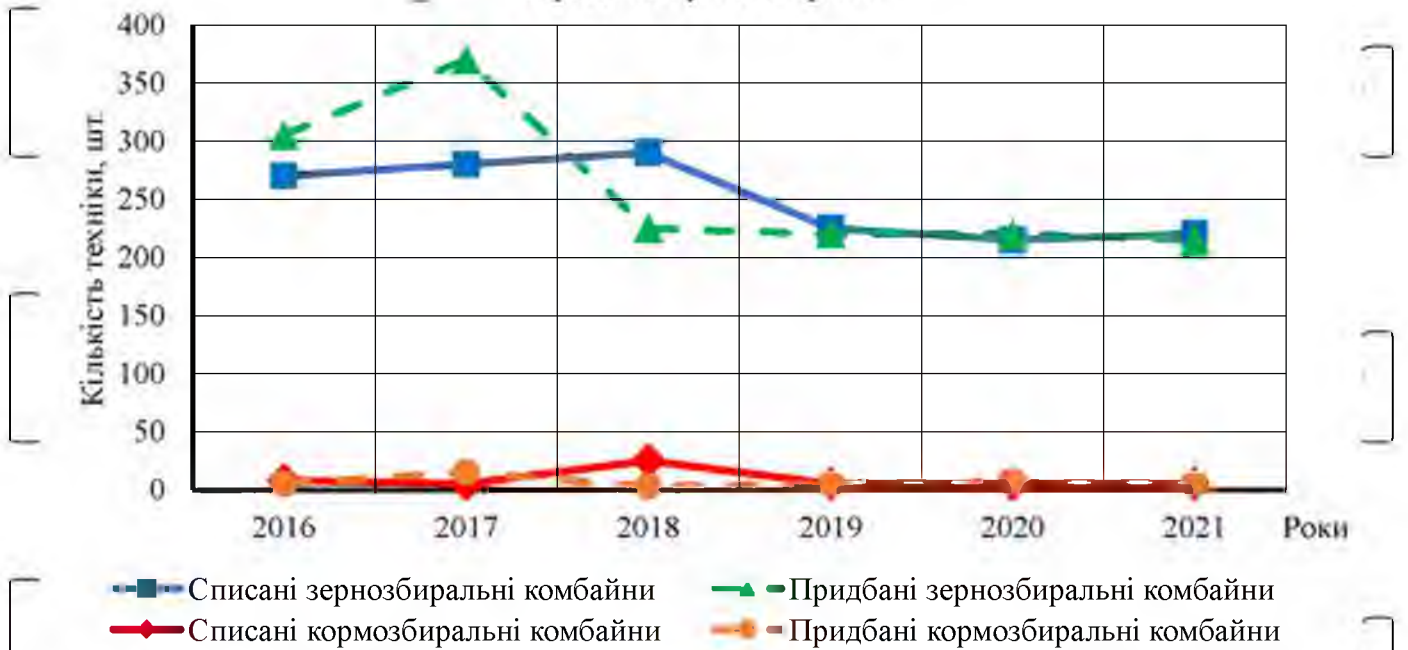


Рисунок 1.2 - Діаграми списання та придобання основних видів техніки в

середньому по Україні

Скорочення кількості техніки пояснюється, головним чином, високою вартістю нової та диспаритетом цін на сільськогосподарську та промислову продукцію. Однак, незважаючи на зменшення кількості збиральної техніки,

навантаження на неї значно зросло. У 2019 році навантаження на один зернозбиральний комбайн становив 327 га посівів відповідних культур, за норми 200 га, на кукурудзозбиральний комбайн 817 га кукурудзи, за норми 250 га. Слід зазначити, що за останні 3 роки спостерігається позитивна динаміка зростання кількості зернозбиральних комбайнів, що купуються. При цьому навантаження на одиницю цього виду машин не знижуються через збільшення площі посіву зернових, замість яких раніше сіяли кормові культури (рисунок 1.3).

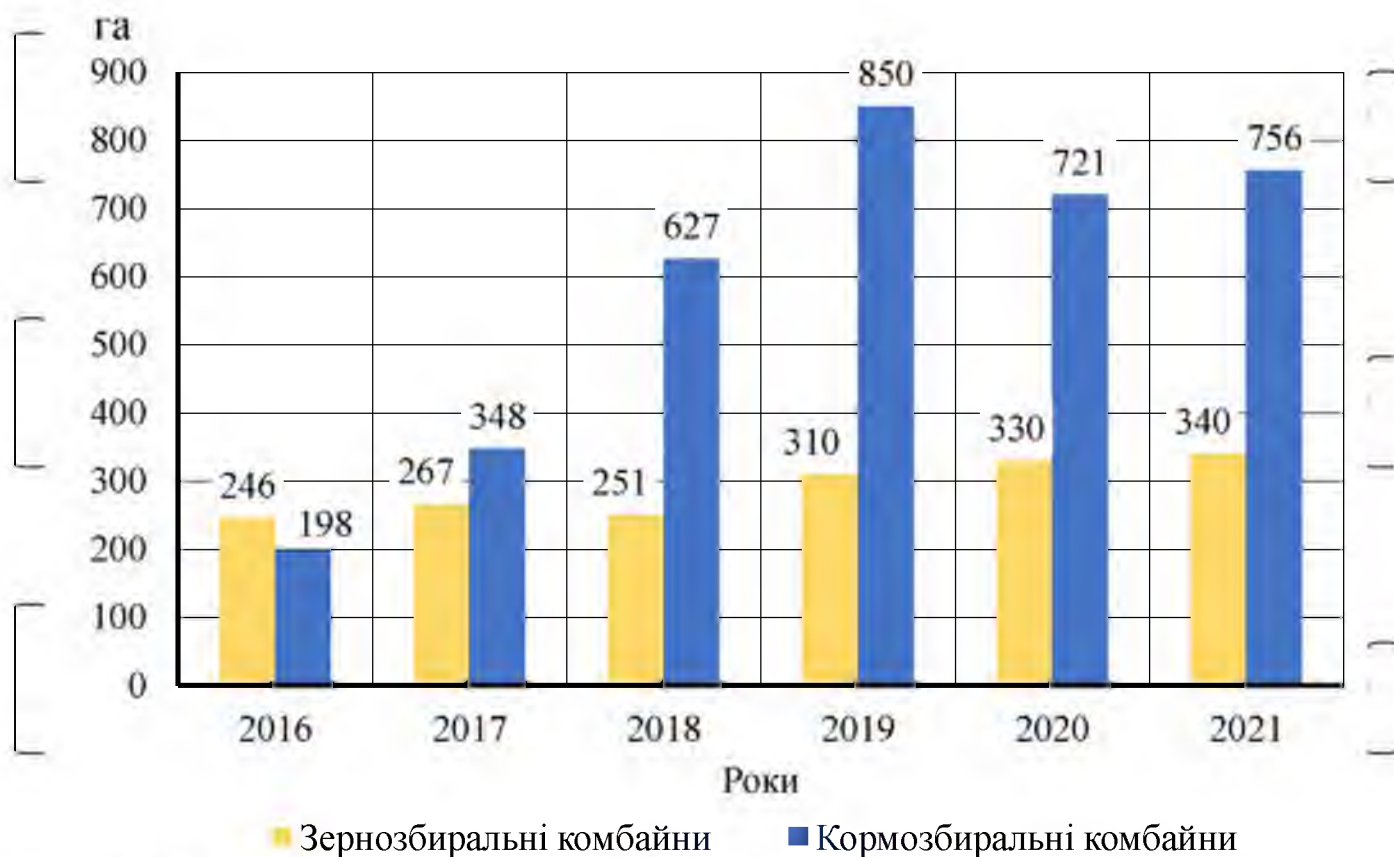


Рисунок 1.3 – Діаграма завантаження комбайнів у середньому по Україні

У результаті тенденції зниження оснащення сільськогосподарських підприємств технікою і навантаження, що зросла на неї, зростає кількість відмов машин, що в свою чергу тягне за собою збільшення тривалості і несвоєчасності виконання збиральних робіт і призводить до втрат продукції. Наприклад, із загальних втрат зернових до 54% пов'язано з нестачею та низькою технічною готовністю вже наявних зернозбиральних комбайнів [10].

1.2 Аналіз відмов збиральних машин

Зернозбиральний комбайн є складною технічною системою, що складається з великої кількості деталей, вузлів і механізмів. Кожен вузол і агрегат виконує певні функції в залежності від свого призначення. При цьому одним із основних показників роботи зернозбирального комбайна є його надійність.

Під надійністю технічного засобу розуміється здатність його та його складових частин виконувати задані функції, зберігати в часі значення параметрів відповідних режимам та умовам їх використання, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання та транспортування [31].

Дослідження надійності зернозбиральних комбайнів [78] показали, що із

загальних простоїв техніки, що становлять 32...35% від робочого часу, внаслідок технічної несправності припадає 17,4...19,8%. За результатами державних випробувань на машинно-випробувальних станціях фактичне напрацювання на відмову у вітчизняних комбайнів перебуває в межах 3...70 год, а коефіцієнт готовності 0,85...0,97 відповідно. Найбільша кількість відмов припадає на жнивну частину, механічні передачі, гідросистеми, робочі органи молотарки, електричну та електронні засоби контролю (рисунк 1.5).

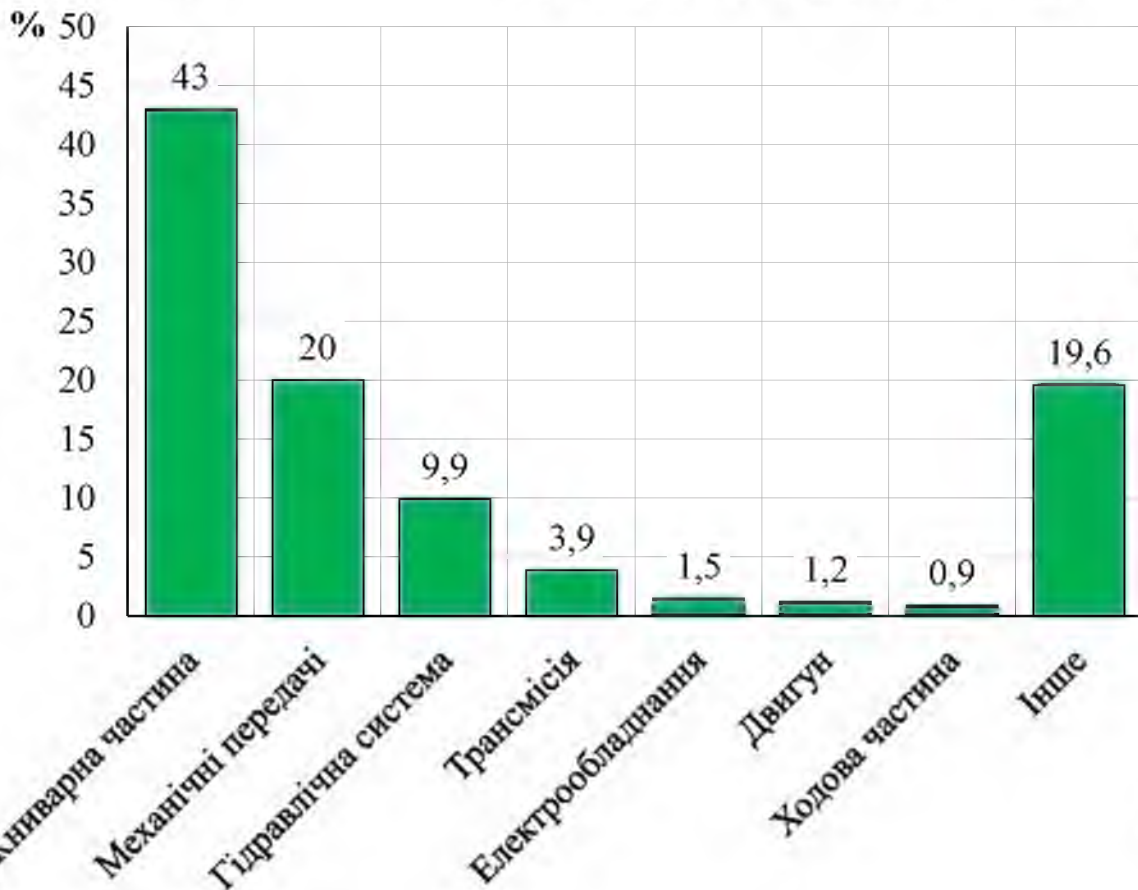


Рисунок 1.5 - Розподіл відмов зернозбирального комбайна

У свою чергу кількісний аналіз відмов жнивної частини показав, що найбільше несправностей припадає на деталі ріжучого апарату, а саме сегментів, протиріжучих пластин і пальців (рисунк 1.6). Слід зазначити, що поломки прогнорізальних пластин і пальців в основному відбуваються внаслідок наскокування на них сегментів, що деформуються від попадання в зону різання сторонніх предметів.

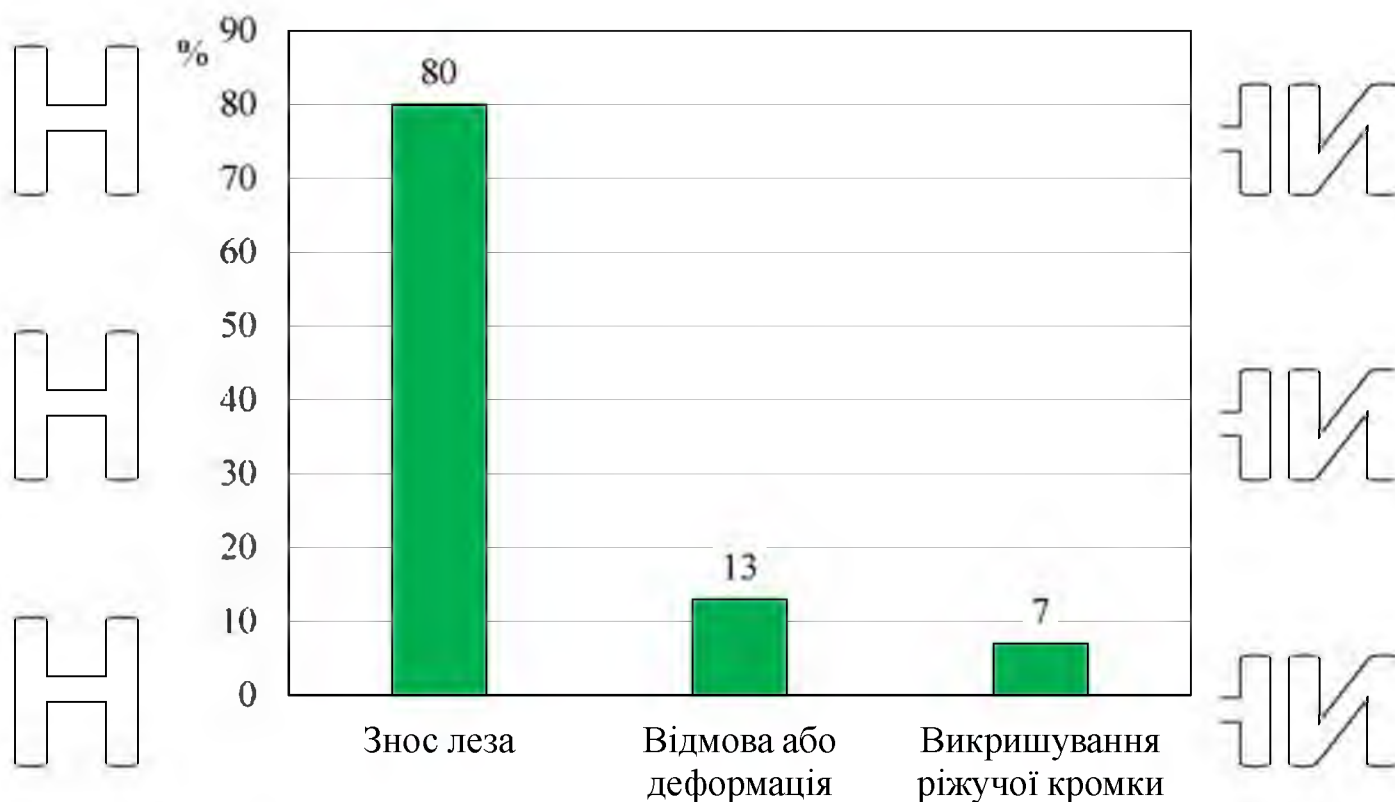


Рисунок 1.6 – Основні види несправності сегмента ріжучого апарату

Серед основних несправностей сегментів ріжучого апарату, що викликають відмову збиральної техніки, можна виділити знос різальної кромки леза, їх деформацію або поломку внаслідок раптових відмов, а також ослаблення його кріплення до ножової смуги через неякісну фіксацію.

Зношування леза сегмента відбувається в основному за рахунок тертя про різані стебла рослини (рисунок 1.7). Нижня ріжуча кромка сегмента 1, при прямому та зворотному ході ножа, взаємодіє зі стернею, а так само з кромкою протирізальної пластини 2. У зв'язку з цим інтенсивність стирання нижньої частини сегмента значно вища, ніж верхньої. В результаті зносу змінюються значення гостроти кромки леза δ і кута заточування леза β , що призводить до зниження працездатності різального апарату.

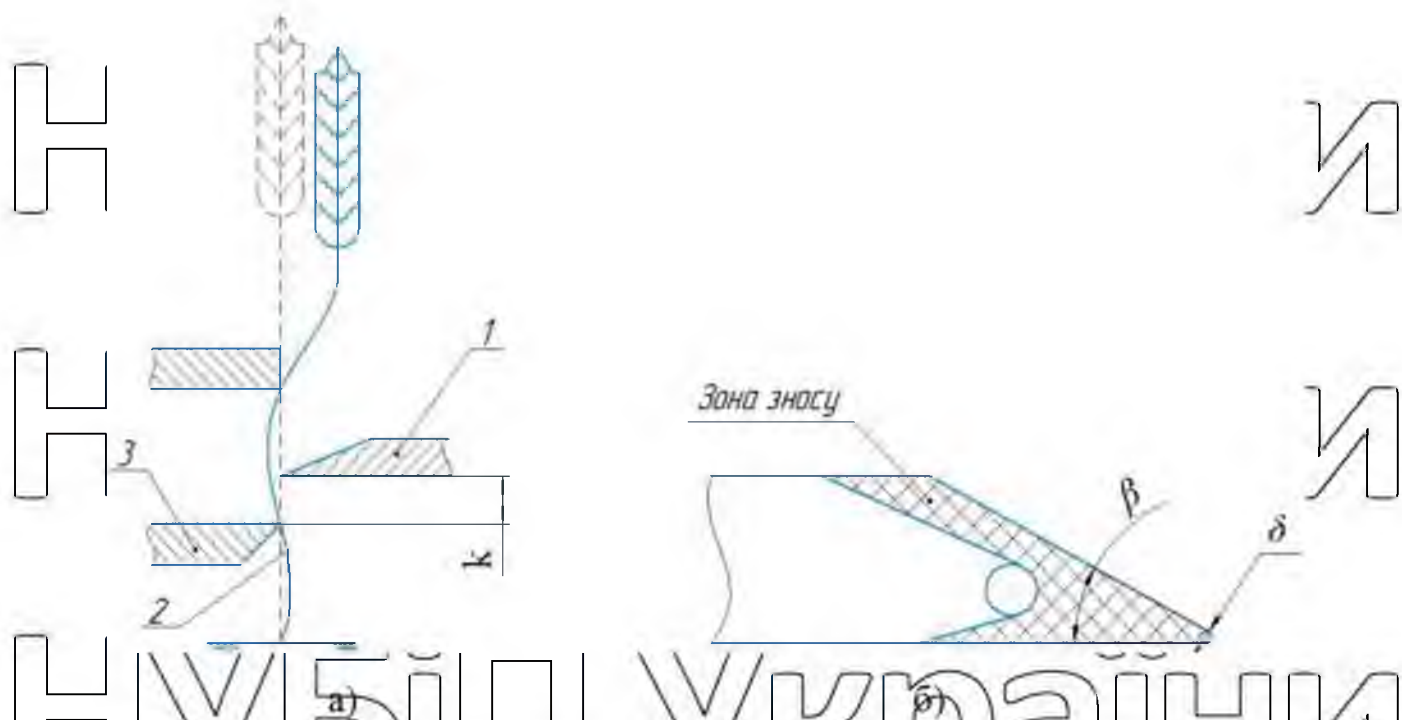


Рисунок 1.7 – Схема роботи сегмента ріжучого апарату

а) схема взаємодії леза сегмента зі стеблом рослини; б) схема зносу леза сегмента. 1 – сегмент; 2 - стебло рослини; 3 - протиріжуча пластина; k - зазор в ріжучій парі.

При експлуатації збиральної техніки на полеглих хлібах, низькому зрізі та нерівних польових ділянках існує ймовірність попадання в зону різання сторонніх предметів (камінів, деталей сільськогосподарських машин, фрагментів металевих виробів тощо). Повернутий і відігнутий у вертикальній площині сегмент, при поворотно-поступальному русі, зустрічає елементи пальця, які руйнують його, руйнуючись самі. Сегменти ламаються та зриваються зі спинок по заклепках, суперечні частини пальця швидко затуплюються і іноді фарбуються по краю (рисунок 1.8). Усі ці явища призводять до збільшення часу простою комбайну на усунення наслідків відмови.



Рисунок 1.8 – Наслідки раптової відмови:

а) ушкодження сегмента; б) пошкодження елементів пальцевого бруса

Таким чином, аналіз отриманої інформації дозволив визначити, що найслабшою ланкою в збиральних машинах є сегмент різучого апарату.

1.3 Огляд конструкцій різальних апаратів збиральних машин

В основу класифікації різальних апаратів збиральної техніки покладено принцип безпідпільного та підпільного різання (рисунок 1.9) [64-22].



Рисунок 1.9 - Класифікація різальних апаратів збиральної техніки

Безпідпільні ріжучі апарати з вертикальною або горизонтальною віссю обертання складаються з ножів, шарнірно з'єднаних з диском або барабаном. У процесі різання такими апаратами рослина не має підпору з боку елементів машини, її вигин обмежується жорсткістю стебла, силою інерцією та частково підпором від сусідніх стебел.

Ріжучі апарати підпільного різання (рисунок 1.10) бувають сегментно-пальцеві та безпальцеві.

Сегментно-пальцеві ріжучі апарати зрізають рослини за швидкості сегмента 1,5...3,0 м/с. Ріжуча пара в таких апаратах є сегментом і протиріжучою пластиною, яка кріпиться на палець або є нижньою його частиною. Сегмент підводить рослину до протирізальної пластини і, защемляючи її в розчині цих елементів апарату, зрізає. Момент зрізу стебло спирається на протирізальну пластину (точка Б) і перовидний відросток пальця (точка А), тобто. на дві опори, що зменшує вигин стебла і тим самим підвищує ймовірність зрізу, особливо тонкостеблових рослин, що мають малу жорсткість.

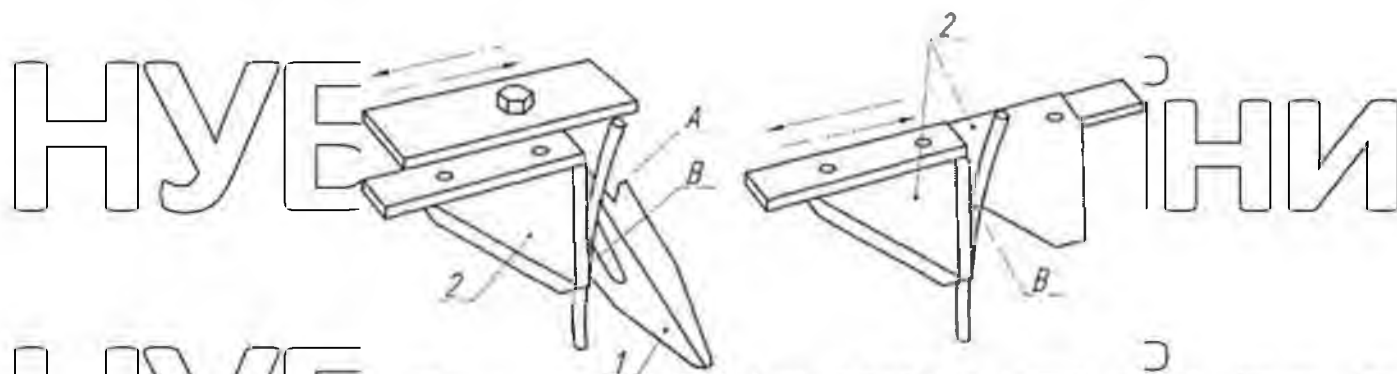


Рисунок 1.10 – Типи різальних апаратів підпільного зрізу:
а – сегментно-пальцевий; б – безпальцевий.

1 – палець; 2 - сегменти

У безпальцевому апараті ріжуча пара складається з двох сегментів, що зрізають рослину з опорою в одній точці В. Такі ріжучі пари менше забиваються при збиранні поплутаних і полеглих рослин, але через відгин шкарпеток сегментів вони мають низьку надійність.

Існують одно- і двоніжкові апарати: у першому випадку рухомий один ніж, у другому обидва ножі здійснюють опозитний рух, завдяки чому підтримується рівновага машини. Переміщення кожного ножа в такому апараті вдвічі менше в порівнянні з одноножовим, завдяки чому, сила інерції має невелике значення.

Однак привід таких апаратів має складну конструкцію.

Залежно від геометричних та кінематичних параметрів сегментно-пальцевих апаратів (рисунок 1.11) розрізняють апарати нормального різання з одинарним пробігом ножа, нормального різання з подвійним пробігом ножа, низького різання та апарати середнього різання.

Апарат нормального різання з одинарним пробігом ножа характеризується співвідношенням $t_p = t_o = S = 76,2$ мм чи 90 мм

Апарат з кроком 76,2 мм застосовують у косарках, жнивварках для зрізу трав, зернових та технічних культур; з кроком 90 мм - у силосозбиральних та кукурудзозбиральних комбайнах для зрізу товстостеблових культур.

Для роботи на підвищених швидкостях використовують апарати із збільшеним пробігом сегмента. Це апарати нормального різання з подвійним пробігом ножа $2t_p = 2t_o = S = 152,4$ або 101,6 мм. Їх використовують у косарках для

степових трав.

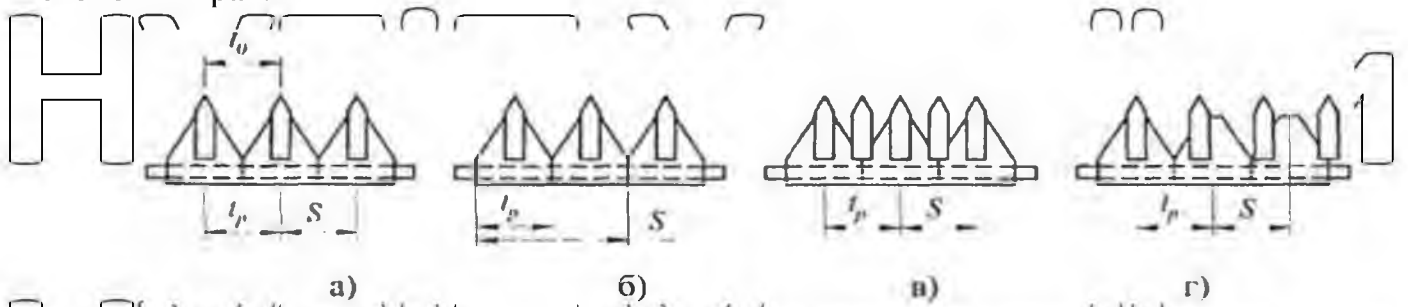


Рисунок 1.11 - Типи сегментно-пальцевих різальних апаратів:

а - нормального різання з одинарним пробігом потиску; б - нормального різання, з подвійним пробігом ножа; в і г - низького та середнього різання; t_p - крок ріжучої частини; t_o - крок протиріжучої частини; S - хід ножа

Апарати нормального різання з нерозовім ходом ножа характеризуються співвідношенням $ut_p = ut_o = S$, де $1 < u < 2$. Значення $t_p = t_o = 76,2$ мм, і дорівнює 1,15 та 1,84 мм.

Ріжучий апарат низького різання має співвідношення $t_p = 2t_o = S = 76,2$ чи 101,6 мм. Перший варіант апарату застосовують у косарках, другий - у причіпних комбайнах.

Апарат середнього різання характеризується співвідношенням $t_p = ut_o = S = 76,2$ чи 101,6 мм, де $1,2 \leq u < 1,4$.

Перший варіант апарату застосовують і в зарубіжних ріжучих апаратах.

Аналіз конструкцій вітчизняних та імпортованих збиральних машин показав, що широке застосування отримав сегментно-пальцевий різальний апарат нормального різання з одинарним пробігом ножа, що пояснюється високими показниками якості зрізу рослинної маси та малою енергоємністю роботи порівняно з апаратами безпідпрного зрізу. Однак, як показали дослідження надійності збиральних машин, через швидке зношування леза сегмента та його конструктивних недоліків, надійність таких апаратів невисока.

Головним елементом різального апарату, що безпосередньо здійснює зріз рослини, є сегмент (рисуюнок 1.12, таблиця 1.1).

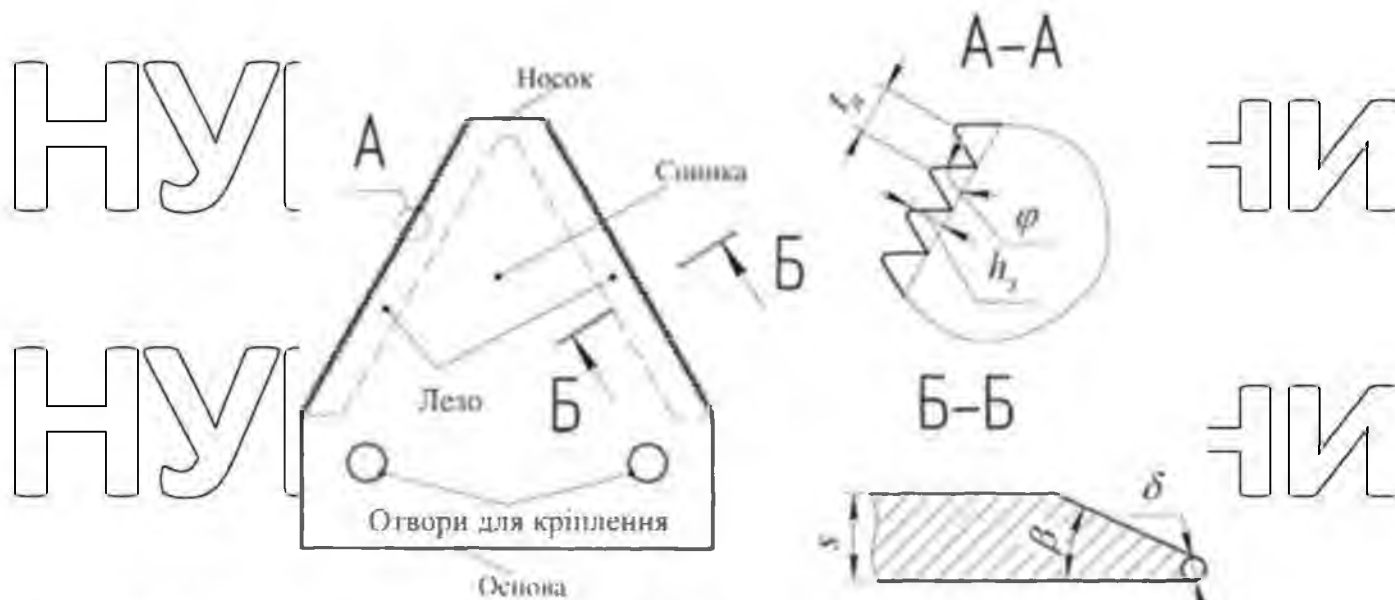


Рисунок 1.12- Сегмент ріжучого апарату

Таблиця 1.1 Значення параметрів сегмента відповідно до ГОСТ 458-74

Назва параметра	Значення параметру
Товщина сегмента s , мм	2...3
Твердість загартованої частини (лезо), HRC	50...56
Твердість незагартованої частини (спинка), HRC	< 35
Кут заточування леза, град.	23...28
Гострота кромки леза δ , мкм	23...27
Крок зубів насічки t_H , мм: для стебел $\varnothing 0,4...1,15$ мм для стебел $\varnothing 2...4$ мм	0,1...0,2 1...1,2
Висота зуба насічки h_3 , мм	> 0,65
Кут нахилу зуба насічки по відношенню до леза φ , град.	50...60

Вітчизняні та імпорتنі сегменти виготовляються з вуглецевої інструментальної або легированої сталі у вигляді трапецієподібної пластини товщиною $s = 2...3$ мм, залежно від типу ріжучого апарату, в якому вони використовуються. Для збільшення ступеня затискання стебла і якіснішого зрізу на лезі є насічка. Відстань між зубами насічки залежить від типу культури, що прибирається, при цьому її висота h_3 повинна бути не менше 0,65 мм, а кут нахилу по відношенню до леза $\varphi = 50...60^\circ$. Для косіння степових трав, що мають діаметри стебел 0,4...1,15 мм, крок насічки становить $t_H = 0,1...0,2$ мм, для зернових культур, з діаметром стебел 2...4 мм, $t_H = 1...1,2$ мм відповідно. Самі зубці насічки являють

собою клини з округлою вершиною орієнтовані паралельно основи сегмента або перпендикулярно лезу. Твердість у незагартованій частині не перевищує HRC 35. Поєднання м'якої серцевини та загартованої ріжучої кромки компенсує ударні навантаження, які зазнає сегмент у процесі роботи. У деяких вітчизняних та

імпортних зразках сегментів є просічки, призначені для зниження маси. Твердість у незагартованій частині не перевищує HRC 35. Поєднання м'якої серцевини та загартованої ріжучої кромки компенсує ударні навантаження, які зазнає сегмент у процесі роботи. У деяких вітчизняних та імпортних зразках сегментів є просічки, призначені для зниження маси ножа [47, 32]. У імпортних зразках вони додатково служать видалення землі і волокон стебел з пальця [17]. Просічення розташовані біля основи та в спинці тіла сегмента. При цьому слід зазначити, що вони не суттєво впливають на міцність сегмента.

Для захисту поверхні сегмента від корозії деяких імпортних зразках є спеціальні покриття.

1.4 Аналіз робіт, присвячених дослідженню різальних апаратів збиральних машин

Значний внесок у підвищення надійності деталей різальних апаратів та збиральних машин загалом зробили такі вчені, як В.П. Горячкін [30], Е.В. Жалнін [42], Н.С. Резнік [105], А.М. Карпенка [57], В.М. Курочкін [75], І.А. Долгов [39], Є.Є. Босий [13], Б.А. Лісунов [52], Н.Р. Алігамов [3], Н.І. Дроздов [40], Н.П. Алексенко [5] та ін. Аналіз, їх теоретичних та експериментальних досліджень дозволив виділити чотири основні напрями підвищення надійності збиральних машин та їх елементів, які представлені на рисунку 1.13.

Удосконалення технології та технологічних засобів обслуговування об'єктів дозволяє усунути або запобігти відмовим, викликаним дефектами та несправностями, що підвищує надійність та ефективність експлуатації техніки.

Питаннями визначення оптимальної кількості пунктів технічного обслуговування та їх функціонування присвячені роботи [76].

Діяльність [27] розглянуто методи розрахунку основних параметрів функціонування системи технічного обслуговування сільськогосподарських

машин. Використовуючи ймовірнісний характер методів настання відмов та мінімум питомих витрат, автор визначив раціональну кількість ланок, їх чисельний склад та кількість проміжних пунктів ТО.

ОСНОВНІ НАПРЯМИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЗБИРАЛЬНИХ МАШИН ТА ЇХ ЕЛЕМЕНТІВ

Удосконалення технології та технологічних засобів обслуговування

Застосування системи резервування

Удосконалення конструкції деталей збиральних машин

**ФОРМУВАННЯ
ПОКРАЩЕНИХ
ВЛАСТИВОСТЕЙ РОБОЧИХ
ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ
МАШИН**

Рисунок 1-13. Основні напрями підвищення надійності збиральних машин та їх елементів

Діяльність [27] розглянуто методи розрахунку основних параметрів функціонування системи технічного обслуговування сільськогосподарських

машин. Використовуючи ймовірнісний характер методів настання відмов та мінімум питомих витрат, автор визначив раціональну кількість ланок, їх чисельний склад та кількість проміжних пунктів ТО.

Розроблені професором В.М. Курочкіним моделі [75], що описують процеси управління ефективністю ЕМТП, дозволяють встановити раціональний розподіл ресурсів техніки для своєчасних ремонтів та ТО.

Істотний внесок у розвиток методів та засобів діагностування зробили Г.В. Веденяпін [20], Ю.К. Кіртбая [63], Л.Є. Агеєв [2], В.А. Алілуєв [6], І.П. Терських [51] та ін.

Академіком Г.В. Веденяпін [20, 67] виходячи з довірчого рівня безвідмовності, розроблена методика побудови систем технічного обслуговування сільськогосподарських машин, що дозволяє визначити час для їх діагностування.

Професором В.А. Алілуєвим спільно зі своїми учнями проведено велику

кількість теоретичних та експериментальних досліджень щодо обґрунтування застосування віброакустичного методу діагностування [6, 7]. В результаті роботи ними розроблені різні прилади та установки діагностування на основі вібросигналу, що дозволяють визначати дефекти у вузлах та механізмах.

Питаннями діагностування різних вузлів збиральних машин займалися співробітники ДЕРЖСНІП. На основі їхніх робіт було створено стенди для контролю технічного стану деталей жнивної частини, підросистем, енергетичної установки та інших деталей [25].

Внаслідок досліджень професором Н.Р. Адигамовим розроблено установку [3], яка дозволяє діагностувати технічний стан рухомих сполучень робочих органів збиральних машин, що забезпечує збільшення ймовірності безвідмовної роботи на 12%.

Резервування - метод підвищення надійності об'єкта введенням додаткових елементів та функціональних можливостей понад мінімально необхідні нормального виконання об'єктом заданих функцій. У цьому випадку відмова настає лише після відмови основного елемента та всіх резервних елементів [62].

Під удосконаленням конструкції деталей збиральної машини розуміється комплекс заходів щодо забезпечення необхідного рівня показників виробу (ріжуча здатність, зносостійкість та ін.), які відповідають встановленим вимогам щодо його роботи.

Основи теорії різальних апаратів розроблені академіком В.П. Горячкиним [30] і викладено у роботі «Теорія жнивних машин». Він встановив взаємозв'язок технологічного процесу різання з конструктивними елементами різального апарату та закріпив основи розрахунку зусиль у деталях збиральних машин. Процес різання стебел він розглядав як дію, здійснюване як статистичним, повільним тиском з допомогою поперечного прискорення, і динамічним з допомогою імпульсу з допомогою втраченої енергії. При повільному русі сегмента тиск передається на всю масу стебла, внаслідок чого він згинається і не ламається, а при швидкому стеблi не згинається, а перебуває під ударом. Він встановив, що різання відбувається за рахунок проникнення леза всередину стебла, при цьому воно витісняє своїми фасками частину матеріалу, долаючи сили нормального тиску та

тертя.

Академік В.П. Горячкін вперше ввів поняття про ковзне різання і визначив коефіцієнт ковзання, який є відношенням дотичної V_T і нормальної V_H складових швидкості руху ножа [30]:

$$\varepsilon = \frac{V_T}{V_H} = \operatorname{tg} \chi, \quad (1.1)$$

де χ – кут ковзання, град.

Зменшення сили різання при косому зрізі він пояснює тим, що частина сили тертя переноситься в перпендикулярному напрямку перерізу та наявністю мікрозубчиків на кромці леза, що утворилися внаслідок заточування ножа, які забезпечують перепилування матеріалу, що обробляється.

Виходячи з припущень, що імпульс для різання стебла $C_{им}$, за будь-якої швидкості леза залишається постійним, В.П. Горячкін визначив значення критичної швидкості, необхідної для зрізу рослин [29]:

$$V_{кр} = C_{им} \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right), \quad (1.2)$$

де m_1 - ударна маса леза, кг;

m_2 - ударна маса стебла, кг.

Формули визначення критичної швидкості різання запропоновані також академіками Е.М. Гутьяром [38], А.Ю. Ішлінським [54] та ін. Однак запропоновані

залежності не встановлюють вплив швидкості на енергоємність процесу різання.

В роботі [104] Н.В. Резник, вивчаючи силову взаємодію леза з матеріалом, визначив критичну силу різання:

$$P_{кр} = \delta \sigma_p + \frac{E}{2} \cdot \frac{h_{сл}^2}{h_{сл}} \left[\operatorname{tg} \beta + f \sin^2 \beta + (f + \cos^2 \beta) \right], \quad (1.3)$$

де δ - острогу кромки леза, м;

σ_p - руйнівна контактна напруга, Н/м²;

E - модуль пружності матеріалу, МПа;

$h_{сл}$ - стиск матеріалу, що передує руйнуванню, м;

$h_{сл}$ - товщина шару матеріалу, що перерізається, м;

μ - коефіцієнт Пуассона;

f - коефіцієнт тертя перерізаних волокон стебла про межу клину;

β - кут заточування леза, град.

Даний вираз показує взаємозв'язок між конструктивними, фізико-механічними та режимними параметрами процесу різання. Однак він не враховує довжину леза, що входить у контакт із матеріалом. Також він вводить поняття ріжучої здатності λ , вказуючи на те, що ця величина обернена до повного зусилля різання $P_{кр}$.

$$\lambda = \frac{1}{P_{кр}} \quad (1.4)$$

З виразу випливає, що чим менше зовнішнє зусилля, прикладене до леза, тим вища ріжуча здатність. Зазначена здатність зростає з підвищенням гостроти леза та зменшенням кута заточування.

У роботі В.А. Желіговський встановив залежність між переміщенням леза по матеріалу під дією дотичної сили та величиною його впровадження у матеріал, а також визначив умови, за яких відбувається процес різання [43].

Під формуванням покращених властивостей робочих поверхонь деталей машини розуміється зміна фізико-механічних властивостей поверхневого шару деталі, розмірів та геометричної форми її робочої частини з метою забезпечення високих експлуатаційних показників.

Основними способами формування покращених фізико-механічних властивостей робочих поверхонь деталей машин є електроіскрові та плазмові технології, методи поверхневого пластичного деформування (ПЧД) та металізація.

Вирішення питань у цьому напрямі присвячені праці багатьох вчених [79, 50, 121, 35 та ін.]. У цих роботах розглянуті методи та режими зміцнення поверхневого шару як при виготовленні, так і при відновленні деталей.

Методи підвищення ресурсу ріжучих робочих органів з допомогою композитних матеріалів розглянуті в роботах [8, 37, 22]. У них даються рекомендації щодо створення багатошарового ножа з метою отримання леза, що самозаточується.

Дослідженню раціональних режимів поверхневого пластичного деформування при зміцненні деталей присвячені роботи [9, 130, 73, 28 та ін.].

Зокрема в роботі [93] розроблено розрахункові методи визначення раціональних режимів ППД при дробтообробці після попередньої хіміко-термічної або термічної обробки, що забезпечує найбільшу ефективність обробки поверхні.

При цьому найбільший ефект при підвищенні якості робочих поверхонь деталей машин досягається з використанням комбінованих методів зміцнення [41,

79, 45, 77 та ін.]. У роботі [89] розглянуто комбінований метод обробки прецизійних деталей з метою отримання високоякісного поверхневого шару. Автор пропонує послідовне використання електроіскрової технології, методу ППД та фінішного плазмового зміцнення при відновленні плунжерних пар. Дане технічне рішення дозволило підвищити ресурс деталей паливної апаратури, за рахунок зниження швидкості зношування та виключення скоплювання поверхонь, що контактують.

1.5 Огляд та аналіз існуючих технологій підвищення надійності різальних інструментів

До основних вимог, що висувуються до сегментів ріжучого апарату, відносяться висока твердість і достатня в'язкість леза, так як втрага ріжучої здатності леза відбувається не тільки внаслідок його зношування, але і в результаті викрашування кромки [72].

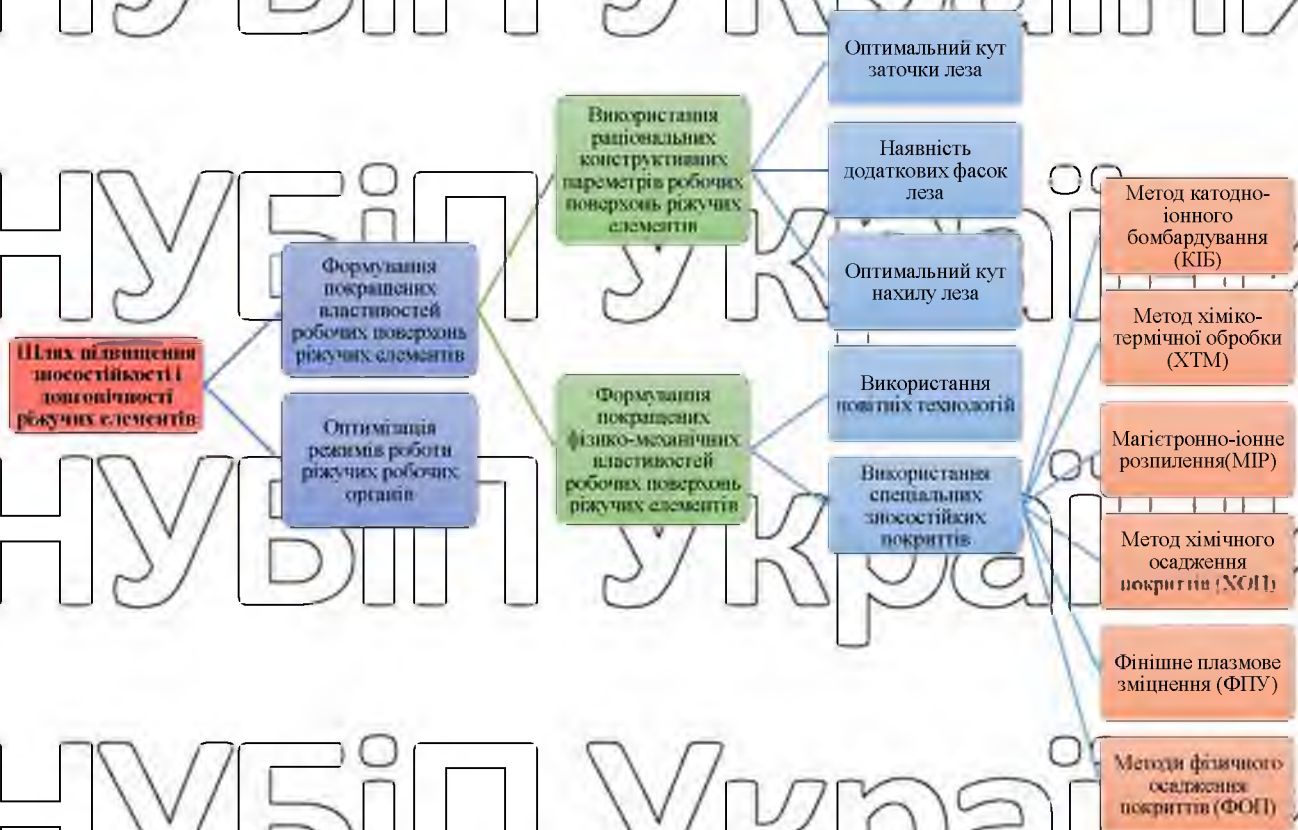
Під зносостійкістю ріжучих інструментів розуміють їх здатність протистояти руйнівній дії частинок, що входять до складу оброблюваного матеріалу або середовища, в якому відбувається технологічний процес різання, а також зберігати свої задані конструктивні параметри. Зносостійкість леза вимірюється часом або обсягом виконаних ним робіт до моменту настання граничного зносу, коли його експлуатація стане неможливою через погіршення технологічних показників (якість обробки поверхні, довжина різання, енергетичні витрати тощо). Для сегментів різального апарату граничне зношування настає при значенні гостроти δ кромки леза 100...110 мкм, що згідно з ГОСТ 158-74 відповідає його напрацювання 3,6 га. Насправді [72, 48], як свідчать дослідження, ресурс леза сегмента в 1,5...2 рази нижче.

Аналіз теоретичних та експериментальних досліджень методів підвищення надійності ріжучих робочих органів дозволив розробити класифікацію існуючих

напрямок, наведену на рисунку 1.14.

Розглянемо цю схему стосовно сегментів ріжучого апарату

Вибір оптимальних параметрів різання розглянуто багатьма вченими та представлено у роботах [64, 68]. У них відзначається, що швидкість і товщина шару, що перерізається визначається виходячи з фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу. Для якісного зрізу з найменшими енерговитратами швидкість сегмента має бути в межах 3...4 м/с.



Рисунк 1.14 - Схема напрямків підвищення надійності ріжучих робочих органів

Вибір раціональних, з погляду зносостійкості, параметрів кута заточування та гостроти кромки леза обмежується реологічними властивостями продуктів, що обробляються. Встановлено [58], що з перерізаня стебла рослини кут заточування повинен перебувати не більше 18...23°, а гострота кромки леза перевищувати 25...27 мкм.

Застосування зносостійких дорогих матеріалів на наш погляд не доцільно, оскільки тільки лезо в процесі роботи піддається зносу з боку матеріалу, що перерізається. Тому найвигідніше застосовувати спеціальні покриття. Однак

використання зносостійких покриттів має ряд обмежень, зумовлених вимогами до сегментів, головне з яких максимальна товщина ріжучої кромки, вона повинна бути не більше 27 мкм.

Розглянемо найпоширеніші способи нанесення тонко плівкового зносостійкого покриття.

Метод хіміко-термічної обробки (ХТМ). Раніше Олений спосіб використовувався для нанесення покриттів на пластини твердосплавні при температурі порядку 1100 °С. Його перевага - можливість послідовного проведення технологічних процесів виробництва твердосплавних пластин та нанесення покриття у водневих електропечах безперервної дії. Через низьку ефективність (підвищення періоду стійкості інструменту до 2 разів) та обмежену сферу застосування (твердосплавні пластини простої форми) метод ХТМ використовується обмежено [21].

Метод іонно-плазмового азотування (ІПА). В даний час він набув великого поширення для зміцнення як швидкохідного інструменту, так і штампової та ливарної оснастки, а також деталей машин в умовах серійного та масового виробництва. Даний метод дозволяє насичувати поверхню виробу азотом (азотом та вуглецем) при температурі 450 - 600 °С (для титанових виробів - 800 - 950 °С) в азотній плазмі. Таке азотування сприяє значному підвищенню зносостійкості та терміну втомлення. Оптимізація властивостей поверхні, що зміцнюється забезпечується за рахунок необхідного послідовного і дифузійного шарів, які «врастають» в основний матеріал. Залежно від призначення та умов експлуатації деталей, що зміцнюються, стійкість інструменту підвищується в 2 - 8 разів, штампової та ливарної оснастки - в 1,2-6 разів, а зносостійкість деталей машин - в 2 - 5 разів.

Методи хімічного осадження покриттів (ХОП). Методи ХОП використовуються для нанесення покриттів на основі карбідів, нітридів та карбонітридів титану, а також оксиду алюмінію на багатогранні твердосплавні пластини, що не переточуються, і цілісні твердосплавні інструменти. За технологією ХОП наносять покриття такі відомі зарубіжні інструментальні фірми як "Сандвік Коромант" (Швеція) (технологія GC), "Теледайн" (США) та "Планзее" (Австрія) (технологія GM) та ін.

Відмінною особливістю покриттів, отриманих методами ХОП є формування

крихкої перехідної зони між покриттям і основним металом. Наявність цієї зони небажана, оскільки веде до зниження міцності різального клину. Для зменшення товщини перехідної зони застосовують багат шарові покриття спеціальної конструкції, що мають низький тонкий шар.

Використання хімічно обложених покриттів дозволяє підвищити стійкість твердосплавних пластин у 3 – 10 разів [22]. Покриття за технологією ХОП є одними з найпоширеніших у промисловості.

Таким чином, методи хімічного осадження є досить ефективним засобом підвищення працездатності інструменту. Однак вони мають такі недоліки: висока температура протікання процесу (порядку 1000 ° С), що не дозволяє застосовувати дані методи для зміцнення інструментів зі швидкорізальної сталі, утворення вуглецю місткого шару на межі основного металу та покриття.

Методи фізичного осадження покриттів (ФОП). Процеси фізичного осадження покриттів (ФОП) зазвичай включають вакуумне випаровування тугоплавкого металу-утворювача з'єднання покриття, його часткову або повну іонізацію, подачу реакційного газу, хімічні та плазмохімічні реакції, конденсацію покриття на робочих поверхнях інструменту.

Серед методів ФОП найбільшого поширення нашої країні отримав метод конденсації покриттів із плазмової фази у вакуумі з іонним бомбардуванням поверхні інструменту. Розроблені та застосовуються також методи іонного плакування та іонізованого реактивного напилення («Спатерин»), магнетронно-іонного розпилення (метод МІР) та інші (іонне плакування, метод реактивного електронно-променевого плазмового осадження покриттів з пароплазмової фази у вакуумі, активованого реактивного напилення) [129].

Як покриття ФОП найбільш поширені TiN, TiCN і TiAlN, причому для зміцнення осьового інструменту (свердла, кінцеві фрези і т.п.) застосовують в основному покриття ФОП.

Завдяки застосуванню покриттів, одержуваних за технологією ФОП, досягається підвищення періоду стійкості різальних інструментів у 3 – 10 разів. Дані покриття є найбільш поширеними в інструментальному виробництві, оскільки використовуються як великими виробниками різальних інструментів, а також

інструментальних цехах машинобудівних заводів.

Метод катодно-іонного бомбардування (КІБ) заснований на генерації речовини катодною шляхою вакуумної дуги сильнопоточного низьковольтного розряду, що розвивається виключно в парах матеріалу електрода. Подача у вакуумний простір реагуючих газів (азоту, метану та ін.) в умовах іонного бомбардування призводить до конденсації покриття на поверхні завдяки протіканню плазмохімічних реакцій [118].

Всі процеси випаровування, утворення з'єднань, іонного бомбардування та конденсації покриттів відбуваються у вакуумній камері, металевий корпус якої є анодом. Катод виготовляють із тугоплавкого матеріалу, що підлягає випаровуванню. Особливість методу КІБ полягає у прискоренні іонів речовини шляхом створення негативного заряду (щодо корпусу камери) на ріжучому інструменті. Характерна особливість методу КІБ - це висока хімічна активність матеріалу, що випаровується, обумовлена утворенням конденсату при електродуговому випаровуванні матеріалу катода, за рахунок якого конденсат перетворюється на високо іонізований потік низькотемпературної плазми.

Магістронно-іонне розпилення (МІР) використовує як випарник пластину-мішень [117], яка підключена до негативного потенціалу як катод. Під впливом магнітного поля, створеного постійним магнітом, розташованим за катодом-мішенню, електрони здійснюють рух циклоїдальним траєкторіям у вузькій зоні над мішенню. При цьому ступінь розпилення та щільність іонного потоку збільшується на порядок, порівняно з простим розпиленням діодним.

Іонне плакування робочих поверхонь відбувається в результаті випаровування тугоплавкої речовини у вакуумний простір після його розплавлення електронно-променевою гарматою [35] та подачі реакційного газу у вакуумний простір. Недоліками методу є: низька міцність адгезійного зв'язку покриття та інструментальної основи; низька продуктивність методу; надзвичайно великі витрати на процес; експлуатація процесу плакування, що потребує застосування ЕОМ для управління [129].

Фінішне плазмове зміцнення (ФПЗ) полягає в нанесенні тонких кремнійвмісних покриттів (до 3 мкм) в плазмовому середовищі і одночасному

плазмовому поверхневому загартуванні. Основні переваги ФПЗ – можливість зміцнення як швидкорізальних, так і твердосплавних інструментів, а також штампів та деталей машин, що працюють в умовах зношування. При цьому досягається підвищення зносостійкості у 2 – 10 разів залежно від умов застосування [121].

Практична спрямованість методу ФПЗ дозволила розробити у лабораторії «Відновлення та зміцнення деталей машин» Ставропольського ОДАУ спосіб підвищення довговічності прецизійних деталей за рахунок формування на їх робочих поверхнях спеціального покриття на основі оксикарбиду кремнію [96].

Таким чином, з розглянутих методів нанесення тонкоплівкового зносостійкого покриття, стосовно сегментів ріжучого апарату, найбільш вигідним є використання фінішного плазмового зміцнення. Розмір нанесеного, даним способом, захисного шару не перевищує 3 мкм, що у свою чергу не вплине на величину гостроти кромки леза. Додатково до цього його досить висока зносостійкість забезпечить підвищення ресурсу леза.

Висновки розділ 1

Огляд та аналіз літературних джерел дозволив зробити такі висновки:

1. В даний час має місце тенденція скорочення загальної кількості сільськогосподарських машин та збільшення середнього навантаження па техніку більш ніж у 2 рази. Все це є причиною зниження її надійності та зростання простоїв з технічних причин.

2. У період польових робіт простої збиральних машин через технічну несправність становить 17,4... 19,8% від робочого часу. При цьому найбільша частка відмов пов'язана з виходом із ладу сегментів ріжучого апарату. В основному причиною цього є низькі експлуатаційні властивості самого сегмента.

3. Аналіз теоретичних та експериментальних досліджень щодо підвищення надійності різальних апаратів збиральних машин показав, що як вітчизняним, так і зарубіжним ученим не вдалося вирішити проблему раптових відмов, пов'язаних із попаданням у зону різання сторонніх предметів.

4. Роботи, присвячені питанням удосконалення конструкції різальних апаратів, в основному спрямовані на зниження зусилля різання, інерційних навантажень, підвищення технологічної швидкості різання та не враховують

проблему ресурсу леза сегмента.

5. Запропоновані багатьма авторами математичні залежності взаємодії леза з матеріалом, повною мірою враховують всі чинники, що впливають процес різання, і вимагають подальшого вдосконалення.

6. Аналіз теоретичних та експериментальних досліджень щодо підвищення надійності різальних апаратів збиральних машин показав, що як втчизняним, так і зарубіжним ученим не вдалося вирішити проблему раптових відмов, пов'язаних із попаданням у зону різання сторонніх предметів..

Робоча гіпотеза полягає в тому, що підвищити надійність ріжучого апарату збиральних машин у рядових умовах експлуатації і при виникненні раптових відмов можливо за рахунок нанесення тонкоплівкового покриття на лезо сегмента, без істотної зміни його геометричних параметрів, та виконанням прорізків, що забезпечують як зниження маси сегмента, так і його руйнування без пластичної деформації при попаданні у зону різання сторонніх предметів.

Мета та завдання дослідження

На підставі проведеного аналізу сформувано таку **мету дослідження**: підвищення надійності ріжучого апарату збиральних машин, формуванням покращених конструктивно експлуатаційних параметрів сегментів.

Виходячи з аналізу літературних джерел, і відповідно до поставленої мети сформульовані такі завдання дослідження:

- розробити математичні залежності контактної взаємодії робочих поверхонь леза сегмента зі стеблом рослини для визначення основних факторів, що впливають на його ресурс та працездатність ріжучих апаратів збиральних машин;

- розробити теоретичні моделі підвищення надійності різального апарату при поступовому зносі сегментів та при виникненні раптових відмов;

- дослідити параметри форми та властивості робочих поверхонь сегментів ріжучих апаратів збиральних машин;

- експериментально встановити швидкість зношування леза сегментів, час та матеріальні витрати на відновлення працездатності ріжучого апарату при усуненні наслідків раптової відмови;

- провести порівняльні випробування модернізованих сегментів ріжучого

апарату та виконати техніко-економічну оцінку ефективності запропонованих рішень.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПІДВИЩЕННЯ

НАДІЙНОСТІ СЕГМЕНТНО-ПАЛЬЦЕВОГО РІЗУЧОГО АПАРАТУ

2.1 Аналіз роботи сегментно-пальцевого різучого апарату

Сегментно-пальцевий різальний апарат призначений для зрізання стебел рослин і входить до складу різних збиральних машин, таких як косарки, самохідні та причіпні комбайни. Відповідно до методик підвищення ефективності технологічних процесів, яку запропонував професор О.Т. Лебедев [80], його можна представити у вигляді складної технічної системи, що складається з з'єднань та деталей, які у свою чергу складаються із робочих поверхонь (рисунок 2.1).

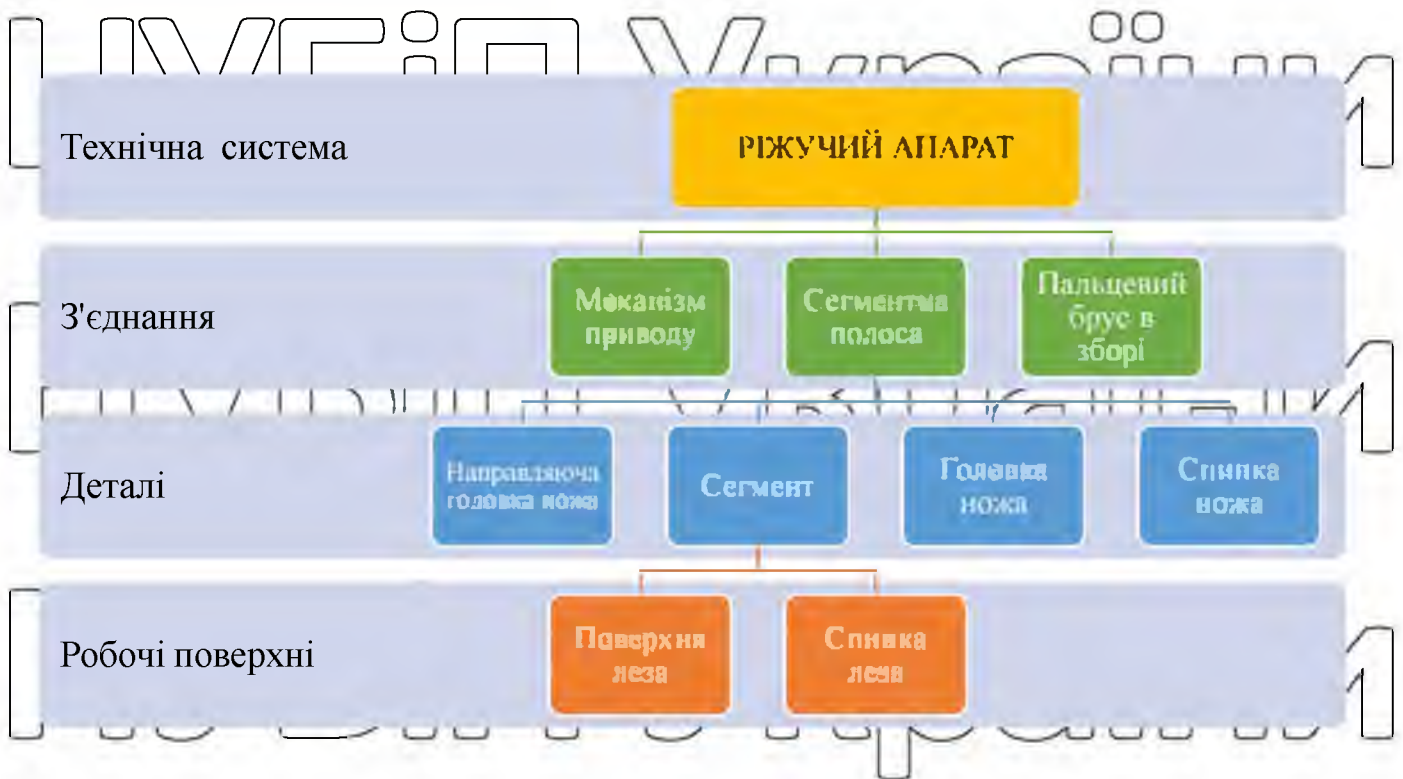


Рисунок 2.1 – Ієрархічна схема сегментно-пальцевого різучого апарату

Нижчими елементами ієрархічної системи є робочі поверхні леза та спинка сегмента. Перша поверхня за рахунок своїх фізико-механічних та геометричних властивостей, вступаючи в контакт зі стеблом рослини, створює умови для його зрізу та визначає ресурс леза. Друга забезпечує міцність сегмента та компенсацію ударних навантажень, що виникають під час роботи різучого апарату. Це і є цільове призначення робочих поверхонь сегмента різучого апарату.

Відповідно до класифікації технологічних процесів різання належить до ключового процесу поділу, яке функціональним призначенням є відділення

частини чи розподіл на частини вихідного матеріалу [79]. Лезо сегмента має насічку клиноподібною форми з округлою вершиною, яка є напівголкою. Кожен зуб насічки, проколюючи шар матеріалу, проникає в стебло і розщеплює його, розрізаючи волокна бічними гранями. Процес різання таким лезом відбувається за малої деформації матеріалу [16, 70]. Це зумовлено тим, що на вістрі голки створюються кращі умови для утворення руйнівної контактної напруги, зважаючи на малу площу контакту з поверхнею стебла, що розрізається. У міру зношування такого леза змінюється не тільки гострота, але і параметри насічки, такі як радіус закруглення вершини зуба та його висота.



Рисунок 2.2 - Схема контакту леза зі стеблом:

а) гостре лезо; б) зношене лезо;

Внаслідок збільшення площі контакту леза з матеріалом величина напруги, створюваної на кромці леза, стає недостатньою для руйнування стебла рослини і відбувається затягування рослинної маси в зазор між сегментом і протирізом, а також збільшуються енерговитрати на виконання технологічного процесу різання. Тому відновлення працездатності ріжучого апарату необхідно замінити зношений сегмент.

Іншим фактором, що впливає на якість виконання технологічного процесу різання, є поломка сегмента внаслідок раптової відмови через попадання до зони різання сторонніх предметів. На відміну від відмови в результаті зносу він супроводжується значними витратами часу на усунення наслідків.

Таким чином, зношування та поломку сегмента можна розглядати як основні

причини відмови даної технічної системи при виконанні свого цільового призначення.

Для встановлення основних факторів, що впливають на оптимальну роботу сегмента ріжучого апарату, та підвищення ефективності технологічного процесу поділу, розглянемо докладніше його роботу.

2.1.1 Силова взаємодія леза сегмента зі стеблом рослини

Для руйнування стебла рослини необхідно витратити певну кількість енергії A , яка витрачається на руйнування його під кромкою леза A_{piz} і подолання сил опору A_{on} , викликані деформацією рослини [3, 4]:

$$A = A_{piz} + A_{on}, \quad (2.1)$$

Перший доданок цього виразу характеризується властивостями міцності матеріалу, які оцінюються таким показником як межа міцності σ_{sp} . Межа міцності не залежить від способу впливу на оброблюваний матеріал та параметрів ріжучого інструменту та визначається властивостями самого матеріалу:

$$A_{piz} = f(\sigma_{sp}). \quad (2.2)$$

Другий доданок враховує властивості рослинного матеріалу, параметри різального інструменту та режими роботи:

$$A_{on} = f(\delta, \beta, h_{cm}, h_{up}, l, \mu, E, \tau, v_n, k, s_{vid}, b), \quad (2.3)$$

де δ - гострота кромки леза, м;

β - кут заточування леза, град;

h_{cm} - стиснення матеріалу, що передує руйнуванню, м;

h_{up} - товщина шару, що розрізається, м;

l - довжина леза, що вступила в контакт з матеріалом, м;

μ - коефіцієнт Пуассона;

E - модуль пружності матеріалу, МПа;

b - відстань від верхньої частини пальця до леза сегмента, м;

k - зазор між сегментом та протиріжучою пластиною, м;

v_n - швидкість сегмента, м/с;

s_{vid} - величина відгину стебла, м;

τ - час удару ріжучого інструменту об стебло, с.

Таким чином реалізація процесу різання можлива за умови, що зусилля P , прикладене до леза, сприятиме виникненню на його кромці руйнівної контактної напруги σ , перевищує межу міцності матеріалу $\sigma > \sigma_{кр}$, а саме руйнування відбувалося з мінімальною деформацією матеріалу $(s_{від}, h_{ст}) \rightarrow \min$.

Відповідно до досліджень [5], для перерізання сегментом ріжучого апарату стебла рослини необхідно, щоб він подолав силу опору входження ножа в матеріал $P_{кр}$, силу опору стебла відгину $P_{від}$ і силу інерції стебла $P_{сін}$.

$$P = P_{кр} + P_{від} + P_{сін} \quad (2.4)$$

Під час різання стебло рослини спирається на дві опори, верхню частину пальця (опора I) та протиріжучу пластину (опора II), тому його можна представити як балку, що вільно лежить на двох опорах (рисунок 2.3).

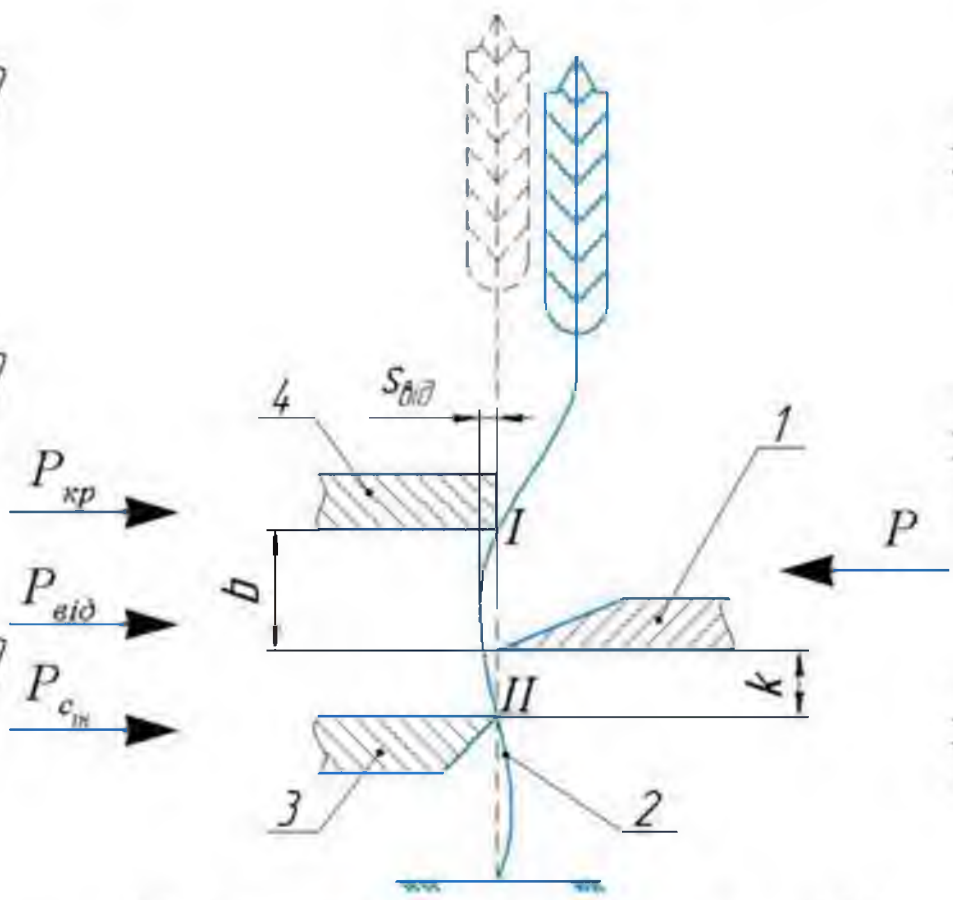


Рисунок 2.3 - Схема різання стебла:

I – сегмент; 2 – стебло; 3 – протиріжуча пластинка; 4 – верхня частина пальця

Тоді сила опору вигину стебла визначиться за такою формулою:

$$P_{\text{вгд}} = \frac{3s_{\text{вгд}} EJ}{bk^2 \left(1 - \frac{k}{b}\right)^2}, \quad (2.5)$$

де $s_{\text{вгд}}$ - величина відгину стебла, м;

E - модуль пружності стебла, МПа;

J - полярний момент інерції поперечного стебла, м⁴;

b - відстань від верхньої частини пальця до лека сегмента, м;

k - зазор між сегментом та протирижучою пластиною, м.

Момент інерції стебла [5] визначається виразом:

$$P_{\text{сн}} = \frac{17m_{\text{I-II}} v_{\text{H}}^2}{35\tau}, \quad (2.6)$$

де $m_{\text{I-II}}$ - маса стебла ділянки I-II, кг;

v_{H} - швидкість сегмента, м/с;

τ - час удару ріжучого інструменту об стебло, с.

Відповідно до досліджень [3], при поглибленні однофаскового лека в шар

матеріалу на нього діють сили (рисунки 2.4 і 2.5): $P_{\text{рїз}}$ - опір руйнуванню під

кромкою лека, спрямоване протилежно до руху ножа; $P_{\text{обт}}$ - сили обтиснення

матеріалу лека, що мають вертикальний напрямок та діють на межі лека; $P_{\text{оп}}$ -

сила опору матеріалу стиснення фаскою лека, спрямована також протилежно руху

ножа:

$$P_{\text{кр}} = P_{\text{рїз}} + (P_{\text{обт}} + P_{\text{оп}}), \quad (2.7)$$

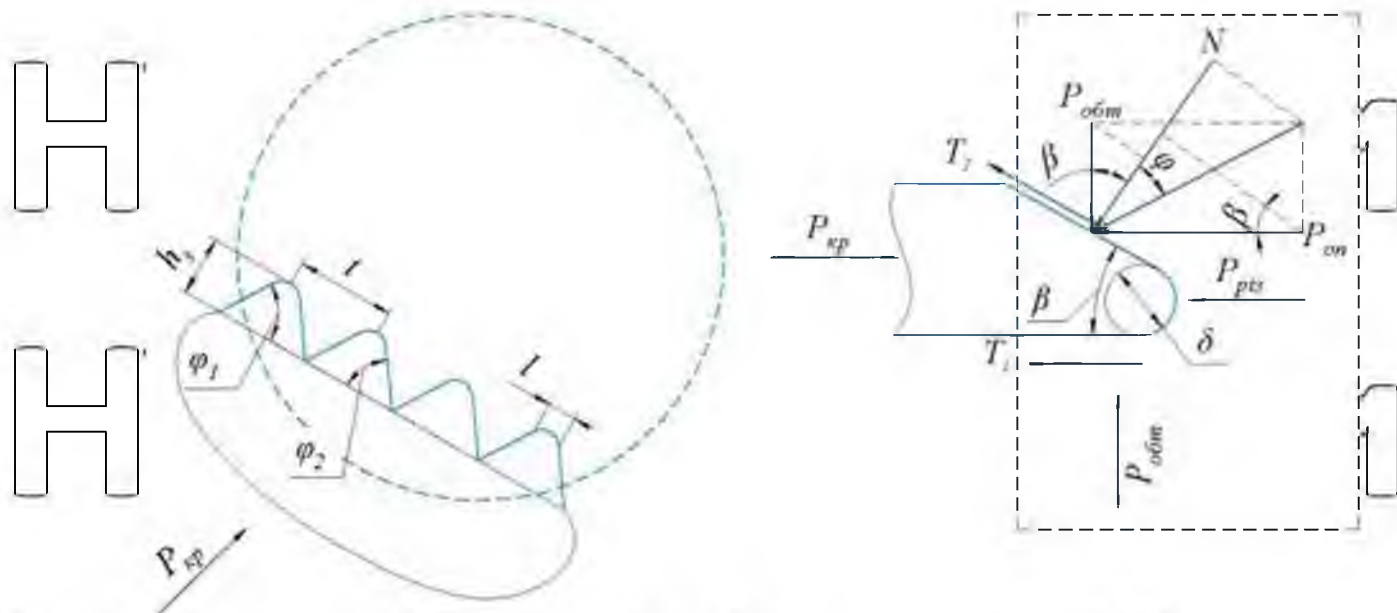


Рисунок 2.4 – Силова взаємодія леза зі стеблом рослини: а) сили, що діють на лезо; б) сили, що діють на фаску леза

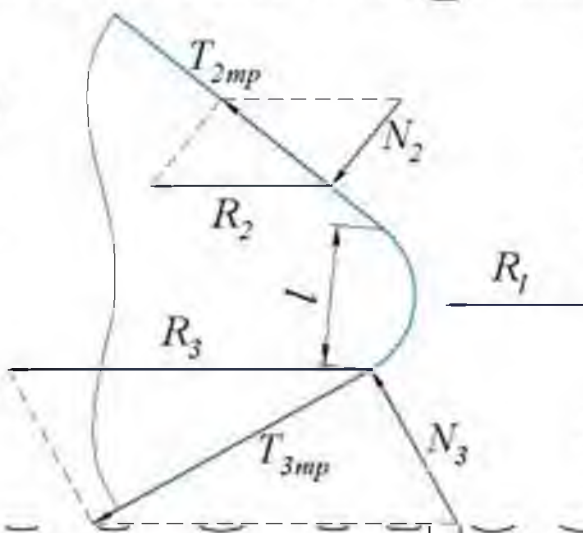


Рисунок 2.5 - Сили, що діють на зуб насічки леза сегмента.

У перетвореному вигляді формула (7) має вигляд:

$$P_{cp} \cong l \delta \sigma_p + \frac{E}{2} \cdot \frac{h_{cm}^2}{h_{up}} [tg^2 \beta + f \sin^2 \beta + \mu (f + \cos^2 \beta)] \quad (2.8)$$

де δ - гострота кромки леза, м.

σ_p - руйнівна контактна напруга, H/m^2

l - довжина леза, що вступає в контакт з матеріалом, м.

E - модуль пружності матеріалу, МПа;

h_{cm} - стиснення матеріалу, що передує руйнуванню, м;

$h_{ур}$ - товщина шару матеріалу, що перерізається, м;

μ - коефіцієнт Пуассона;

f - коефіцієнт тертя перерізаних волокон стебла об кромки клина;

β - кут заточування леза, град.

Перша частина виразів (2.7 і 2.8) відбиває процеси, що відбуваються на кромці леза, а друга з його фаску. З урахуванням того, що лезо сегмента має

насічку, величина сили $P_{риз}$ залежатиме від її геометричних параметрів і числа

зубів, що вступають в контакт зі стеблом, останнє визначається діаметром стебла,

що зрізається, d_{cm} і кроком насічки t_H . Тоді формула (2.7) набуде вигляду:

$$P_{кр} = \frac{d_{cm}}{t_H} \left(P_{риз} + \frac{E}{2} \cdot \frac{h_{cm}^2 l}{h_{ур}} \left[\operatorname{tg} \beta + f \sin^2 \beta + \mu (f + \cos^2 \beta) \right] \right). \quad (2.9)$$

де d_{cm} - діаметр стебел, що зрізаються, м;

t_H - крок зубів насічки леза сегмента, м;

$P_{риз}$ - опір руйнуванню стебла під кромкою леза, Н;

E - модуль пружності матеріалу, МПа;

h_{cm} - стиснення матеріалу, що передує руйнуванню, м;

$h_{ур}$ - товщина шару матеріалу, що перерізається, м;

μ - коефіцієнт Пуассона;

f - коефіцієнт тертя перерізаних волокон стебла об кромки клина;

β - кут заточування леза, град.

Для розрахунку сили, що діє з боку стебла рослини, що перерізається, на зуб насічки $P_{риз}$, припустимо, що питомий тиск рослинної маси розподілено рівномірно по поверхні перерізу зуба.

Під дією нормальних сил N_2 та N_3 на бічних гранях зуба виникають сили тертя

T_{2mp}, T_{3mp} .

Сили R_2 і R_3 відповідно є рівнодіючими сил N_2, N_3 і T_{2mp}, T_{3mp} .

$$R_2 = T_{2mp} + N_2, \quad (2.10)$$

$$R_3 = T_{3mp} + N_3. \quad (2.11)$$

Тоді

$$P_{риз} = R_1 + R_2 + R_3, \quad (2.12)$$

де R_1 - сила, що діє на вершину зуба, H .

Силу R_1 можна уявити як добуток площі контакту зуба зі стеблом F_k на

руйнівну контактну напругу σ_p .

$$R_1 = \sigma_p F_k = \sigma_p \delta l, \quad (2.13)$$

де δ - гострота кромки леза, м;

l - Довжина вершини зуба, м.

Розмір нормальних сил N_2 і N_3 визначається за рівняннями:

$$N_2 = \sigma_p \delta \frac{h_3}{\sin \varphi_1}, \quad (2.14)$$

$$N_3 = \sigma_p \delta \frac{h_3}{\sin \varphi_2}, \quad (2.15)$$

де φ_1 і φ_2 - кути нахилу бічних граней зуба, град.

h_3 - висота зуба насічки, м.

Дотичні сили тертя можна знайти за формулами:

$$T_{2mp} = f N_2, \quad (2.16)$$

$$T_{3mp} = f N_3, \quad (2.17)$$

де f - коефіцієнт тертя між зубом насічки і стеблом рослини.

Загальна сила різання $P_{риз}$ волокон стебла зубом насічки:

$$P_{\text{рп}} = \sigma_p \delta l + \sigma_p \delta \frac{h_3}{\sin \varphi_1} + \sigma_p \delta \frac{h_3}{\sin \varphi_2} + f \sigma_p \delta \frac{h_3}{\sin \varphi_1} + f \sigma_p \delta \frac{h_3}{\sin \varphi_2} =$$

$$= \sigma_p \delta \left[l + h_3 (1+f) \left(\frac{1}{\sin \varphi_1} + \frac{1}{\sin \varphi_2} \right) \right] \quad (2.18)$$

Підставляючи значення всіх сил, що протидіють $P_{\text{кр}}$, отримаємо:

$$P_{\text{кр}} = \frac{d_{\text{cm}}}{t_H} \sigma_p \delta \left[l + h_3 (1+f) \left(\frac{1}{\sin \varphi_1} + \frac{1}{\sin \varphi_2} \right) \right] + \frac{E}{2d_{\text{cm}}} h_{\text{cm}}^2 l \text{tg} \beta +$$

$$+ f \frac{\mu E}{2d_{\text{cm}}} h_{\text{cm}}^2 l + f \left(\frac{E}{4d_{\text{cm}}} h_{\text{cm}}^2 l \text{tg} \beta \sin 2\beta + \frac{\mu E}{2d_{\text{cm}}} h_{\text{cm}}^2 l \cos^2 \beta \right). \quad (2.19)$$

Перетворюючи отриманий вираз, отримаємо:

$$P_{\text{кр}} = \frac{d_{\text{cm}}}{t_H} \sigma_p \delta \left[l + h_3 (1+f) \left(\frac{1}{\sin \varphi_1} + \frac{1}{\sin \varphi_2} \right) \right] \left(\frac{E h_{\text{cm}}^2 l}{2d_{\text{cm}}} \right). \quad (2.20)$$

$$\left[\frac{E h_{\text{cm}}^2 l}{2d_{\text{cm}}} \left[\text{tg} \beta + f \sin^2 \beta + \mu (f + \cos^2 \beta) \right] + \frac{3s_{\text{eio}} E J}{b k^2 (1 - \frac{k}{b})^2} + \frac{17 m_{\text{II}} V_H}{35 \pi} \right].$$

де d_{cm} - діаметр стебел, що зрізаються, м;

t_H - крок зубів насічки леза сегмента, м;

σ_p - руйнівна контактна напружка, Н/м²;

δ - гострота кромки леза, м;

l - довжина вершини зуба, м;

h_3 - висота зуба насічки, м;

f - коефіцієнт тертя перерізаних волокон стебла про межу клина;

φ_1, φ_2 - кути нахилу бічних граней зуба, град.

E - модуль пружності матеріалу, МПа;

h_{cm} - стиснення матеріалу, що передус руйнуванню, м;

β - кут заточування леза, град.

μ - коефіцієнт Пуассона;

$S_{від}$ - величина відгину стебла, м;

J - полярний момент інерції поперечного стебла, м⁴;

b - відстань від верхньої частини пальця до леза сегмента, м;

k - зазор між сегментом та протиріжучою пластиною, м;

m_{I-II} - маса стебла на ділянці I-II, кг;

v_H - швидкість сегмента, м/с;

τ - час удару ріжучого інструменту об стебло, с.

Даний вираз відображає та визначає основні параметри, що впливають на процес руйнування стебла при розрізанні його сегментом ріжучого апарату:

конструктивні - $\beta, \delta, t_H, l, h_3, \varphi_1, \varphi_2$; фізико-механічні - E, μ, f, σ_p та деякі режимні - $d_{cm}, h_{cm}, \tau, v_H, k, b$.

Перший доданок вирази (2.20) визначає явища, що призводять безпосередньо до руйнування та розщеплення матеріалу під дією зубів насічки і можуть характеризуватись як корисні. Друге визначає явища, пов'язані з деформацією рослинного матеріалу у напрямку переміщення леза, які негативно впливають на показники надійності технологічного процесу різання, такі як енергоємність та чистота зрізу.

2.1.2 Потужність, що витрачається на процес різання в сегментно-пальцевому ріжучому апараті

Процес різання в сегментно-пальцевому ріжучому апараті поділений на дві фази. Відгин стебла сегментом до моменту виникнення протиріжучого підпору і безпосередньо зрізу. При цьому ніж, щодо стебла, здійснює двоякий рух: поступальний, разом з збиральною машиною і коливальний, що отримується від механізму приводу. Залежно від конструкції косарок і жниварок таким механізмом може служити планетарний механізм, вилка, що коливається, механізм шайби, що коливається, і ін. Коливальний рух, що передається приводом, породжує інерційні сили, які знижують надійність ріжучого апарату і збільшують енерговитрати на переміщення ножа [39].

Потужність, що споживається різальним апаратом N_n визначається за формулою [64]:

$$N_n = P_n \cdot v_n \quad (2.21)$$

де P_n – сила на переміщення ножа, H ;

v_n - швидкість руху ножа, м/с.

Сила на переміщення ножа та його швидкість не є постійними величинами та залежать від конструктивних особливостей різального апарату та його приводу. На жниварках комбайнів, як привод різального апарату, найбільшого поширення набув механізм шайби, що хитається, кривошипно-повзунний і планетарний механізми [39].

Розглянемо процес роботи різального апарату (рисунк 2.6).

Швидкість ножа в процесі різання не постійна і змінюється залежно від положення. Мінімальне її значення відповідає початку та закінченню різання, а максимальне середньому положенню шатуна.

Сила на переміщення ножа P_n складається з трьох складових: сили витрачається на перерізанні стебел - P ; сили на подолання сил інерції - P_{in} та зусилля необхідного на подолання тертя - F .

$$P_n = P + P_{in} + F. \quad (2.22)$$

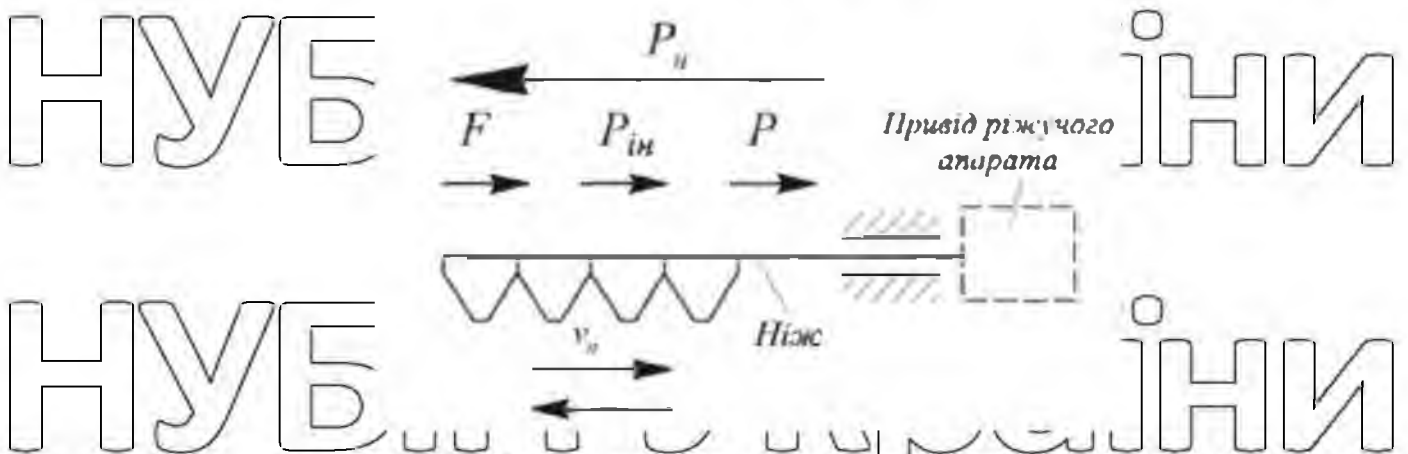


Рисунок 2.6 - Схема сил, що діють на ніж різального апарату

Сила інерції P_{in} визначається масою m_n ножа та його прискоренням j .

$$P_{in} = m_n \cdot j$$

Маса ножа залежить від маси ножової смуги m_n маси сегмента m_c та їх кількості n_c у різальному апараті:

$$m_n = n_c m_c + m_n. \quad (2.23)$$

Тоді

$$P_{in} = j \cdot (n_c m_c + m_n). \quad (2.24)$$

Сила тертя F складається із сили тертя F' від сили тяжіння ножа та сили тертя

F'' від дії шатуна:

$$F = F' + F'' \quad (2.25)$$

Сила тертя від сили тяжіння ножа:

$$F' = \psi \cdot G_n = \psi \cdot (n \cdot m_c + m_n) \cdot g \quad (2.26)$$

де G_n - сила тяжкості ножа, Н;

ψ - коефіцієнт тертя.

Сила тертя від дії шатуна визначиться виразом:

$$F'' = \psi \frac{(P + P_{in} + \psi \cdot G_n) \cdot \operatorname{tg} \alpha}{1 - \psi \cdot \operatorname{tg} \alpha}. \quad (2.27)$$

Результуюча сила опору руху ножа:

$$P_n = \frac{P + j(m_c n_c + m_n) + (m_c n_c + m_n) g \psi + \psi [P + (m_c n_c + m_n) g \psi + j(m_c n_c + m_n)] \cdot \operatorname{tg} \alpha}{1 - \psi \operatorname{tg} \alpha}. \quad (2.28)$$

Перетворюючи отриманий вираз (2.28), отримаємо

$$P_n = [P + (m_c n_c + m_n)(g \psi + j)] \cdot \left(1 + \frac{\psi \operatorname{tg} \alpha}{1 - \psi \operatorname{tg} \alpha}\right) \quad (2.29)$$

Для спрощення виразу (2.29) введемо коефіцієнт k_ψ до аргументу $\frac{\psi \operatorname{tg} \alpha}{1 - \psi \operatorname{tg} \alpha}$

, який враховує сили тертя ножа про пальцевий брус і залежить від кута повороту шатуна α та коефіцієнта тертя ψ . Таким чином, підставивши вираз (2.29) у формулу (2.21), отримаємо:

$$N_n = [(P + (m_c n_c + m_n)(g \psi + j)) \cdot (1 + k_\psi)] \cdot v_n \quad (2.30)$$

З формули (2.30) випливає, що в основному потужність приводу ріжучого апарату витрачається на подолання сил опору різання з боку стебла, інерції та тертя елементів ножа на пальцевий брус. При цьому величина останніх значною мірою

визначається масою сегментів та їх кількістю. Тому для зниження енерговитрат на переміщення ножа необхідно, щоб робоча поверхня леза сегмента якомога довше залишалася у працездатному стані, а його маса була мінімально допустимою, виходячи з вимог міцності.

2.2 Теоретична модель формування відмови сегментно-пальцевого ріжучого апарату

Для повнішого аналізу надійності сегментно-пальцевого ріжучого апарату необхідно побудувати модель формування відмов, що відбиває процеси, що змінюють вихідні параметри.

Як зазначалося вище, ріжучий апарат є складною технічною системою, яке нижчими елементами, визначальними його надійність, є робочі поверхні. Кількість сегментів, встановлених на ножовій смужці, залежить від типу ланцюгової частини машини, при цьому вихід із працездатного стану одного з них призводить до відмови всієї системи. Таким чином, функціональний взаємозв'язок між елементами ріжучого апарату має послідовну схему з'єднання (рисунк 2.6), а ймовірність його безвідмовної роботи за період часу t визначається як добуток ймовірностей безвідмовної роботи сегментів P_i [1]:

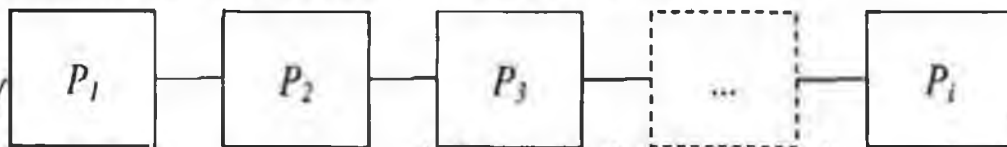


Рисунок 2.7 Структурна схема надійності сегментно-пальцевого ріжучого апарату

$$P(t) = \prod_{i=1}^{n_c} P_i \quad (2-31)$$

де n_c - число сегментів.

У процесі експлуатації ріжучого апарату робочі поверхні сегментів можуть перебувати у двох станах - працездатному та непрацездатному.

Працездатність - це стан, у якому виріб може виконувати задані функції з параметрами, встановленими вимогами технічної документації. Під параметрами розуміють конкретні значення експлуатаційних показників (різальна здатність), встановлені, наприклад, інструкцією з експлуатації цього виробу.

Відмова - подія, що полягає у порушенні працездатності. Для кожного елемента встановлені свої критерії переходу з працездатного стану до непрацездатного. Відмова є наслідком досягнення деталлю граничного стану, тобто. стану, у якому вона може виконувати свої функції.

Розглянемо загальну схему формування відмови об'єкта, коли перебіг різних процесів ушкодження призводить до зміни часу вихідного параметра δ (рисунок 2.8). Відмова виникає при досягненні параметром допустимого значення δ_{max} . На схемі показано основні етапи формування закону розподілу $f(t)$. Спочатку має місце розсіювання параметра об'єкта $f(\delta_0)$ щодо свого математичного очікування δ_0 , що з розсіюванням показників нового об'єкта. Потім на погіршення параметрів об'єкта в процесі експлуатації позначаються процеси зносу, що повільно протікають. У загальному випадку процес зміни параметра може розпочатися за деякий випадковий проміжок часу T_0 , який також пов'язаний із накопиченням ушкоджень чи дією зовнішніх причин.

Процес зміни параметра δ зі швидкістю $\gamma_\delta = d\delta/dt$ також випадковий і залежить від зміни пошкоджень окремих елементів системи. В результаті всіх цих явищ відбувається формування закону розподілу $f(\delta, t)$, який визначає ймовірність виходу параметра δ за кордон δ_{max} , тобто ймовірність відмови:

$$Q(t) = 1 - P(t). \quad (2.32)$$

Ця схема у вигляді описує процес виникнення відмови. При окремих значеннях вхідних параметрів вона відображає ті чи інші випадки, характерні для певних умов роботи і конструктивних особливостей об'єкта. Якщо процес зміни параметра починається в точці $T_0 = 0$, отримуємо типову схему виникнення поступового параметричного відмови. Якщо процесі формування відмови основну роль грає виникнення (зародження) процесу, тобто, функція $f(T_0)$, а потім процес виникає з більшою інтенсивністю $\delta(t) \rightarrow \infty$, то отримаємо модель раптової відмови.

різального апарату визначається величиною гостроти кромки леза, яка впливає на здатність виконання ним свого функціонального призначення. Втрата працездатності сегмента спостерігається при досягненні граничного зносу $\delta_{zp} = 0,1 \text{ мм}$ [105, 64]. Розглянемо процес зносу відмови леза докладно.

Дослідженнями доведено [65], що рослинні матеріали у своїй тканині містять кристали кремнезему, а на поверхні та частинки кварцу, що надають абразивний вплив на матеріал леза. Чим більше таких частинок у стеблі, тим більше проходить по поверхнях леза в одиницю часу. При цьому в зоні контакту абразиву з робочою поверхнею леза відбувається руйнування поверхневого шару шляхом зрізу або відриву. В результаті відбувається зменшення ширини передньої поверхні та затуплення ріжучої кромки (рисунк 2.9).

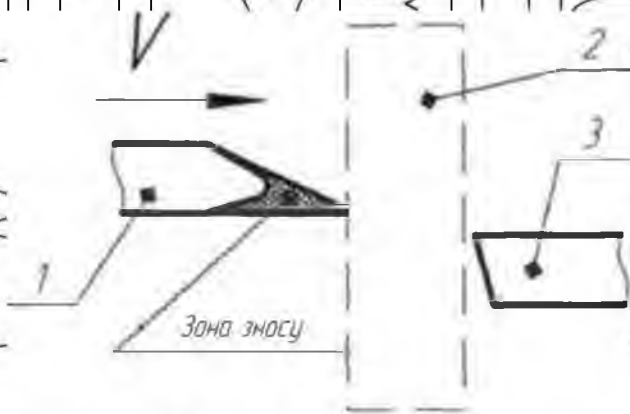


Рисунок 2.9 – Схема зносу сегмента:

1 – сегмент, 2 – стебло, 3 – протигрижуча частина пальця

Для визначення інтенсивності перебігу процесу зносу розглянемо варіант, що він лінійно залежить від напрацювання (рисунк 2.10) [1].

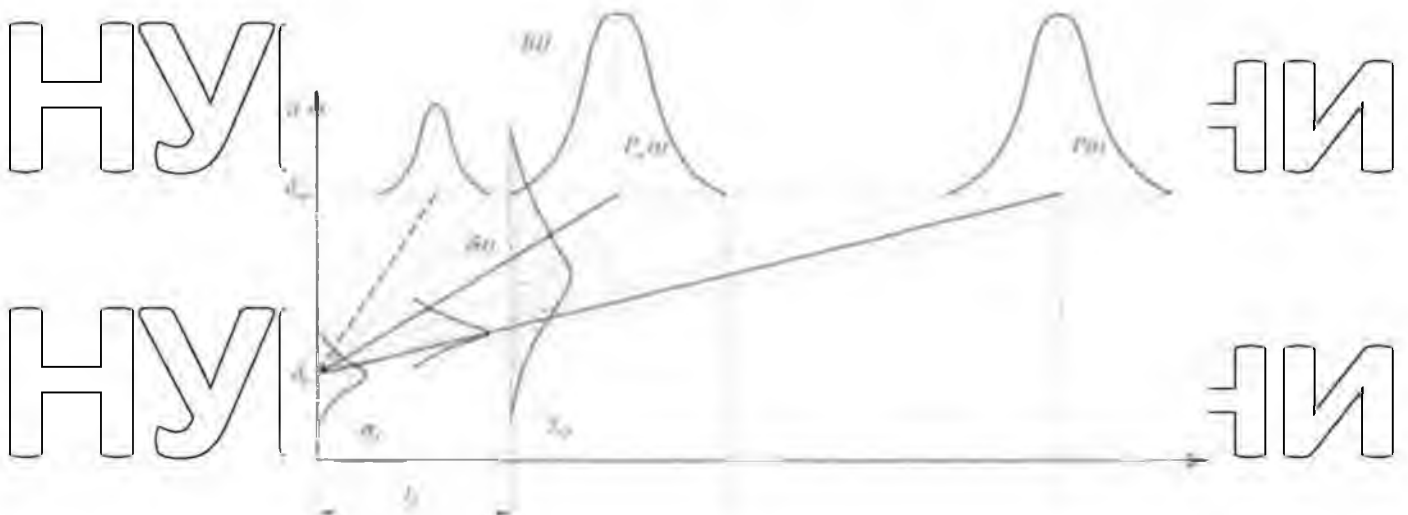


Рисунок 2.10 - Модель формування ресурсу сегмента ріжучого апарату

У цьому випадку зношування характеризується прямими, кожна з яких має певну ймовірність реалізації $\delta(t)$. Функція $f(t)$ - густина розподілу ступеня зносу $\delta(t)$.

Значення $t \dots t_i$ - час роботи сегмента до граничного значення гостроти ріжучої кромки. Точки перетину функцією $\delta(t)$ з граничним значенням ступеня зносу δ_{gp}

відповідають моменту відмови. Для поступової відмови характерна монотонно зростаюча інтенсивність, для раптового, швидкий вихід значення основного параметра об'єкта за межі допусків незалежно від моменту наступу та часу спільної

роботи. Тоді закономірність зміни гостроти при поступовому зносі визначиться за формулою [1]:

$$\delta_{gp} = \delta_0 + \gamma \cdot t \quad (2.33)$$

З рівняння видно, що фактором, що визначає технічний стан сегмента, є швидкість зношування γ .

$$\gamma = \frac{\delta_{gp} - \delta_0}{t} \quad (2.34)$$

Звідки випливає, що з зниження швидкості зносу необхідно забезпечити ресурс сегмента рівний часу T :

$$\gamma = \frac{\delta_{gp} - \delta_0}{T} \quad (2.35)$$

Домогтися вирішення цього завдання, можливо шляхом зміни властивостей робочої поверхні леза нанесенням спеціальних зносостійких покриттів.

Висновки по розділу 2

1. Аналіз процесу роботи з позиції розгляду ріжучого апарату як складної технічної системи, нижчими елементами якої в його ієрархічній схемі є робочі поверхні, дозволив визначити їхнє цільове призначення з точки зору надійності технологічного процесу різання.

2. Отримано теоретичну модель (рисунок 2.10, формула 2.33) формування параметричної відмови в результаті зносу робочих поверхонь леза сегмента, що контактують з матеріалом стебел рослин, та встановлено залежності швидкості його зношування.

3. На підставі отриманої залежності витрат на відновлення працездатності

ріжучого апарату при раптових відмови встановлено, що одним з основних резервів зниження загальних витрат є зменшення наслідків самої відмови. Необхідно, щоб при попаданні сторонніх предметів в зону різання сегмент руйнувався і не зачіпав деталі ріжучого апарату, що стояли поруч.

4. Розроблено теоретичну модель підвищення ресурсу робочих поверхні леза сегмента ріжучого апарату шляхом формування на них зносостійкого покриття.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ

ДОСЛІДЖЕНЬ

Відповідно до завдань, а також для досягнення поставленої мети, нами була прийнята наступна програма досліджень:

- дослідити фізико-механічні та геометричні властивості сегментів ріжучого апарату;
- застосувати методіку проведення експерименту;
- розробити методіку проведення стендових випробувань сегментів ріжучого апарату на зносостійкість, раптову відмову;
- визначити вплив маси сегмента на зусилля переміщення ножа;
- провести експлуатаційні випробування сегменту ріжучого апарату.

Програма досліджень представлена рисунку 3.1.

ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження фізико-механічних і геометричних властивостей сегментів ріжучого апарату

Методика нанесення зносостійкого покриття на робочу поверхню леза сегмента

Методика проведення досліджень сегментів ріжучого апарату на раптову відмову

Методика проведення експерименту

Методика визначення зусилля переміщення сегментної полоси

Методика дослідження зносостійкості сегментів ріжучого апарату

Проведення досліджень сегментів ріжучого апарату

Методика обробки даних

Рисунок 3.1 – Програма проведення експериментальних досліджень

3.1 Устаткування для металографічних досліджень

Металографічні дослідження включають ряд операцій, в результат яких отримують дані по якісному і кількісному складу матеріалу досліджуваного зразка [10, 60]. Металографічний аналіз складається з наступних етапів: пробо відбір,

пробо підготовка та безпосередньо металографічний аналіз.

Для проведення досліджень були відібрані наступні зразки сегментів різального апарату: Сімферопольського заводу (H066.14) – зразок I, Кемеровського механічного заводу (H066.14) – зразок II, Claas – зразок III, New Holland – зразок IV, Jon Deer – зразок V та Pro-Cut - зразок VI. Товщина всіх сегментів, що

розглядаються, становила $s = 5$ мм. Для порівняльних випробувань, як контрольні сегменти, обрані зразки II

Пробо підготовка зразків здійснювалася за допомогою спеціального обладнання, що включає відрізний верстат Brilliant 201, прес для запресування зразків в шліфи METAPRESS-M, шліфувально-полірувальний верстат FORCIMAT-1M (рисунк 3.2).



а)



б)



в)

Рисунк 3.2 – Загальний вид обладнання для пробо підготовки.

а) абразивно-відрізний верстат Brilliant 201; б) прес для запресування зразків у шліфи METAPRESS-M; в) шліфувально-полірувальний верстат FORCIMAT-1M

Досліджувані зразки сегментів розрізалися на абразивно-відрізному верстаті Brilliant 201, який оснащений водяним охолодженням, що дозволяє одержувати поверхню без значних структурних змін. Потім за допомогою преса METAPRESS-M із вирізаних фрагментів створювалися прес-форми діаметром $\varnothing 40$ мм. Отримані шліфи очищалися від поверхневих забруднень, відшліфовувалися та відполірувалися на верстаті FORCIMAT-1M. Підготовлена таким чином поверхня піддавалася знежиренню спиртом, з подальшим хімічним травленням. Як реактив для виявлення структури використовувався розчин «Ніталь» (азотна кислота - 5 мл,

етиловий спирт - 100 мл). Після цього поверхні шліфу промивалася в спирті і просувалася фільтрувальним папером. Якщо характерний мікрорельєф зразка не виявлявся, то поверхня шліфу піддавалася додатковому травленню.

3.1.1 Дослідження геометричних параметрів сегментів різального апарату

Сегмент різального апарату має насичене лезо. Кожен елемент насічки є зубом, для якого основними параметрами є кут заточування β , гострота кромки δ , кут нахилу грані зуба насічки φ , крок t , висота h і радіус закруглення вершини зуба ρ (рисунок 3.3).

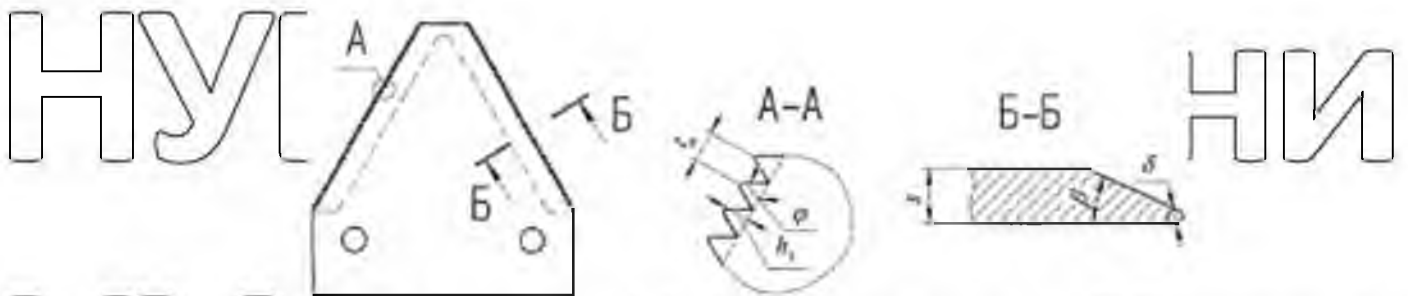
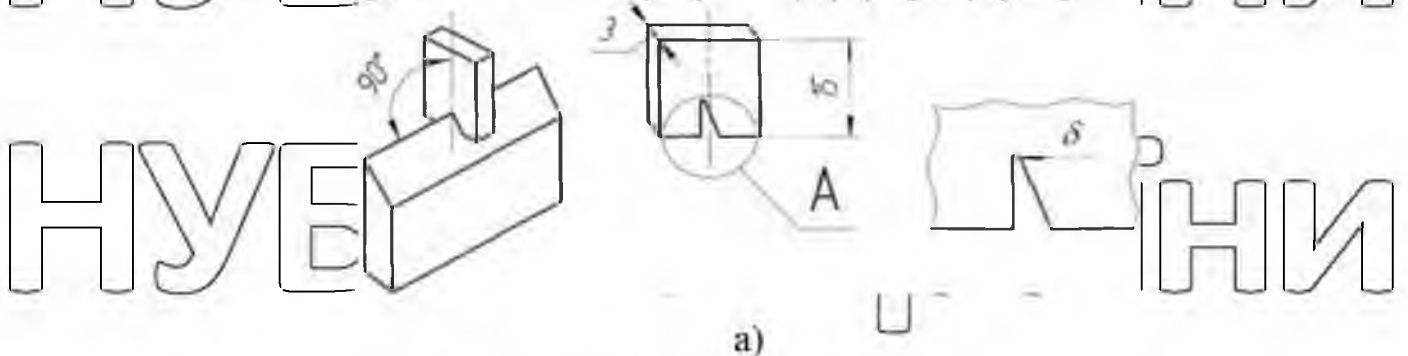


Рисунок 3.3 - Геометричні параметри леза сегмента.

Вимірювання кута заточування та гостроти кромки леза проводилися методом зняття відбитків [14]. Сутність даного методу полягає в тому, що лезо, що досліджується, спеціальним пристосуванням вдавлюється в ребра пластини виготовленої з пластичних матеріалів (рисунок 3.4). Перевагою даного методу є те, що отримані відбитки досить точно відтворюють профіль леза.



НУБІП Україна

Рисунок 3.4 - Визначення профілю леза методом відбитка:

а) схема визначення гостроти леза методом відбитка; б) пристосування для визначення

Пристрій для отримання відбитків леза складається зі свинцевого листа товщиною 3 мм щільно стисненого двома пластинами для запобігання деформації останнього.

Значення кроку, висоти насічки, а також форми зубів визначаються шляхом фотографування профілю леза з подальшим обробленням отриманого зображення на ПК (рисунок 3.5).

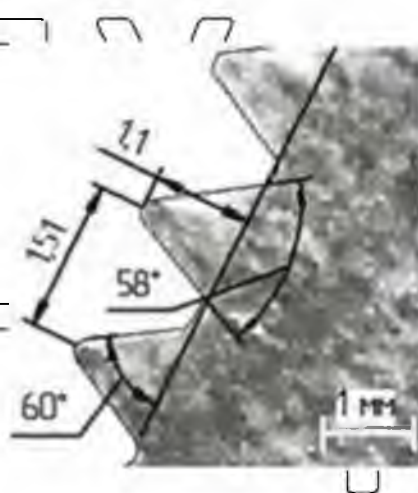


Рисунок 3.5 - Профіль зуба насічки леза сегмента

Аналіз відбитків, отриманих під час досліджень, здійснювався на металографічному мікроскопі серії Axiovert 40 Mat фірми Zeiss. Цей мікроскоп має спеціальне програмне забезпечення, що дозволяє визначати параметри досліджуваних зразків з високою точністю (рисунок 3.6).

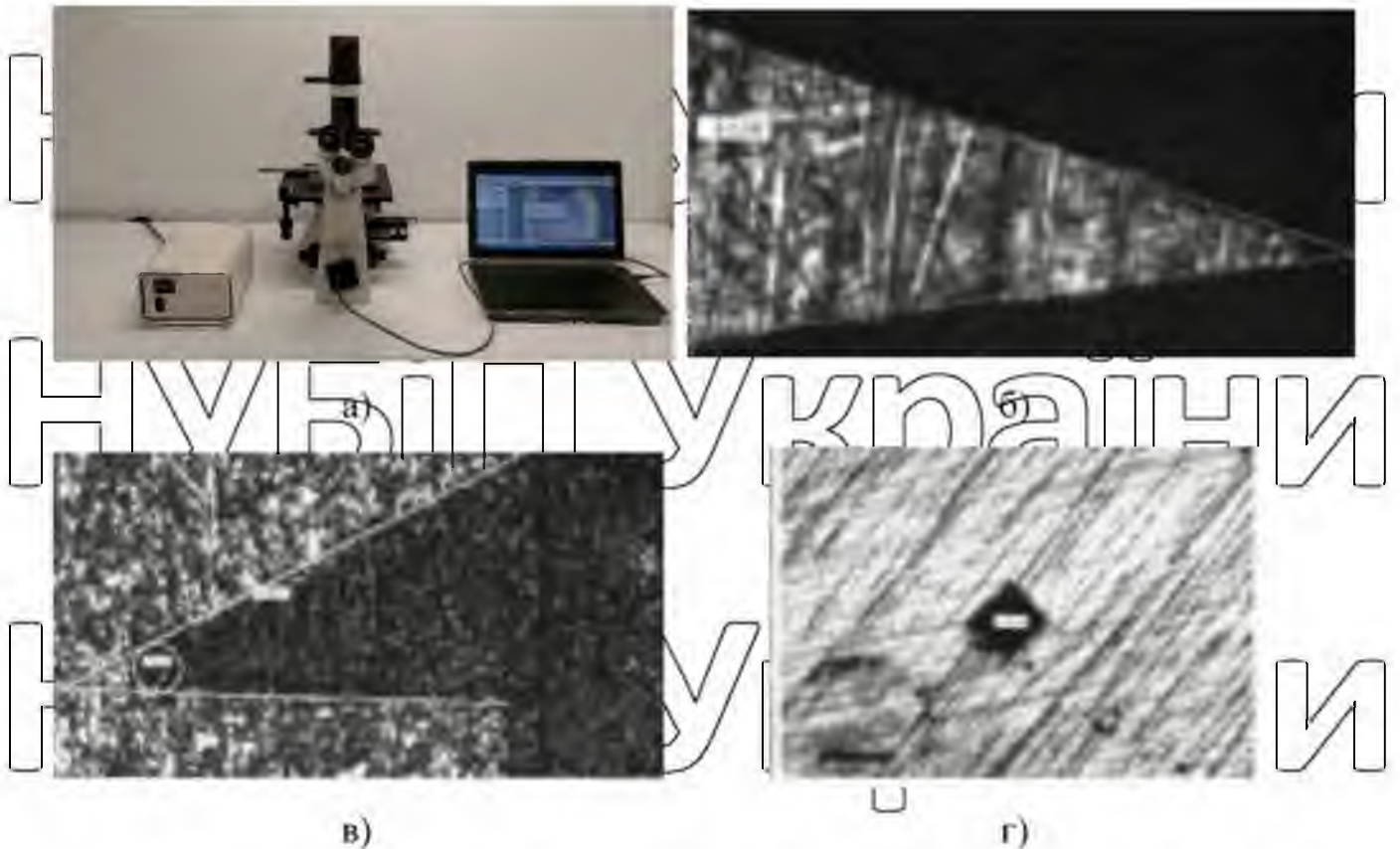


Рисунок 3.6. Загальний вигляд металографічного мікроскопа серії

Axiovert 40 Mat

а) мікроскоп; б) знімок профілю леза у шліфі; в) відбиток леза сегмента;

г) знімок відбитка алмазної піраміди

Також за допомогою даного мікроскопа та спеціального програмного забезпечення здійснювалося визначення мікротвердості зразка за Вікнером шляхом вимірювання характерних розмірів відбитка, отриманого вдавлення алмазної піраміди в поверхню (рисунок 3.6). Ця функція мікроскопа значно скорочує час проведення досліджень.

3.2 Методика нанесення зносостійкого покриття на робочу поверхню леза сегмента

Фінішне плазмове зміцнення (ФПЗ) – нова технологія для багаторазового підвищення працездатності інструменту, штампів, прес форм та деталей машин [21].

Сутність ФПЗ полягає у нанесенні зносостійкого покриття з одночасним здійсненням процесу повторного плазмового гартування приповерхневого шару

(на глибину декількох мікрметрів). Покриття є продуктом плазмохімічних реакцій реагентів, що пройшли дугсвий плазмотрон. Загартовування відбувається за рахунок локального впливу висококонцентрованого плазмового струменя.

Ефект від ФПЗ досягається за рахунок зміни фізико-механічних властивостей поверхневого шару: збільшення мікротвердості, зменшення коефіцієнта тертя, створення стискаючих напружень, заліковування мікрodefektів, утворення на поверхні децентричного та корозійностійкого покриття з низьким коефіцієнтом теплопровідності, хімічною інертністю та специфічною поверхнею.

Установка для нанесення тонкоплівкового покриття УФПЗ-111 складається з блоку апаратури з рідинним дозатором для забезпечення газо- та водорозподілу та збудження дуги, плазмотрона з плазмохімічним генератором для створення та стабілізації плазмового струменя, та джерела живлення.



Рисунок 3.9 - Загальний вид установки УФПУ-111:

Для отримання покриття з максимальною рівномірністю товщини на робочій поверхні леза необхідно розрахувати швидкість переміщення плазмотрона, кількість проходів та час витримки на кожному проході.

Зміцненню піддається задня частина леза на ширину $h_n = 0,008$ м. Довжина смуги переміщення плазмотрона вздовж різальних кромek становить $l_n = 0,120$ м. Товщина покриття $h = 3 \cdot 10^{-6}$ м. Тоді

$$S_p = h_n \cdot l_n = 0,008 \cdot 0,120 = 96 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \quad (3.1)$$

Продуктивність нанесення покриття, за даними [21], для заданої товщини покриття становить $P_n = 5 \text{ мм}^2/\text{с}$, тоді загальний час нанесення покриття

$$t_{\text{нм}} = \frac{S_p}{P_n} = \frac{96 \cdot 10^{-5}}{5 \cdot 10^{-6}} = 192, \text{ с.} \quad (3.2)$$

Приймаємо швидкість переміщення плазмотрону $v = 4 \text{ мм/с}$, тоді час одноразового проходу плазмотрону складе

$$t_{\text{п}} = \frac{S_p}{h_n \cdot v} = \frac{96 \cdot 10^{-5}}{0,008 \cdot 0,004} = 30, \text{ с.} \quad (3.3)$$

число проходів плазмотрону

$$n_{\text{п}} = \frac{t_{\text{нм}}}{t_{\text{п}}} = \frac{192}{30} = 6,4 \approx 6, \text{ штук.} \quad (3.4)$$

Процес нанесення покриття передбачає періодичне охолодження поверхні, що зміцнюється, кожні 8...10 с. Таким чином, повний час обробки робочої поверхні леза становитиме 50 с.

3.3 Стендові випробування сегментів ріжучого апарату

3.3.1 Опис роботи стану для визначення зносостійкості сегментів ріжучого апарату

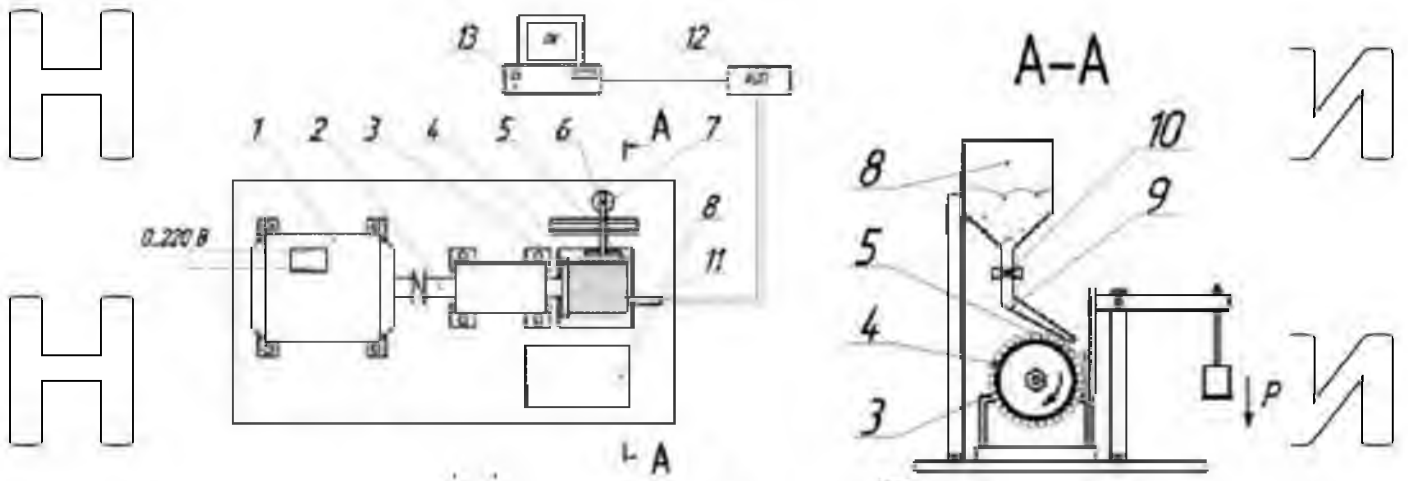
Дослідження зношування сегментів, проведені В.Н Ткачовим. [12], показали, що інтенсивніше стирається нижня його частина, ніж верхня. Зношування нижньої ріжучої кромки відбувається за рахунок тертя про зрізані стебла і протиризальну пластину.

Одним із визначальних факторів, що впливають на інтенсивність зношування ріжучих інструментів, є лінійна швидкість у зоні контакту [49].

Тому для визначення зносостійкості матеріалу сегмента, нами було розроблено та виготовлено лабораторну установку (рисунок 3.10), що дозволяє змоделювати умови зносу сегмента при контакті зі стеблом.

Установка рухається від електродвигуна 1. Обертання передається на вал 2, на якому закріплений барабан 3 покритий соломомою 4. Вологість соломи становить 13%. Для щільнішого прилягання соломи до стінок барабана на останньому є навивка. Випробуваний зразок сегмента 5 кріпиться на важіль 6 двома гвинтами і

притискається до барабана з допомогою вантажу 7. Абразив в зону контакту сегмента з соломою подається з ємності 8 по жолобу 9 через дозатор 10. Контроль лінійної швидкості барабана здійснюється за допомогою датчика 11, з якого сигнал передається на ПК 12 через АЦП 13. Величина подачі абразиву в зону тертя змінювалася шляхом повороту ручки дозатора 10.



а)

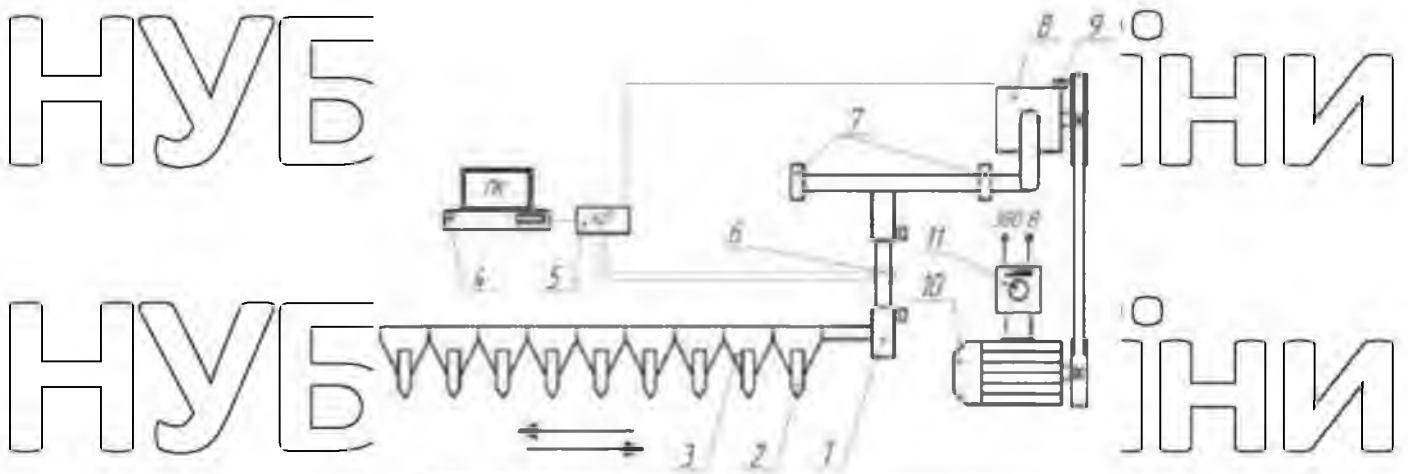


Рисунок 3.10- Лабораторна установка:

а) схема лабораторної установки: 1 – електродвигун; 2 – вал; 3 – барабан; 4 – солома; 5 – зразок сегмента; 6 – вакаль; 7 - вантаж; 8 – ємність з абразивом; 9 – жолоб; 10 - дозатор; 11 – датчик оборотів; 12 – АЦП; 13 – ПК; б) загальний вигляд

установки;

Для визначення швидкості подачі абразива в залежності від кута повороту рукоятки дозатора було зроблено його тарування. Діапазон повороту рукоятки дозатора становить від 0 до 90°. Через кожні 10° проводиться зважування частінок, що пройшли через отвір ринви за 1 хвилину. На підставі отриманих результатів було побудовано тарувальний графік, представлений на малюнку 3.11.



Рисунком 3.11 - Загальний вид дозатора та тарувальний графік подачі абразиву

Частоту обертання і число обертів барабану вимірювали використовуючи датчик на герконі, принцип роботи, якого заснований на замиканні та розмиканні під дією магнітного поля. Число замикань за хвилину дорівнює числу обертів барабану. Герконевий датчик через спеціальні екрановані дроти приєднувався до аналогово-цифрового перетворювача (АЦП), який у свою чергу з'єднаний із ноутбуком.

Розрахунок частоти обертання по барабану, згідно з обраними значеннями лінійної швидкості в зоні тертя, проводився за формулою:

$$n = \frac{v_{\text{т}}}{D\pi} \quad (3.8)$$

де $v_{\text{т}}$ - лінійна швидкість у зоні тертя, м/с;

D - діаметр барабану, м $D = 0,1$ м.

Таблиця 3.2 – Значення частоти обертання барабана устаткування

Лінійна швидкість, м/с	3	2,9	2,8
Розрахункова частота обертання барабана, об/хв	573	553	534
Частота обертання барабана прийнята для експерименту, об/хв	570	550	530

Експеримент проводили таким чином, щоб у всіх порівнюваних варіантах шлях тертя був однаковий, що забезпечувалося зняттям характеристики за 1000 циклів. Для забезпечення точності вимірювань його проводили у 3-кратній повторності.

Контроль зносу зразків, що випробовуються, проводиться після певної кількості циклів методом штучних баз до і після випробування [55]. Метод штучних баз полягає в тому, що на поверхні, що зношується, наносять поглиблення по зменшенню розмірів поглиблення визначається величина зносу (рисунок 3.12).

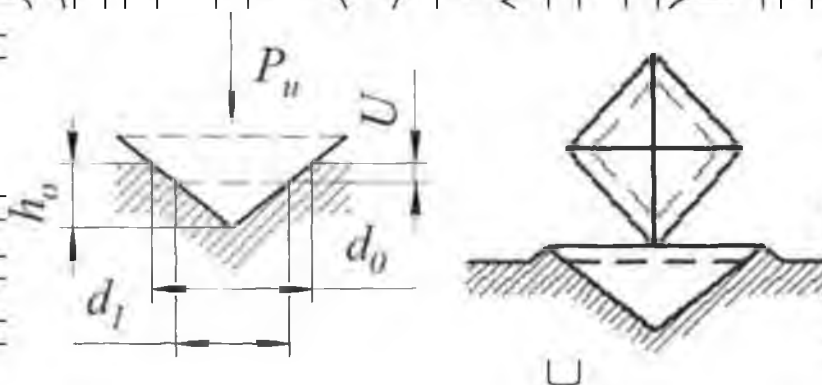


Рисунок 3.12 - Схема визначення зносу методом штучних баз

Для утворення поглиблення застосовується алмазна чотиригранна піраміда з квадратною основою та кутом при вершині між протилежними гранями 136° . Така піраміда застосовується в приладах для визначення твердості Віккерсу типу HV-1000. Піраміда вдавлюється під навантаженням P_u в поверхню, що випробовується, і вимірюється діагональ d_1 відбитка (рисунок 3.12). Після зношування розмір відбитка зменшується (d_1) і по різниці d_0 і d_1 визначають величину зношування. Діагональ відбитка вимірюється за допомогою оптичного приладу. У нашому

випадку це мікроскоп серії Axiovert 40 Mat фірми Zeiss із спеціальним програмним забезпеченням

3.3.2 Принцип роботи стану для проведення випробувань сегментів ріжучого апарату на раптову відмову

Для реалізації прийнятої програми досліджень було виготовлено стенд, який виконує такі функції: відтворення роботи ріжучого апарату, тензометрування зусилля переміщення ножа; моделювання умов раптової відмови сегментів.

Стенд містить фрагмент ріжучого апарату, який складається з пальцевого бруса і ножової смуги з сегментами, механізму приводу, що складається з електродвигуна і механізму шайби, що коливається, (МКШ), пристрій для вимірювання зусиль діючих в деталях ріжучого апарату, що включає в себе тензодатчик, АЦП і ноутбука для обробки сигналів, захисний кожух (рис. 3.13).

Електродвигун забезпечує безступінчасту зміну частоти оборотів кривошипа МКШ, який у свою чергу перетворює обертальний рух валу двигуна на зворотно-поступальне переміщення ножової смуги. Середня швидкість у зоні різання становила 2,74 м/с, що відповідає 946 об/хв шківів МКШ. Контроль частоти обертання шківів МКШ здійснювався датчиком на герконі.

Для імітації раптової відмови сегментів ріжучого апарату, в зону різання через спеціальний отвір в захисному кожусі підводився фрагмент металевої арматури діаметром 210 мм. Випробовували стандартні зразки сегментів і з просічкою.

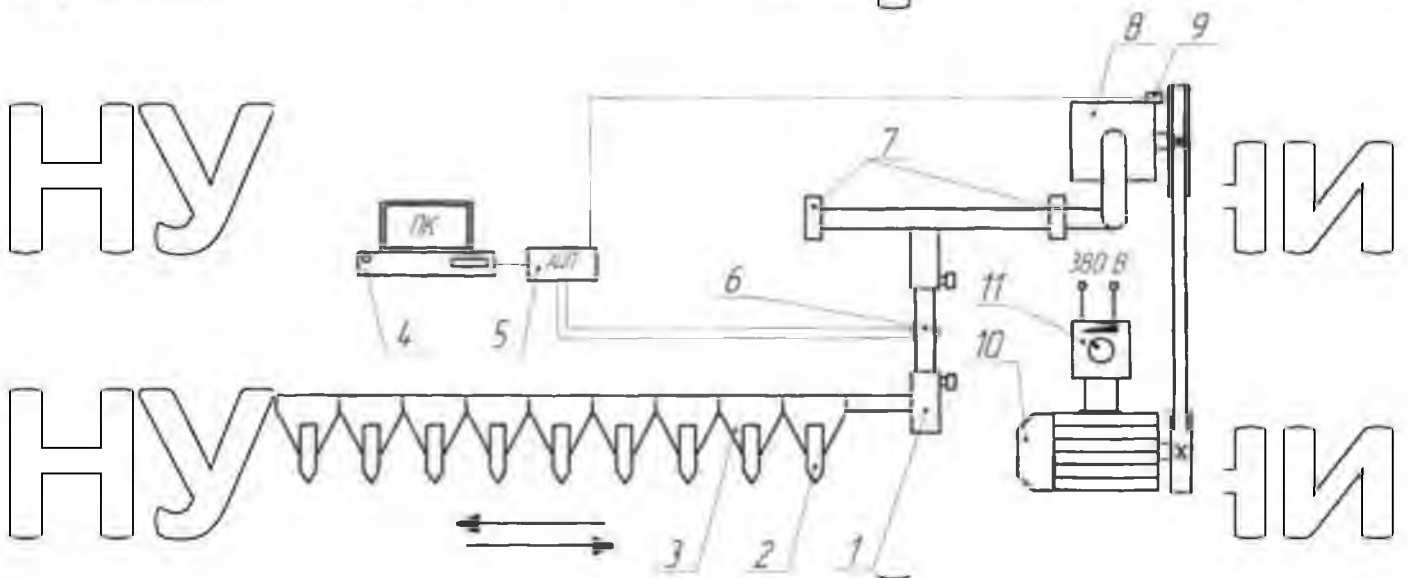




Рисунок 3.13 – Схема та загальний вигляд лабораторної установки:

- 1 - ножова полоса, 2 – палець, 3 – сегмент, 4 – персональний компютер,
 5 – АЦП, 6 – тензодатчик, 7 - напрямні, 8 – МКШ, 9 – датчик оборотів,
 10 – електродвигун; 11 - регулятор швидкості

Фіксація зусилля переміщення ножа зі стандартними та модернізованими сегментами здійснювалася за допомогою тензодатчика, який кріпиться між ножовою смугою та МКШ та з'єднаний через АЦП до ноутбука. Тарування тензодатчика полягала у підвішуванні вантажів та реєстрації сигналу. Зіставлення навантаження, що додається, і зміни сигналу дозволило отримати тарувальний графік, представлений на рисунку 3.14.



а)

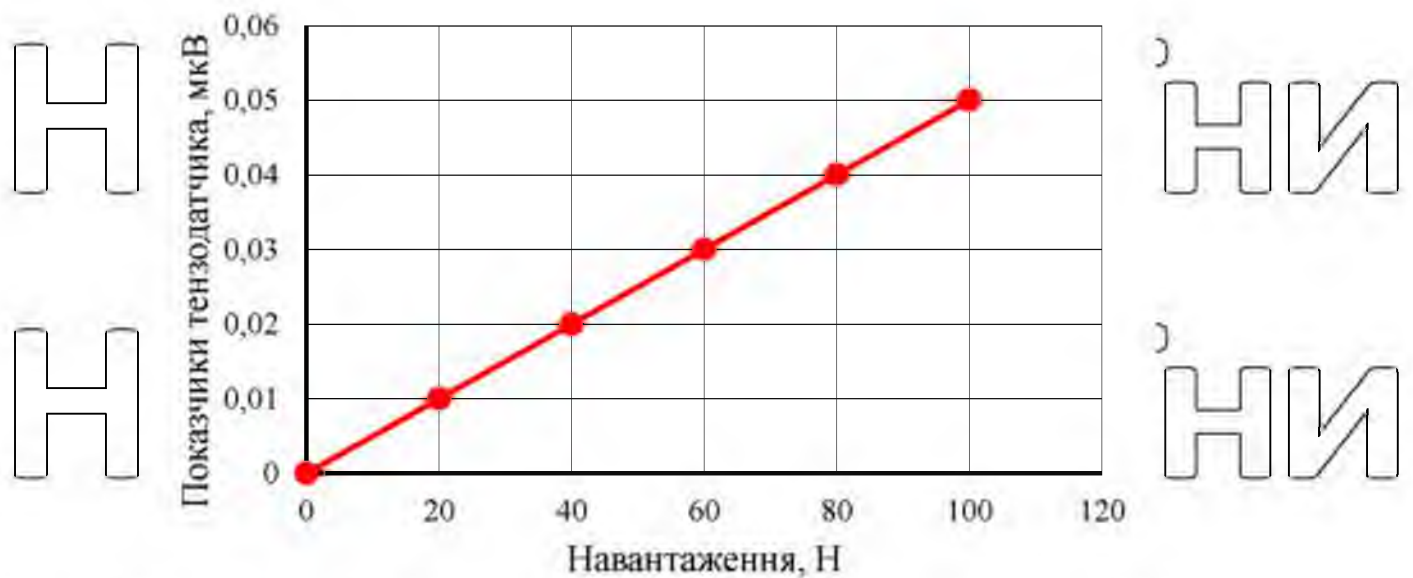


Рисунок 3.14 - Загальний вигляд тензодатчика:
а) тензодатчик; б) тарований графік тензодатчика

3.4. Методика обробки експериментальних даних

Обробку експериментальних даних вели згідно з методикою [4]

Усі точки плану реалізації всіх можливих поєднань рівнів чинників визначали за такою формулою:

$$N = 3^{\phi} \quad (3.9)$$

де N - загальна кількість різних точок у плані;

3 - число рівнів;

ϕ - загальна кількість чинників.

Після побудови плану матриці планування перевіряли її властивості:

- симетричність щодо центру експерименту - алгебраїчна сума елементів стовпця кожного фактору повинна дорівнювати нулю, крім стовпця, що відповідає вільному члену, b_0 .

$$\sum_{e=1}^N i_e = 0, \quad (3.10)$$

де e - номер точки плану;

i - номер фактору;

N - кількість різних точок плану матриці;

- нормування - сума рядкових квадратів кожного стовпця дорівнює числу

точок плану матриці:

$$\sum_{e=1}^N X_{i,e}^2 = N, \quad (3.11)$$

- ортогональність - сума рядкових творів планів матриці будь-яких двох стовпців дорівнює нулю;

$$\sum_{e=1}^N X_{ie} X_{je} = 0, \quad (3.12)$$

де $j \neq i$ - комбінація факторів в e -ій точці, $i \neq j$

Якщо побудований план матриці планування відповідає вищевказаним властивостям, то, отже, математична модель, отримана в результаті експерименту, здатна передбачити значення показника параметра оптимізації з однаковою точністю в будь-яких напрямках на рівних відстанях від центру експерименту.

Перед реалізацією плану експерименту проводилося рандомізація дослідів.

По кожній точці плану матриці планування встановлювали дійсні значення факторів, верхніх, нижніх або основних, у порядку реалізації дослідів першої серії експерименту. Отримували дійсні значення показника оптимізації параметра по всіх точках плану матриці планування. Потім значення факторів встановлювали за кожною точкою плану матриці планування по черзі другої та третьої серії експерименту.

Середнє значення показника параметра оптимізації визначали щодо реалізації паралельних спостережень за формулою:

$$Y_e = \frac{\sum_{j=1}^n Y_{e',j}}{n} \quad (3.13)$$

де Y_e - середнє арифметичне по m дослідів у точці з номером e ;

e' - рядок плану матриці планування;

$Y_{e',j}$ - дійсне значення показника параметра оптимізації;

n - число паралельних спостережень у кожній точці.

Для оцінки відхилення показника параметра оптимізації від середнього значення обчислювали дисперсію відтворюваності за даними паралельних спостережень плану матриці планування в кожній точці за формулою:

$$S_e^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (Y_{ecc} - Y_{e,j})^2}{n-1} \quad (3.14)$$

де S_e^2 - дисперсія в e -ій точці;

j_n - порядковий номер паралельного досвіду у цій точці плану матриці;

Y_{ecc} - середнє арифметичне значення параметра оптимізації в паралельних дослідах в точці e ;

$Y_{e,j}$ - значення параметра оптимізації в e -ій точці;

n - число паралельних спостережень у точках плану матриці.

Отримані значення S_e^2 підсумовували за поточними номерами точок плану

матриці та знаходили максимальне значення дисперсії.

Потім перевіряли однорідність дисперсій. Для перевірки гіпотези однорідності користувалися критерієм Кохрена, тобто:

$$G = \frac{S_{e\max}^2}{\sum_{e=1}^N S_e^2}, \quad (3.15)$$

гді G - критерій Кохрена;

$S_{e\max}^2$ - максимальна дисперсія в e -ій точці;

$\sum_{e=1}^N S_e^2$ - сума всіх дисперсій.

За отриманим значенням G перевіряли гіпотезу про відтворюваність вимірювань, для цього задавали рівень значущості $q = 5\%$, визначали число

ступенів свободи, знаходили табличне значення критерію Кохрена $G_{кр}$ за

відповідних ступенів свободи. Якщо розрахункове значення G виявилось менше знайденого табличного значення $G_{кр}$, то гіпотеза про однорідність дисперсій та

відтворюваність результатів приймалася. Якщо перевірка дала негативний

результат, то збільшували кількість паралельних дослідів.

Далі знаходили різницю між значенням експерименту G , визначеним за формулою (3.10), і $G_{кр}$.

$$S^2 = S^2 \{Y\} = \frac{\sum_{e=1}^N S_e^2}{N}, \quad (3.16)$$

де $S^2 \{Y\}$ - середня арифметична дисперсія всіх точок плану матриці або дисперсія параметра оптимізації;

S_e^2 - дисперсія в e -ої точки;

$\sum_{e=1}^N S_e^2$ - сума всіх дисперсій;

N - загальна кількість різних точок у плані матриці планування.

Коефіцієнти регресії визначаємо множенням $Y_{ср}$ на дані $X_{i,e}$ в кодових

позначеннях з наступним розподілом отриманого твору на загальну кількість точок у плані матриці, тобто за формулою:

$$b_i = \frac{\sum_{e=1}^N X_{i,e} \cdot Y_{ср}}{N} \quad (3.17)$$

де b_i - коефіцієнти регресії 0, 1, 2, ..., ,

$X_{i,e}$ - номер стовпця у плані матриці 0, 1, 2, ..., , ϕ .

При рівній кількості паралельних дослідів у всіх точках плану матриці дисперсію помилки визначали за формулою:

$$S^2 \{b_i\} = \frac{S^2 \{Y\}}{N \cdot m} \quad (3.18)$$

де $S^2 \{Y\}$ - дисперсія помилки визначення коефіцієнтів.

Обчислені значення $S^2 \{b_i\}$ всім коефіцієнтів однакові.

Далі знаходили середньоквадратичне відхилення дисперсії помилки визначення коефіцієнтів регресії b_i за формулою:

$$S \{b_i\} = \sqrt{\frac{S^2 \{Y\}}{N \cdot m}} \quad (3.19)$$

Значимість коефіцієнтів регресії визначали за t – критерієм Стьюдента. Для кожного коефіцієнта обчислювали значення t_i критерію за формулою:

$$t_i = \frac{|b_i|}{S\{b_i\}} \quad (3.20)$$

Потім перевіряли гіпотезу про значущість коефіцієнтів регресії. І тому задавалися рівнем значимості $q = 5\%$ і визначали число ступенів свободи, знаходили критичне значення $t_{кр}$. Для тих коефіцієнтів, які мають розрахункове значення t_i перевищує $t_{кр}$, гіпотеза відкидалася, і коефіцієнт b_i визнавався значним.

В іншому випадку b_i вважали статистично не значущим.

Далі знаходили різницю між розрахунковими значеннями експерименту t_i і $t_{кр}$.

По рівнянню регресії визначали величину $Y_{e,l}$ кожної точки плану матриці, тобто кожної рядки, з урахуванням знака чинника у плані матриці знаходили алгебраїчну суму коефіцієнтів рівняння. Потім знаходили різницю між середнім значенням Y_{exp} показника параметра оптимізації процесу кожної точки матриці, отриманим експериментально, і значенням $Y_{e,l}$, підрахованим за рівнянням регресії.

Отримані результати $(Y_{exp} - Y_{e,l})$ підсумовували $\sum_{\zeta=1}^N (Y_{exp} - Y_{e,l})^2$.

Оцінку адекватності моделі визначали за такою формулою:

$$S_{ad}^2 = \frac{m}{N-1} \sum_{\zeta=1}^M (Y_{exp} - Y_{e,l})^2 \quad (3.21)$$

де S_{ad}^2 - оцінка дисперсії адекватності моделі;

$Y_{e,l}$ - математичне очікування параметра оптимізації, підраховане за рівнянням регресії.

Адекватність моделі перевіряли за такою формулою:

$$F_{\phi} = \frac{S_{ad}^2}{S^2\{Y\}} \quad (3.21)$$

де F_{ϕ} - критерій Фішера.

Для перевірки адекватності моделі задавалися рівнем значимості $q = 5\%$, визначали число ступенів свободи, знаходили таблиці значення критерію Фішера F_{kp} для певного числа ступенів свободи. Гіпотезу адекватності моделі приймали у разі, якщо розрахункове значення F , визначене за формулою (3.21), виявлялося менше значення F_{kp} знайденого в таблиці.

Оскільки вибір контрольованих параметрів процесу здійснювався на підставі вимог до кінцевого результату при врахуванні кожного виділеного фактора, оцінювали коефіцієнти впливу (чутливості) у дійсних значеннях за формулою:

$$A_i = \frac{b_i}{\Delta X_i}, \quad (3.23)$$

де A_i - Коефіцієнт чутливості параметра процесу в дійсних значеннях.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

ТА ІХ АНАЛІЗ

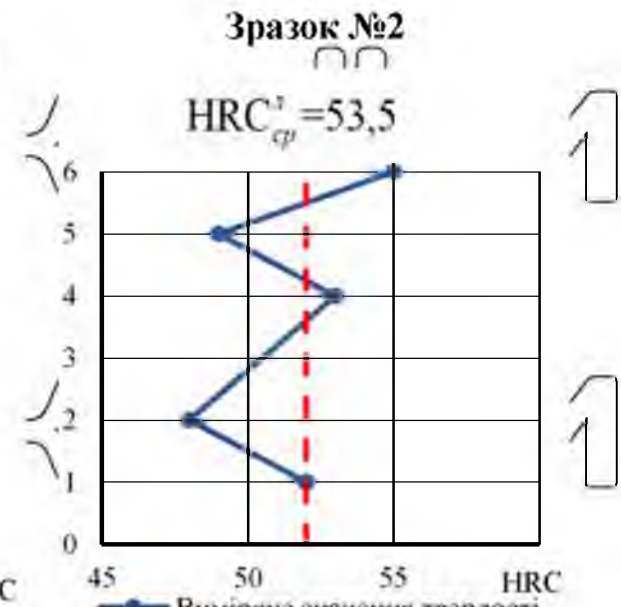
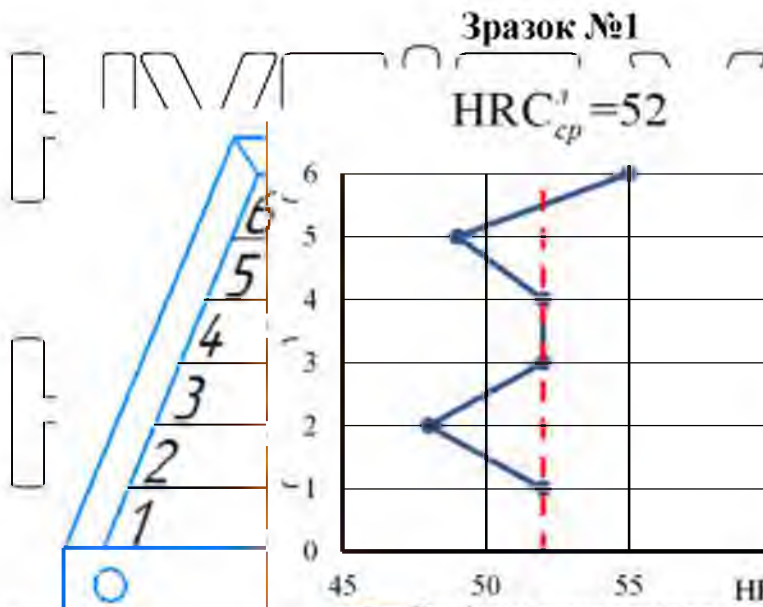
4.1 Результати досліджень фізико-механічних властивостей сегментів різального апарату

4.1.1 Результати досліджень твердості матеріалу сегментів різального апарату

Результати експерименту з визначення твердості матеріалу сегментів різального апарату представлені на рисунках 4.1, 4.2. Для зручності аналізу значення твердості, отримані за методом Мікро-Віккерса, переведені в шкалу Роквелла, згідно таблиці перекладу та порівняння одиниць твердості шкал Віккерса, Брінелля та Шора [125].

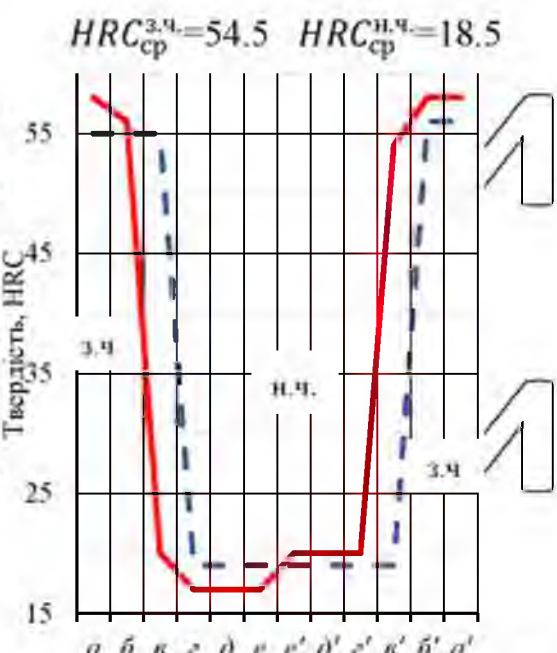
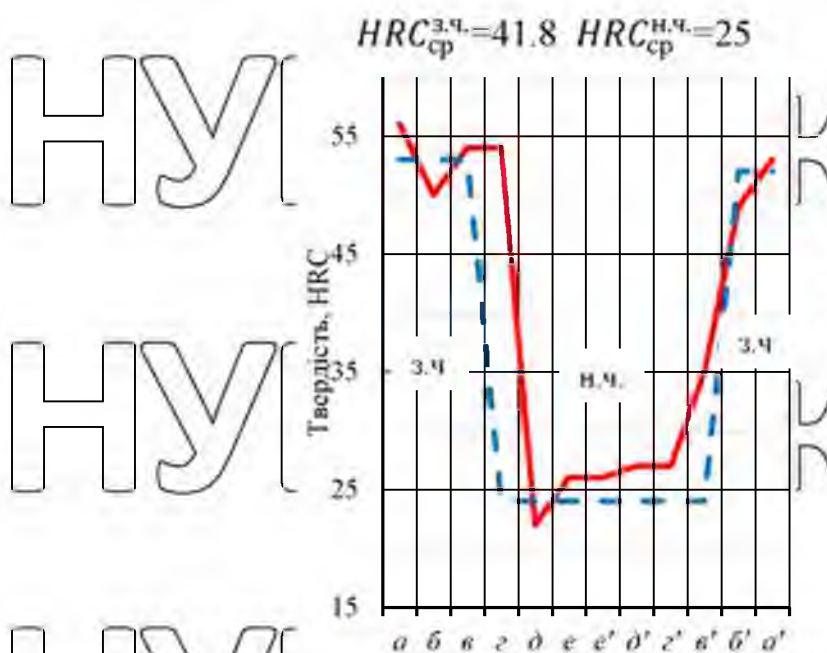
Аналіз досліджень, присвячених надійності різальних інструментів [105] показав, що одним із параметрів, що впливають на зносостійкість леза, є твердість матеріалу. Тому коливання її значень впливатиме на рівномірність зносу. Це коливання можна оцінити статистичним показником, таким як коефіцієнт варіації V . З рисунка 4.1 видно, що найменше значення коефіцієнта варіації твердості вздовж леза мають зразки №3 і №5 $V = 1,3\%$ і $V = 1,7\%$ відповідно. Значення їхньої твердості більш стабільні, порівняно з іншими зразками.

Вимір мікротвердості вздовж поперечного перерізу показало, що твердість в загартованій і незагартованій частини сегмента у зразків №1 і №2 практично однакова і має великий розкид значень. Значна різниця у твердості між загартованою частиною та серцевиною сегмента призводить до виникнення напруження на їхньому кордоні та знижує експлуатаційну надійність [81].



Секмент Кемеровського заводу (H066.14)

Секмент Сімферопольського заводу (H066.14)



н.ч. – незагартована частина;
 3.ч. – загартована частина

н.ч. – незагартована частина;
 3.ч. – загартована частина

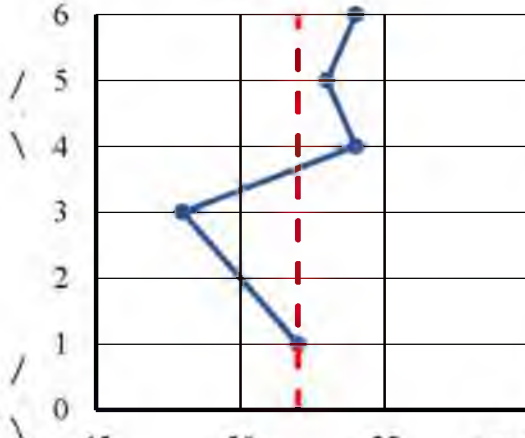
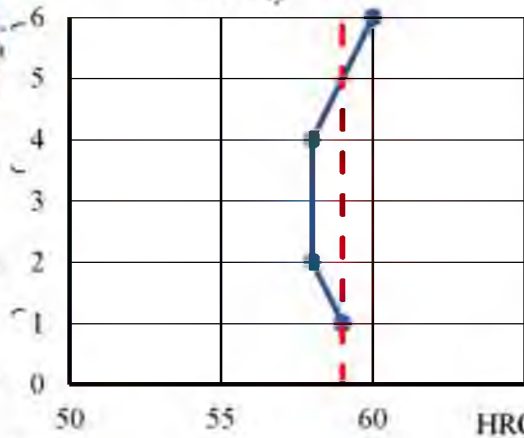
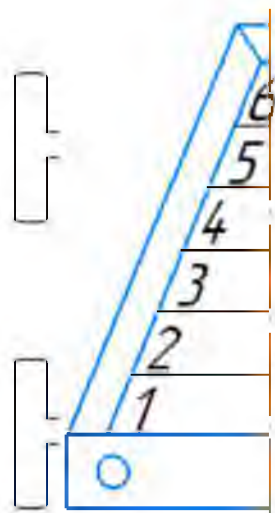
НУБІП України

Зразок №3

Зразок №4

$HRC_{cp}^T = 58,5$

$HRC_{cp}^T = 52,5$

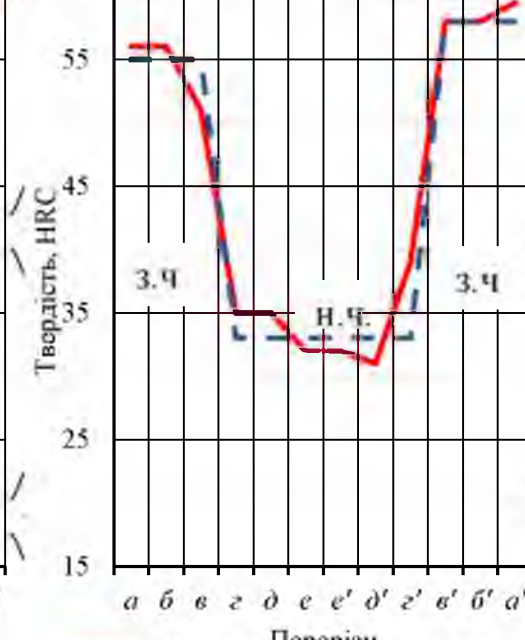
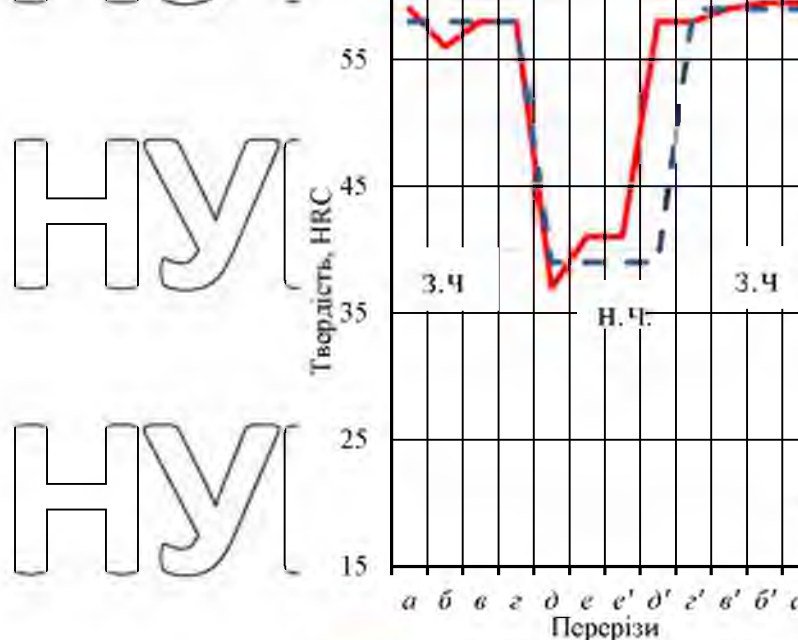


● - Виміряне значення твердості
 - - Середнє значення твердості

● - Виміряне значення твердості
 - - Середнє значення твердості

Сегмент фірми Claas
 $HRC_{cp}^{з.ч.} = 58,5$ $HRC_{cp}^{н.ч.} = 39,6$

Сегмент фірми New Holland
 $HRC_{cp}^{з.ч.} = 53,6$ $HRC_{cp}^{н.ч.} = 26,2$



— - Виміряне значення твердості
 - - Середнє значення твердості

— - Виміряне значення твердості
 - - Середнє значення твердості

н.ч. - незагартована частина;

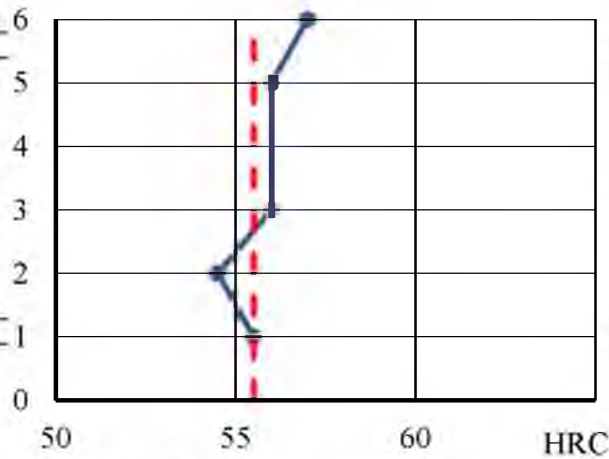
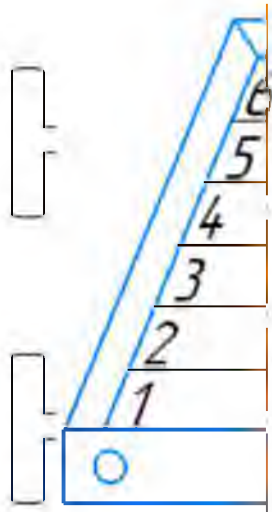
з.ч. - загартована частина

НУБІП України

НУБІП Україна

Зразок №5

$HRC_{cp}^1 = 56,5$



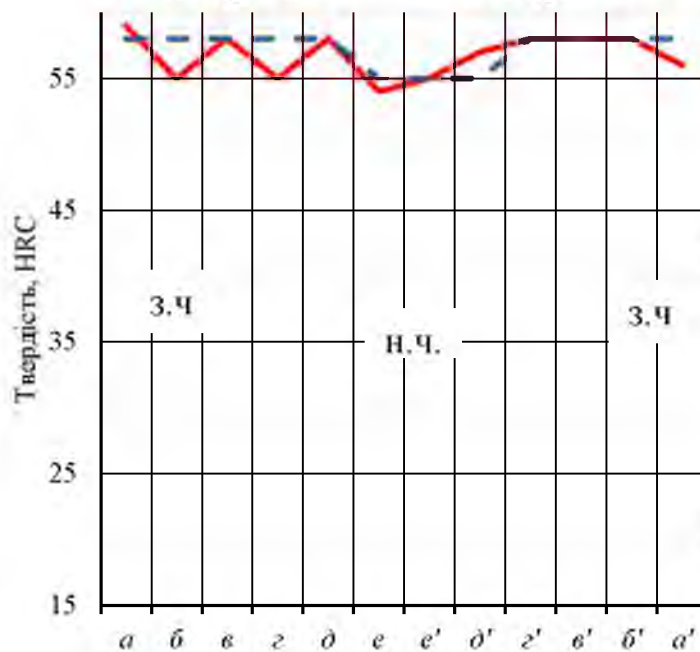
- - Вимірне значення твердості
- - - Середнє значення твердості

НУБІП Україна

Сегмент фірми Pro-Cut

$HRC_{cp}^{з.ч.} = 56.5$

$HRC_{cp}^{н.ч.} = 54.9$



- - - Вимірне значення твердості
- - - Середнє значення твердості

н.ч. — незагартована частина з.ч. — загартована частина

НУБІП Україна

Рисунок 4.1- Діаграма зміни твердості сегментів за перерізами

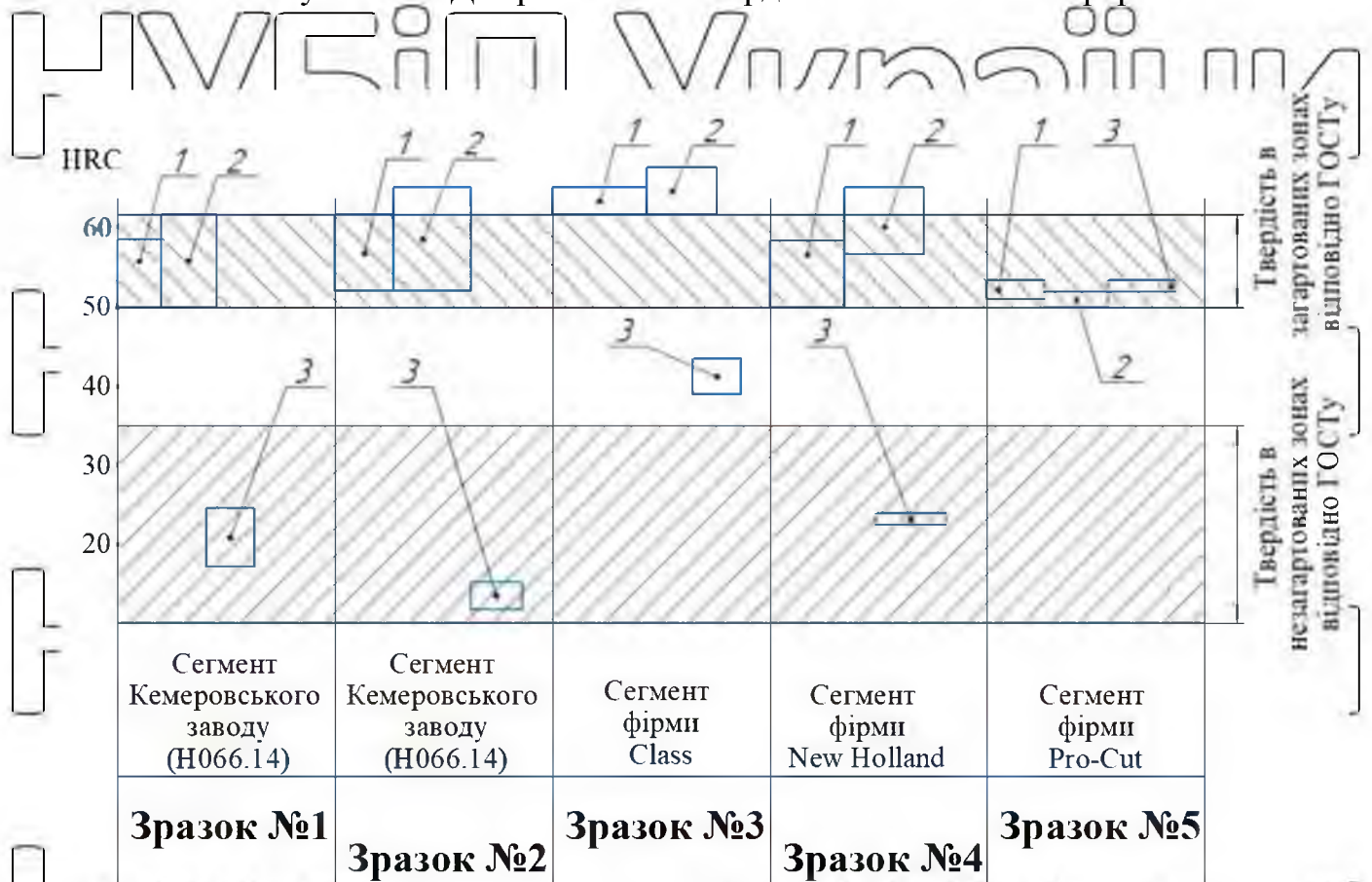


Рисунок 4.2 – Діаграма полів допуску твердості сегментів

1 – твердість вздовж леза; 2 - твердість у загартованій частині;
3 - твердість у незагартованій частині

Порівняння стандартних полів допусків твердості сегментів за величиною з вимірними значеннями (рисунок 4.2) показує, що незаперечною перевагою має імпортовані сегменти, зразки №3 та №4. Їх твердість вище за необхідні показники і має малі відхилення від середнього значення, на відміну від вітчизняного зразка №1. Його загартована частина має розкид значень $V = 5,2\%$.

Результати проведеного аналізу основних параметрів сегментів показали, що вітчизняні зразки поступаються імпортованим не лише за чисельними значеннями самих параметрів, а й за їх відхиленнями від середнього значення. Отже, для забезпечення кращої конкурентоспроможності вітчизняної збиральної техніки за показниками надійності та якості виконання технологічного процесу необхідно забезпечити сталість фізико-механічних та триботехнічних властивостей робочої поверхні сегмента.

4.1.2 Результати досліджень геометричних параметрів лез сегментів

різучого апарату

Результати досліджень геометричних параметрів лез сегментів різучого апарату представлені на рисунках 4.3 та 4.4.



Рисунок 4.3 – Результати досліджень параметрів сегментів різучого апарату:

— контур насічки леза після напрацювання сегмента 0,76 га

а) зразок №1; б) зразок №2; в) зразок №3; г) зразок №4; д) зразок №5

Аналіз геометричних параметрів робочих поверхонь леза розглянутих сегментів, нових і після напрацювання 0,76 га, дозволив умовно розділити їх на три групи [84].

До першої групи віднесений зразок №1. Його зуби, у площині потиличної частини сегмента, є рядом рівнобедрених трикутників перпендикулярних лезу з кутом нахилу ($\varphi_{cp} = 60^{\circ}$) і висотою зубів $h_{зep} = 0,98 \text{ мм}$ (рисунок 4.3а). Така форма насічки леза призводить до швидкого зносу вершини зубів, що, своєю чергою, викликає збільшення опору різання [84].

До другої групи включені зразки №2 та №3. Насікання у цієї групи сегментів являє собою кини, вістря яких орієнтоване за напрямом переміщення сегмента щодо протиріжучої пластини. Висота зубів складає $h_{зep} = 1,20 \text{ мм}$ з кутами нахилу бічних граней $\varphi_{1cp} = 40^{\circ}$ і $\varphi_{2cp} = 96^{\circ}$ відповідно, що сприяє меншому зносу вершини зубів, при взаємодії леза зі стеблом рослини).

До третьої групи віднесені зразки №4 і №5. Їх насічка є різцями з вершиною у вигляді дуги, середня довжина якої становить $l_{cp} = 0,87 \text{ мм}$, а кути нахилу граней $\varphi_{1cp} = 40^{\circ}$ і $\varphi_{2cp} = 90^{\circ}$ відповідно. Характер зносу леза сегментів цієї групи аналогічний попередньої, але завдяки особливій формі вершини зубів, лезо довше зберігає свою ріжучу здатність порівняно з іншими формами насічки (рис. 4.3г, д.) Слід зазначити, що така форма насічки є німецьким стандартом і відповідає вимогам DIN 11300.

Результати проведеного аналізу геометричних параметрів сегментів різального апарату та обробка експериментальних даних показали, що у всіх досліджуваних зразків значення параметрів відповідають вимогам ГОСТу. Але слід зазначити, що висота зубів h_3 у зразків №3 і №5 більш ніж 2 рази перевищує необхідне значення. Запас ріжучої здатності у таких лез буде вищим, але й ймовірність фарбування насічки також висока. У зразка №2 зубці мають кут загострення φ в середньому на 10° менше, ніж у інших сегментів. Така насічка має кращу проникаючу здатність, але і ймовірність її викришування також висока.

Порівняння стандартних полів допусків геометричних параметрів леза з

вимірними значеннями показує, що у сегментів під номером №3 і №4 верхня межа інтервалу розподілу значень гостроти кромки леза δ виходить за межі, встановлені ГОСТом, на 50% і 25% відповідно, а зразка II даний показник має великий діапазон значень з коефіцієнтом варіації $V = 10,17\%$. Такі відхилення параметра форми леза можуть призвести до його нерівномірного зношування та швидкого виходу з працездатного стану.

Таким чином, кращими показниками експлуатаційної надійності має зразок №5. Наявність округлої вершини на зубах леза із середнього довжиною дуги 1,10 мм і достатня висота насічки $h_3 = 1,12$ мм з кутом нахилу $\varphi_1 = 54^\circ$ дозволяє їм довше зберігати ріжучу здатність і функціональне призначення.

4.2 Результати проведення експерименту щодо визначення швидкості зношування стандартних та експериментальних сегментів ріжучого апарату

Для обробки даних, отриманих в ході експерименту за трирівневим планом Бокса-Бенкена 2-го порядку, була розроблена програма Microsoft Excel, алгоритм якої відновідає методиці обробки експериментальних даних (додаток 4) [26].

Після обробки експериментальних даних було отримано функції відгуку параметра оптимізації, рівняння регресії яких у розкодованому вигляді мають вигляд:

$$\gamma_{ст} = 0,99 - 1,72C_a + 0,02P_z + 0,08v_n + 0,09C_a P + 1,02C_a v, \quad (4.1)$$

$$\gamma_{ек} = 0,52 - 0,64C_a + 0,0084P_z + 0,031v_n + 0,036C_a P + 0,4C_a v. \quad (4.2)$$

Отримані рівняння піддавалися статистичній перевірці розробленої програмою за критеріями Кохрена (оцінка відтворюваності), Стьюдента (оцінка значущості коефіцієнтів рівняння регресії за довірчим інтервалом) та Фішера (оцінка адекватності розрахункових значень критерію оптимізації за рівняннями регресії, отриманими в ході експерименту) [26].

Аналіз закономірностей зносу стандартних та експериментальних сегментів (рисунок 4.4) показав, що всі залежності мають лінійний характер. При цьому при збільшенні абсолютної швидкості переміщення сегмента v_n і концентрації

абразиву C_a швидкість зношування γ в діапазоні досліджуваних значень нормальної сили P_z ($P_z = 10H, P_z = 20H, P_z = 30H$) має тенденцію до зростання. Наприклад, при $P_z = 10H$ швидкість зношування стандартного сегмента для

$v_n = 2,8 м/с$ та $C_a = 0,1 кг/м^2$ дорівнює $\gamma = 1,62 мкм/год$, а при

$v_n = 4,2 м/с$ та $C_a = 0,1 кг/м^2$ дорівнює $\gamma = 1,87 мкм/год$. При збільшенні

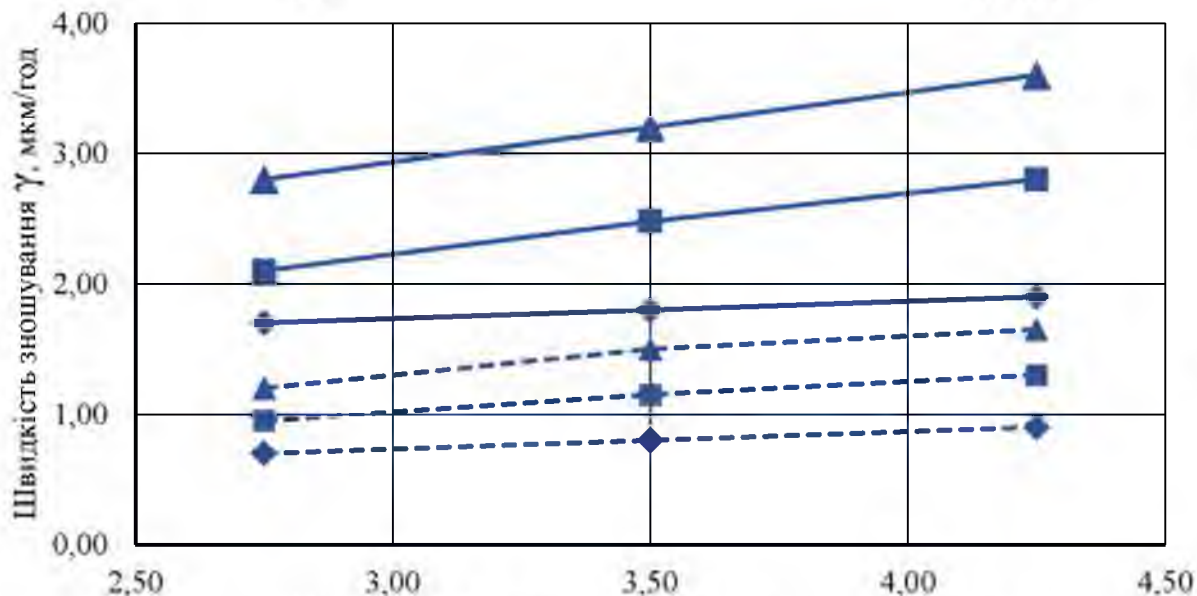
концентрації абразиву до максимального значення, при тих же значеннях

швидкості та нормальної сили швидкість зносу має значення $\gamma = 2,64 мкм/год$ і

$\gamma = 3,60 мкм/год$ відповідно. Тобто з збільшенням абсолютної швидкості

переміщення сегмента і концентрації абразиву швидкість зношування γ

збільшується в першому випадку в 1,6 а у другому в 1,9 рази.



Швидкість зношування γ , мкм/год

Швидкість сегмента ріжучого апарата v_n , м/с

- ▲— $C_a = 0,1$ кг/м²
- $C_a = 0,35$ кг/м²
- ◆— $C_a = 0,6$ кг/м²
- ▲- $C_a = 0,1$ кг/м²
- ◆- $C_a = 0,1$ кг/м²
- - Стандартний сегмент
- - - - - Зміцнений сегмент

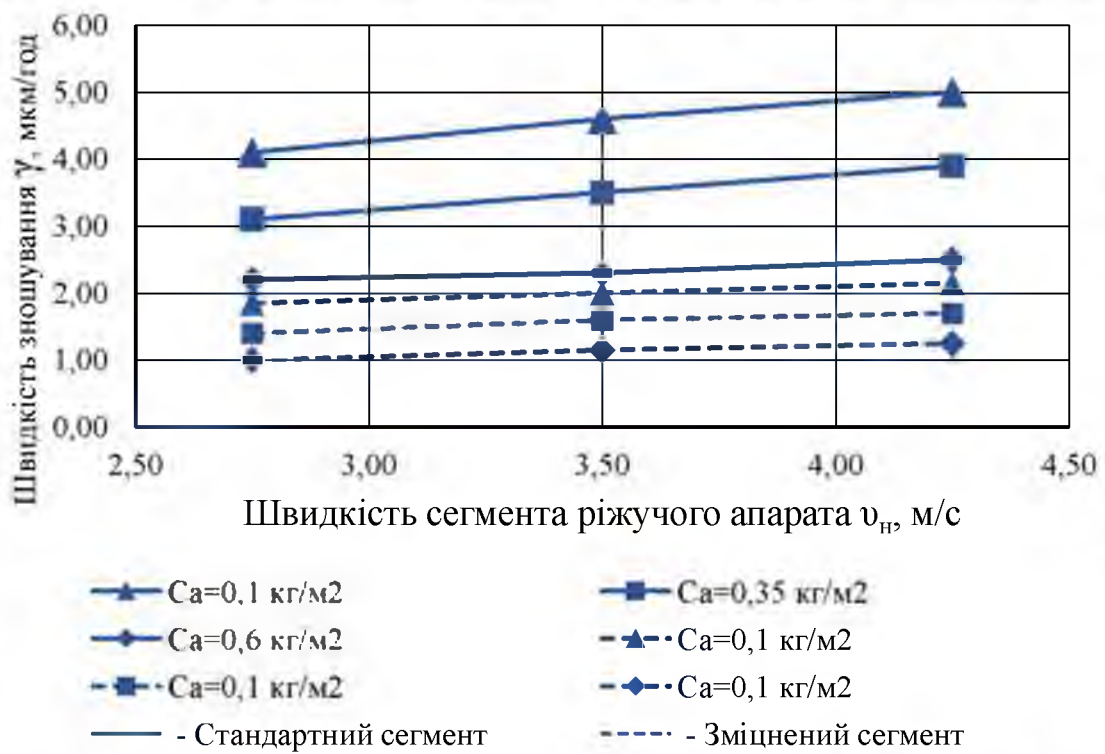
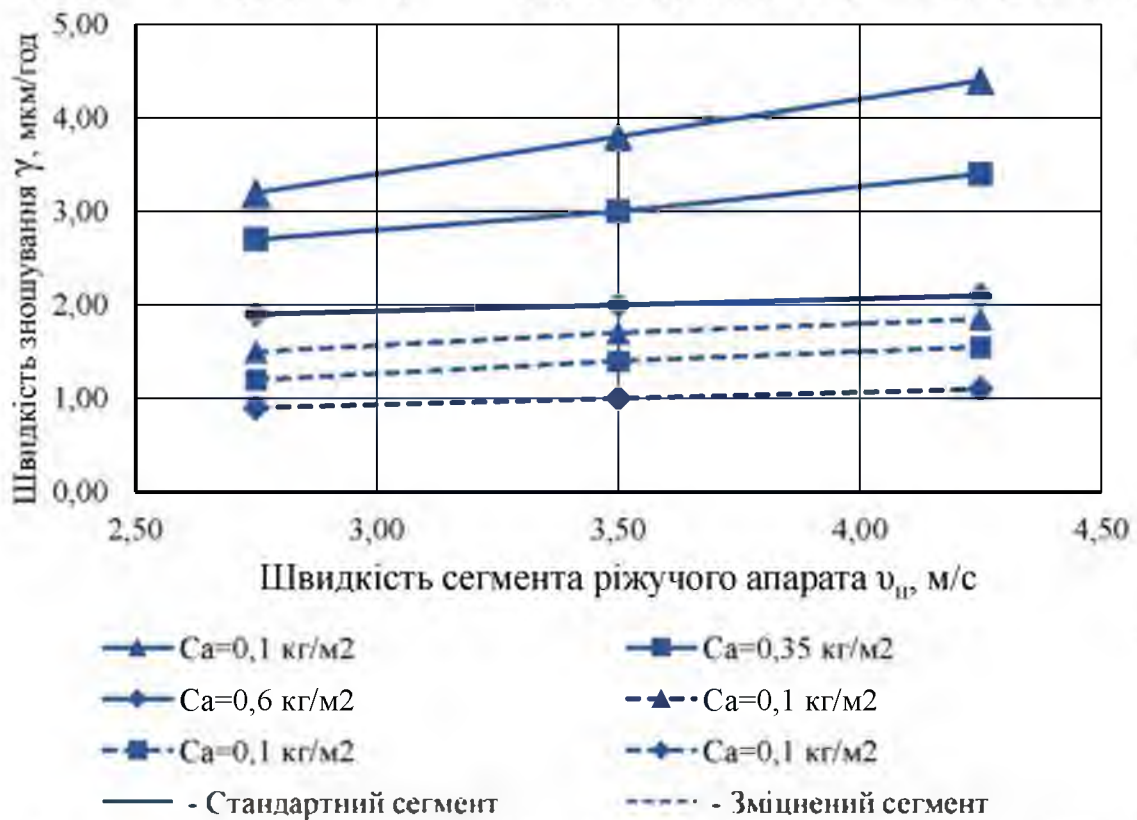


Рисунок 4.4 - Залежність швидкості зношування стандартних та зміцнених

сегментів від його абсолютної швидкості руху:

а) при значенні $P_z = 10H$; б) при значенні $P_z = 20H$; в) при значенні $P_z = 30H$.

З рисунка 4.4 видно, що з збільшенням значення нормальної сили P_z

швидкість зношування γ зростає, як у стандартних, і у експериментальних

сегментів. При цьому сегменти з покриттям мають швидкість зносу в 2,1...2,4 рази

нижче.

Для більш повного аналізу отриманих результатів експерименту щодо визначення швидкості зношування сегментів, введемо коефіцієнти відносної

зносостійкості $q_{від}$:

$$q_{від} = \frac{\gamma_{ст}}{\gamma_{зм}} \quad (4.3)$$

де $q_{від}$ – показник відносної зносостійкості стандартних сегментів до

зміцнених;

$\gamma_{ст}$, $\gamma_{зм}$ – значення рівнянь швидкості зношування стандартних та зміцнених сегментів, мкм/год;

Коефіцієнт $q_{від}$ показує у скільки разів швидкість зносу стандартних

сегментів більше або менше швидкості зносу експериментальних сегментів, що

мають покриття. Отримані під час розрахунку значення коефіцієнтів представлені на рисунку 4.5 й у додатку 6.

У міру збільшення абсолютної швидкості сегмента V_n та нормальної сили P_z

, швидкість зносу γ зростає як для експериментальних, так і стандартних

сегментів, що пояснюється зростанням сили удару абразивних частинок про робочу

поверхню. При цьому в діапазоні концентрації абразиву C_a в зоні тертя від 0,1 до

0,35 кг/м², при збільшенні абсолютної швидкості сегмента зростання швидкості

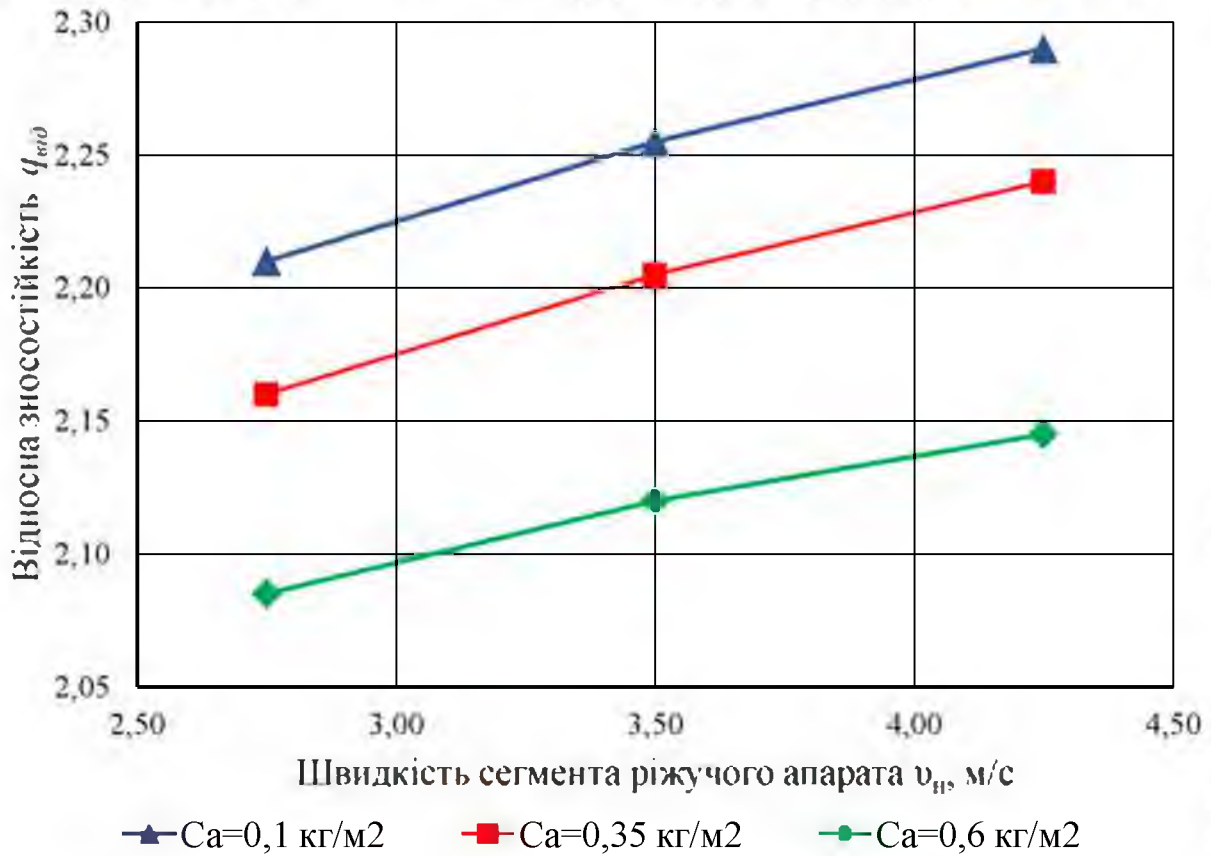
зношування стандартних зразків вище, ніж в інтервалі від 0,35 до 0,60 кг/м².

Наприклад, при мінімальному значенні концентрації абразиву C_a , нормальної сили

P_z і абсолютної швидкості руху сегмента V_n швидкість зносу γ для досліджуваних

зразків з покриттям становить 0,77 мкм/год, а без покриття 1,62 мкм/год. При

проміжному значенні $\zeta_{\text{в}}$ швидкість зносу γ становить 0,98 мкм/год і 2,13 мкм/год,
 що відповідає значенням коефіцієнта $\eta_{\text{в}}$ 2,09 і 2,16 відповідно

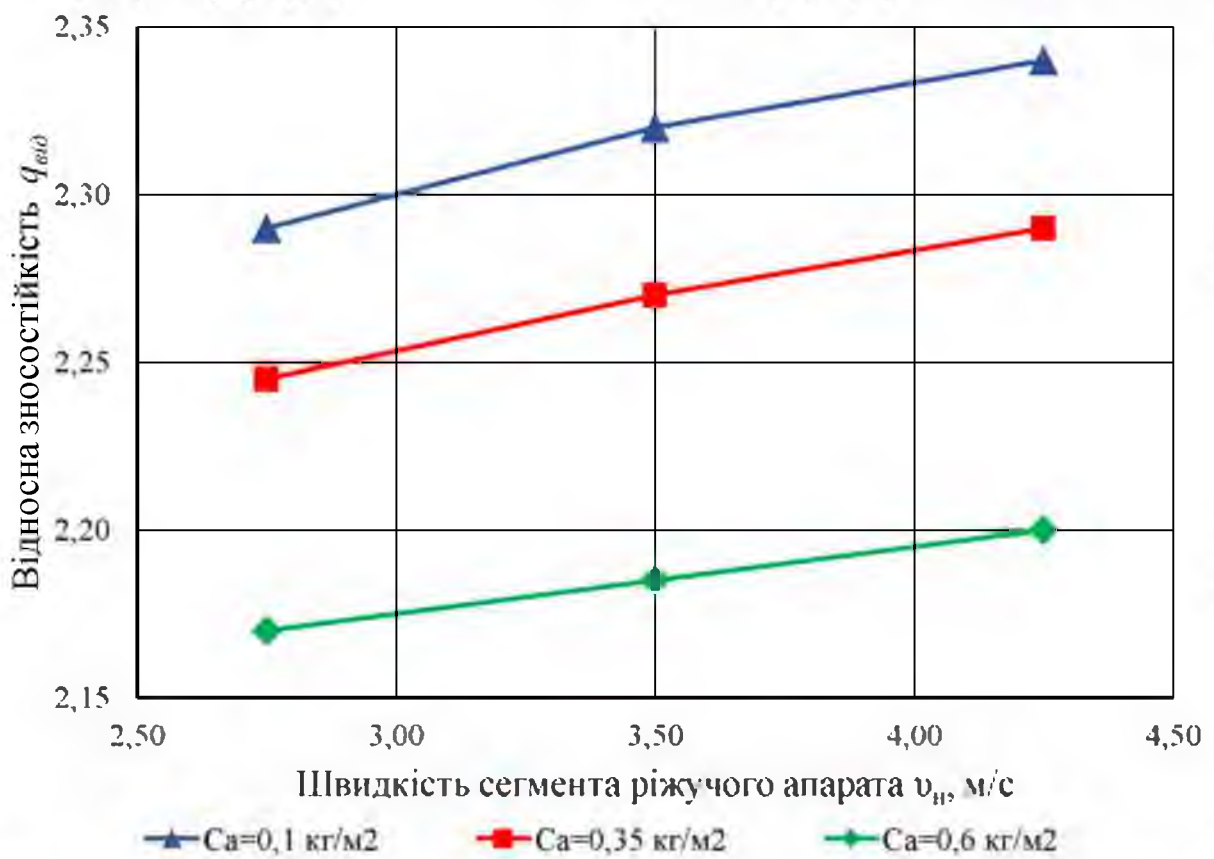
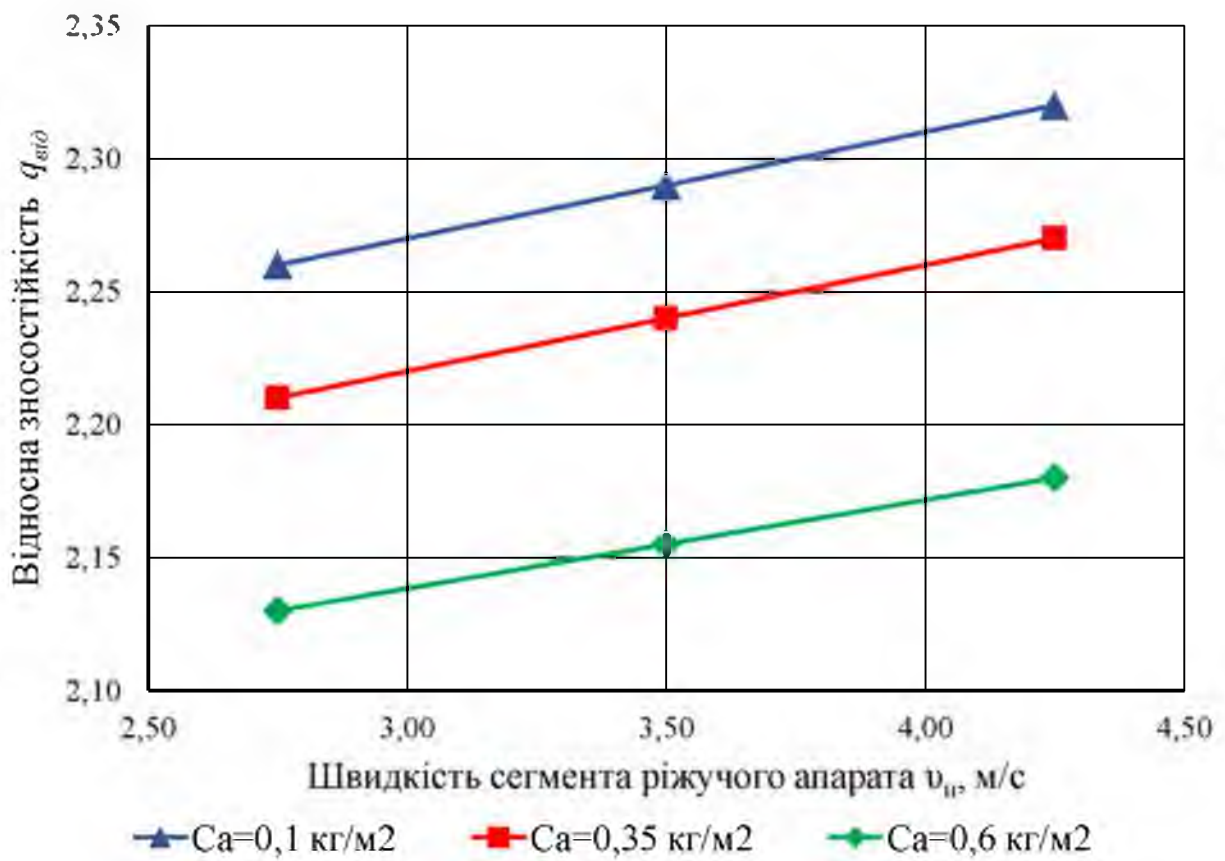


a)

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України



в)

Рисунок 4.5 - Залежність відносної зносостійкості від абсолютної швидкості

переміщення сегмента M_n .

а) значення $q_{від}$ при $P_z \in 10H$; б) значення $q_{від}$ при $P_z = 20H$;
в) значення $q_{від}$ при $P_z = 30H$.

В інтервалі концентрацій від 0,35 до 0,6 кг/м² за тих же значень параметрів відбувається зниження темпу зростання швидкості зношування стандартних сегментів. При цьому у досліджуваних зразків значення швидкості зношування збільшується до 1,19 мкм/год та 2,64 мкм/год, а значення коефіцієнта $q_{від}$ становить 2,21. Це тим, що зі збільшенням концентрації абразиву у зоні тертя відбувається його перенасичення, тобто, величина концентрації досягає граничного значення, що не має значного впливу на швидкість зносу. За інших чисельних значеннях критеріїв оптимізації швидкість зносу має аналогічні характеристики коефіцієнт $q_{від}$. Слід зазначити, що значення швидкості зношування експериментальних сегментів менше, ніж у стандартних зразків, внаслідок наявності зносостійкого покриття.

Таким чином, нанесення тонкоплівкового покриття на робочу поверхню леза забезпечує зниження швидкості зношування в 2,1...2,4 рази.

4.3 Результати порівняльних випробувань експериментальних та стандартних сегментів на раптову відмову

Для визначення характеру руйнування модернізованих та стандартних сегментів при раптовій відмові були проведені їх випробування. Досліджувані зразки кріпилися до фрагмента ножової днії встановленої на лабораторній установці. Випробовували 10 стандартних сегментів різального апарату і 10 експериментальних, які мають просічки.

Результати експерименту показали, що експериментальні сегменти при раптовій відмові повністю руйнуються в основі, а стандартні зразки деформуються (рисунок 4.6).



а)



б)

Рисунок 4.6 – Результати випробувань сегментів ріжучого апарату:
а) стандартний сегмент; б) експериментальний сегмент

Руйнування твердого матеріалу починається із зародження тріщини та її подальшого розвитку, яке, у свою чергу, визначається наявністю дефектів, внутрішньою будовою та властивостями матеріалу [18, 61]. У стандартних зразків місце утворення тріщини та напрямок її розвитку не завжди і залежить від області, на яку потрапляє пере шкода. Також внаслідок того, що лезо має твердість 50...55 HRC, а серцевина 30...35 HRC, у країв сегмента відбувається тендітний злам, а в середній частині пластична деформація. Зародження та розвиток тріщини в

експериментальних сегментів відбувалося біля основи та не залежало від місця попадання перешкоди. При цьому завжди мала місце довге руйнування матеріалу сегмента.

Слід зазначити, що в ході проведення випробувань сегментів, крім руйнування сегментів, відбувалося пошкодження елементів пальцевого бруса. Так, при дослідженні стандартних зразків внаслідок поломки верхньої частини пера, викликаної багаторазовими ударними навантаженнями, був замінений один палець. При випробуваннях експериментальних сегментів також відбувалися пошкодження елементів пальцевого бруса, але вони були не значними і ліквідувалися рихтуванням.

Порівняльний аналіз отриманих результатів показав, що зусилля переміщення ножової смуги зі встановленими на ній експериментальними сегментами на 10% менше, ніж зі стандартними.

Таким чином, запропонована конструкція експериментальних сегментів дозволяють їм, при попаданні в зону різання сторонніх предметів, повністю зруйнуватися, знижуючи цим наслідки раптової відмови. При цьому просічки забезпечують зниження його маси і як наслідок сприяють зменшенню зусилля переміщення ножової смуги, що в кінцевому підсумку підвищить ефективність роботи збиральної техніки.

4.4 Визначення ресурсу стандартних та експериментальних сегментів ріжучого апарату

Нанесення тонкоплівкового зносостійкого покриття на потиличну частину леза забезпечує ефект самозаточування, оскільки співвідношення $1:14$ твердості основного металу (587 HV) та захисного шару (1400 HV) становить 2,38 [12]. Тому для експериментальних сегментів приймемо припущення, що до моменту стирання захисного покриття швидкість зносу підкоряється виразу 4.6, а після 4.5

Визначення ресурсу стандартних та експериментальних сегментів різального апарату проводилася за допомогою математичних залежностей швидкості зношування, отриманих у ході проведення багатофакторного експерименту:

$$\gamma_{cm} = 0,99 - 1,72C_a + 0,02P_z + 0,08v_n + 0,09C_aP + 1,02C_a v_n \quad (4.1)$$

$$\gamma_{ek} = 0,52 - 0,64C_a + 0,0084P_z + 0,031v_n + 0,036C_aP + 0,4C_a v_n \quad (4.2)$$

де γ_{cm} і γ_{ek} - швидкість зношування стандартних та експериментальних

сегментів ріжучого апарату відповідно, мкм/год.

При обробці результатів багатofакторного експерименту було встановлено, що у стандартних та експериментальних сегментів ріжучого апарату швидкість зношування має мінімальне значення при мінімальних значеннях критеріїв

оптимізації ($v_n = 2,8 \text{ м/с}$, $P_z = 10 \text{ Н}$ і $C_a = 0,1 \text{ кг/см}^2$), а максимальне при

відповідних максимальних значеннях ($v_n = 4,4 \text{ м/с}$, $P_z = 30 \text{ Н}$), тому розрахунок ресурсу проводиться щодо цих даних.

На підставі отриманих під час обчислення результатів, побудовано модель формування поступової відмови (рисунок 4.8) стандартних та експериментальних сегментів ріжучого апарату.

При мінімальних значеннях нормального тиску P_z , швидкості відносного переміщення сегмента v_n та концентрації абразиву в зоні тертя C_a процес

зношування робочих поверхонь стандартних та експериментальних сегментів

відбуватиметься зі швидкістю γ^{\min} $1,62 \text{ мкм/год}$ та $0,77 \text{ мкм/год}$, що відповідає їх максимальному ресурсу T_{max} рівному 46,8 чи 139 год відповідно.

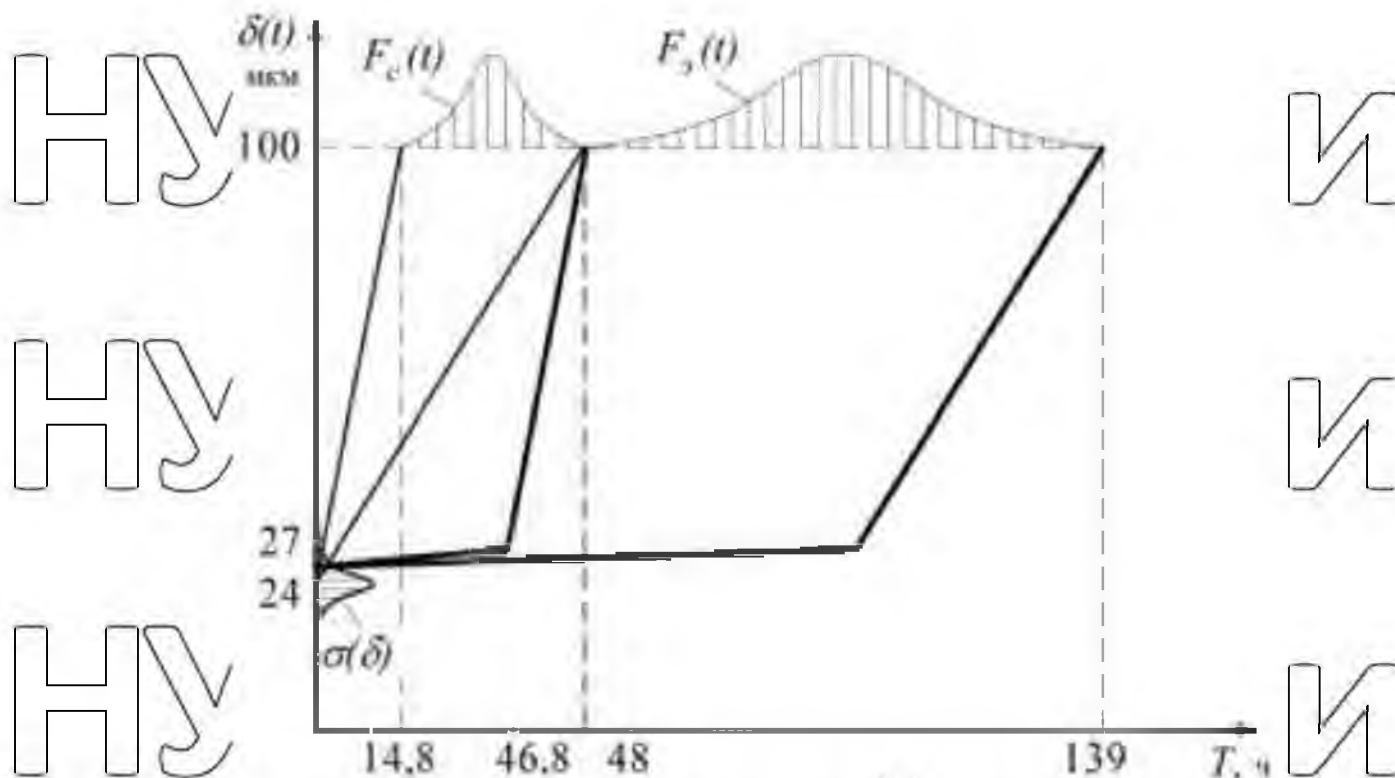


Рисунок 4.8 - Модель формування відмови стандартних та експериментальних сегментів ріжучого апарату

При максимальних значеннях нормального тиску P_n , швидкості відносного переміщення сегмента v_n та концентрації абразиву в зоні тертя C_a швидкість зношування робочих поверхонь стандартних та експериментальних сегментів γ_{test} 5,08 мкм/год та 2,17 мкм/год, що відповідає їх мінімальному ресурсу T_{min} дорівнює 14,8 год і 48 год відповідно.

Таким чином, нанесення тонкоплівкового алмазоподібного покриття на робочі поверхні сегментів ріжучих апаратів забезпечує підвищення ресурсу леза в 2,80...3,24 рази.

Висновки по розділу

1. Дослідження фізико-механічних властивостей сегментів показали, що вітчизняні зразки поступаються імпортним не лише за чисельними значеннями самих параметрів, а й за їх відхиленнями від середнього значення.

2. Проведене комп'ютерне моделювання навантажень, що діють на сегменти під час роботи, показало, що існуючі форми сегментів, з урахуванням їх фізико-

механічних властивостей, не повною мірою відповідають вимогам, які їм пред'являються.

3. На підставі проведених досліджень фізико-механічних властивостей сегментів та комп'ютерного моделювання навантажень, що діють на нього під час роботи, розроблено нову конструкцію сегмента ріжучого апарату.

4. Результати багатофакторного експерименту показали, що інтенсивність зношування експериментальних сегментів у 2,1...2,4 рази нижча порівняно зі стандартними зразками.

5. Стендові випробування експериментальних сегментів різального апарату підтвердили ефективність методу зниження наслідків раптових відмов шляхом модернізації їхньої конструкції. Також було встановлено, що зусилля необхідне переміщення ножової смуги з експериментальними сегментами на 10% нижче, ніж зі стандартними.

6. Експериментально підтверджено математичну модель формування ресурсу сегментів ріжучого апарату, що мають тонкоплівкове покриття. За уточненими експериментальними даними ресурс стандартних зразків складе 14,8...46,8 год, а експериментальних 48...136 год відповідно.

7. Порівняльна оцінка експлуатації стандартних сегментів та експериментальних за показником відносного зниження витрат показала, що у разі виникнення раптових відмов витрати на відновлення працездатності ріжучого апарату обладнаного сегментами запропонованої конструкції на 50,8% нижче.

8. Випробування експериментальних сегментів різального апарату підтвердили ефективність запропонованих рішень щодо підвищення їх надійності.

Зокрема, за напрямом підвищення ресурсу леза було виявлено, що швидкість зношування у модернізованих зразків у 2...2,5 рази нижче, ніж у стандартних. При попаданні в зону різання сторонніх предметів експериментальні сегменти руйнувалися, завдяки просічкам, не зачіпаючи елементи пальцевого бруса, що стояли поруч. Таким чином, нанесення тонкоплівкового алмазоподібного покриття на робочі поверхні сегментів забезпечує підвищення їхнього ресурсу в 2,80...3,24 рази.

РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ

5.1 Розрахунок витрат на модернізацію сегмента ріжучого апарату

5.1.1 Розрахунок вартості механічної обробки сегмента ріжучого

апарату

Для визначення витрат на механічну обробку сегмента, скористаємося поелементним методом розрахунку технологічної собівартості [34, 36], який включає визначення наступних витрат:

$$C_m = S_{\text{заг}} + Z_o + Z_e + A + S_{\text{ін}} + S_e + S_p + I, \quad (5.1)$$

де $S_{\text{заг}}$ - вартість заготівлі, грн.;

Z_o - заробітна плата основних виробничих робітників, грн.;

Z_e - заробітна плата допоміжних робітників, грн.;

A - амортизаційні відрахування на обладнання, грн.;

$S_{\text{ін}}$ - витрати на інструмент, грн.;

S_e - витрати на енергію, грн.;

S_p - Витрата на ремонт та обслуговування обладнання, грн.;

I - інші витрати, грн.

За даними [99], вартість одного сегмента ріжучого апарату $S_{\text{заг}}$ становить 16,32 грн.

За погодинної системи оплати праці, витрати на заробітну плату основних виробничих робітників складуть:

$$Z_o = \mathcal{U}_{\text{став}} \cdot t_{\text{техн}} \cdot (1 + \xi) \cdot (1 + \zeta), \quad (5.2)$$

де $\mathcal{U}_{\text{став}}$ - середня тарифна ставка основних виробничих робітників у цьому технологічному процесі, грн./год;

$t_{\text{техн}}$ - трудомісткість технологічного процесу, год; коефіцієнт, що враховує додаткову оплату, коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальні потреби.

ξ - коефіцієнт, враховуючий додаткову оплату;

ζ - коефіцієнт, враховуючий відрахування на соціальні потреби.

$$Z_o = 41,6 \cdot 0,043 \cdot (1+1) \cdot (1+1) = 7,15 \text{ грн.}$$

Розрахунок фонду заробітної плати допоміжних робітників ведеться так само, як і для основних робітників:

$$Z_o = \sum_i^{m} U_{mi} \cdot P_i \cdot F_p \cdot (1+\alpha) \cdot (1+\beta), \quad (5.3)$$

де m - число тарифних розрядів допоміжних робітників;

U_{mi} - годинна тарифна ставка допоміжного робітника, грн./год;

P_i - кількість допоміжних робітників відповідного розряду;

F_p - фонд робочого дня, год.

$$Z_o = 20,5 \cdot 1 \cdot 1984 \cdot (1+0,4) \cdot (1+0,342) = 76414 \text{ грн.}$$

Витрати на інструмент залежать від його типу (різальний, міряльний, допоміжний і т.д.). Для різального інструменту:

$$S_{ин} = \frac{300 \cdot 1,18 \cdot 0,05}{30 \cdot 1} + \frac{80 \cdot 1,18 \cdot 0,2}{30 \cdot (1+19)} = 0,59$$

Вартість механічної обробки сегмента ріжучого апарату становить 27,68 грн.

Таким чином, використання в ріжучих апаратах жнивних машин сегментів ріжучого апарату пропонованої конструкції дозволяє знизити питомі витрати на 34%, при їх вартості в 2 рази перевищує стандартні зразки. Окупність основних витрат при річному навантаженні комбайна в 200 га та відсутності раптових відмов становитиме 1,46 року, а за їх наявності у разі мінімальних наслідків 1,40 року та за максимальних 0,54 року. Чистий дисконтований прибуток за два роки роботи для перших двох варіантів становитиме 1043,65 грн. та 1149,71 грн. відповідно.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз процесу роботи ріжучого апарату збиральних машин з позиції розгляду його як складної системи, нижчими елементами якої в його ієрархічній схемі є робочі поверхні сегмента, дозволив визначити їх цільове призначення з точки зору підвищення його надійності при поступовому зносі, зниження матеріальних витрат та часу відновлення працездатності при раптових відмовах. Уточнено математичні залежності сил опору при різанні та витрати потужності на привід ріжучого апарату, що дозволяють визначити напрями підвищення його надійності за рахунок збереження параметрів форми та властивостей насічки леза сегмента протягом заданого періоду роботи.

2. Розроблено теоретичну модель підвищення ресурсу сегмента за рахунок формування зносостійкого тонкоплівкового покриття на робочих поверхнях леза, що забезпечує зниження швидкості його зношування та зміни параметрів форми зубів насічки.

Отримано техніко-економічну модель та коефіцієнт відносного зниження витрат на відновлення працездатності ріжучих апаратів збиральних машин при усуненні наслідків раптових відмов.

3. За результатами експериментальних досліджень, сегменти різального апарату, за формою робочих поверхонь леза, умовно поділені на три групи. За збереженням ріжучої здатності та характером розвитку зносу леза, найкращими показниками володіють сегменти третьої групи, насікання яких має вершину зубів у вигляді дуги довжиною $l_{cp} = 0,87 \text{ мм}$, а кути нахилу граней $\varphi_{1cp} = 40^\circ$ і $\varphi_{2cp} = 90^\circ$ відповідно.

4. Встановлено, що швидкість зношування робочої поверхні леза експериментальних сегментів у 2,1...2,4 рази менша, ніж у стандартних зразків. Результати виробничих випробувань показали, що середнє значення ресурсу експериментальних сегментів становить $T_{ек} = 112,3 \text{ год}$, а стандартних $T_{ст} = 46,3 \text{ год}$.

5. Випробування сегментів на раптову відмову підтвердили ефективність запропонованих технічних рішень щодо зниження витрат на відновлення працездатності ріжучого апарату у разі потрапляння до зони різання сторонніх

предметів. Встановлено, що матеріальні витрати під час використання експериментальних сегментів знижуються в 1,96..2,94 рази, а час відновлення працездатності ріжучого апарату на 12..36%.

6. При річному завантаженні зернозбирального комбайна в 200 га використання у його жнивній частині сегментів запропонованої конструкції дозволяє знизити питомі витрати на 34%. Термін окупності додаткових витрат за відсутності раптових відмов становить 1,46 року, а за їх наявності у разі мінімальних наслідків (поломка одного сегмента та пальця) 1,40 року, за максимальних (ушкодження ножової смуги) 0,54 року. Чистий дисконтований прибуток за два роки роботи для перших двох варіантів становитиме 1043,65 грн. та 1149,71 грн. відповідно.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛЬ

1. Конструктивно-технологический анализ новейших зарубежных зерноуборочных комбайнов / под ред. А. А. Корбута. — М.: ЦНИИТЭИ, 1980.

2. Комбайн ДОН и его составные части. Временное руководство по диагностированию. — М., 1987. — 70 с.

3. Оценка эксплуатационной надежности комбайнов «ДОН-1500» / Гараев П. И. и др. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. — 1991. — №11. — С. 42—43.

4. Бойко А.І. Сучасні проблеми забезпечення надійності машин для приготування і роздавання кормів / А.І. Бойко, А.В. Новицький // ХНТУСГ ім. Петра Василенка «Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва». - Харків., Вісник ХНТУСГ, - Випуск 100. - 2010. - с.119-126.

5. Andriy Novitskiy. Аналіз надійності засобів для приготування і роздавання кормів методом дерева відмов / Andriy Novitskiy, Oleksandr Banay // Motrol, motoryzacia i energety karomic twanmotorization and power industry inagriculture. —2011. — Vol. 13B. — С. 117—123.

6. Новицький А.В. Аналіз вітчизняних засобів для приготування і роздавання кормів // А.В. Новицький, Є.С. Карабиньош, В.М. Чміль, О.М. Коморний - Миколаїв: МДАУ, Матеріали УІІ Міжнародної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Перспективна техніка і технології 2012», 2012. — С. 96-101.

7. Новицький А.В. Аналіз відмов і дефектів деталей машин для приготування і роздавання кормів / Новицький А.В., Морозовська З.А. // Збірник наукових праць. — 2011. — № 1. — С. 93-94.

8. Проспект на сеялку Sigma – 5 фірми Sfoggia, Італія, 2011г.

9. Проспект на сеялку Maxima-2 фірми Kuhn, Франція, 2010г.

10. Каталог техніки АІКю, Україна, 2010г. с. 24.

11. Проспект на сеялку Maxima-2 фірми Kuhn, Франція, 2010г.

12. Проспект на сеялку Planter фірми Kuhn, Франція, 2010г.

13. Каталог техніки Агріматко Україна, 2010р. с. 32-35.

14. Проспект на технику фірми Kuhn, 2011г. с. 24-25.

15. Каталог продукції ВАТ «Червона зірка», 2011р. с. 13-17.

16. Гульгяева В.В, Кондратьев Л.Н, Суворова Л.Г. Прямой посев зерновых. // Ж. Механизация и электрификация сельского хозяйства, №5 1986 с. 60-62.

17. 46. Пневматические сеялки точного высева MAXIMA 2, Фирмы KUHN проспект. 2010.

18. 47. Сівалка GASPARDO. Каталог. 2010.

19. 48. Сівалки PIONERA SUPER III. Проспект фірми Агросем. 2010.

20. 49. Универсальная сеялка ULTIMA. Проспект фірми «Kockerling» (Германия). 2010.

21. Бойко А.І. Оцінка ризиків виникнення відмов складної техніки / А.І. Бойко, А.В. Новицький, О.О. Банний // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка – Харків, ХНТУСГ, 2012. – Вип. 122. – С. 241–249.

22. Бойко А.І. Визначення ймовірнісних характеристик функціонування системи «Людина-Машина» // А.І. Бойко, А.В. Новицький, І.С. Харьковський // Тези доповіді, XIII Міжнародна наукова конференція «Сучасні проблеми землеробської механіки», - Вінниця, 2012. – с. 55.

23. Амосов В.В. Универсальный высевающий аппарат. / Современные вопросы механики и технологии машиностроения. // Амосов В.В. Тезисы докладов Всесоюзной конференции (Москва, 20-22 апреля 1986г); Ч. I. М.: ВИНТИ, 1986. - С.109.

24. Амосов В. В. Обґрунтування параметрів універсального висівного апарата для просапних культур автореф. дис. канд. техн. наук. / Амосов В.В. Кіровоград. нац. техн. ун-т. - Кіровоград, 2007. - 19 с.

25. Л.П.Леонтьев. Введение в теорию надежности радиоэлектронной аппаратуры, Из-во АН Латвийской ССР Рига.: 1903.-с.187.

26. Проников А.С. Надежность машин.– М.: Машиностроение, 1978. – 592с.

27. Думенко К. М. Пріоритетні напрямки забезпечення надійності сучасної сільськогосподарської техніки / К. М. Думенко, А. І. Бойко, О. В. Бондаренко // Таврійський науковий вісник. — Херсон: Айлант, 2008. — Вип. 59. — С. 331—334.
28. Думенко К. М. Розрахунок величини залежного допуску. Класифікація деталей за категоріями придатності при незалежних і залежних допусках / К. М. Думенко, Г. О. Іванов, Д. В. Бабенко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. — Крамагорськ, 2007. — № 22. — С. 170—177.
29. Думенко К. М. Особенности распространения нелинейных волн при взаимодействии рабочих органов машин с обрабатываемыми неупругими сплошными средами. Часть 1 / К. М. Думенко, В. С. Ловейкин, Ю. В. Човнюк, Ю. О. Ромасевич, Г. О. Іванов // Вісник аграрної науки Причорномор'я. — Миколаїв: МДАУ, 2008. — Вип. 4(47). — С. 230—238.
30. Думенко К. М. Напрямки вирішення деяких проблем надійності складної сільськогосподарської техніки / К. М. Думенко, А. І. Бойко, О. В. Бондаренко // Таврійський науковий вісник. — Херсон: Айлант, 2009. — Вип. 62. — С. 351—354.
31. Думенко К. М. Особенности распространения нелинейных волн при взаимодействии рабочих органов машин с обрабатываемыми неупругими сплошными средами. Часть 2 / К. М. Думенко, В. С. Ловейкин, Ю. В. Човнюк, Ю. О. Ромасевич // Вісник аграрної науки Причорномор'я. — Миколаїв: МДАУ, 2009. — Вип. 3(50). — С. 234—246.
32. Думенко К. М. Дослідження функції готовності механічних систем при накопичуванні пошкоджень / К. М. Думенко, А. І. Бойко // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій. — Дніропетровськ: Наука і освіта, 2010. — Вип. 14. — С. 72—78.
33. Думенко К. М. Оцінка надійності вітчизняних зернозбиральних комбайнів в залежності від умов і режимів їх експлуатації / К. М. Думенко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ГДАТУ, 2010. — Т. 8, вип. 10. — С. 187—193.

34. Думенко К. М. Динаміка зміни рівня надійності підсистем зернозбиральних комбайнів в нестабільних умовах експлуатації і обслуговування / К. М. Думенко, А. І. Бойко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка і енергетика. — К., 2010. — Вип. 144, ч. 3. — С. 331—348.

35. Думенко К. М. Аналіз основних факторів недостатньої надійності вітчизняної зернозбиральної техніки / К. М. Думенко // MOTROL. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture Polish Academy of Sciences Branch of Lublin Ropczyce School of Engineering and Management. — Lublin, 2010. — Vol. XII. — P. 110—119.

36. Dumenko K. Determination of mechanical systems reliability function at constant increase of refusals intensity / K. Dumenko, A. Boyko, S. Sosnowski // TEKA. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture Polish Academy of Sciences Branch in Lublin. — Lublin, 2010. — Vol. X. — P. 13—18.

37. Думенко К. Н. Аналіз перспектив розвитку високонадежної зерноуборочної техніки в Україні / К. Н. Думенко // Энергосберегающие технологии и технические средства для их обеспечения в сельскохозяйственном производстве: Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, 25-26 авг. 2010 г.: материалы. — Минск, 2010. — С. 69—76.

38. Думенко К. М. Дослідження надійності зернозбиральних комбайнів / К. М. Думенко // Сільськогосподарські машини. — Луцьк: ЛНТУ, 2010. — Вип. 20. — С. 68—78.

39. Думенко К. М. Особенности распространения нелинейных волн при взаимодействии рабочих органов машины с обрабатываемыми неупругими сплошными средами. Часть 3 / К. М. Думенко, В. С. Ловейкин, Ю. В. Човнюк, Ю. О. Ромасевич, // Вісник аграрної науки Причорномор'я. — Миколаїв: МДАУ, 2010. — Вип. 2(53). — С. 269—279.

40. Думенко К. Н. Обеспечение надежности сложной сельскохозяйственной техники принципами моделирования технических систем / К. Н. Думенко // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном

производстве: Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, 19-20 окт. 2010 г. : материалы. — Т.2. — Минск, 2010. — С. 248—255.

41. Думенко К. М. Визначення функцій готовності та відновлення підсистем зернозбиральних комбайнів при їх старінні і зростаючій ефективності сфери сервісного обслуговування / К. М. Думенко, А. І. Бойко // Вісник аграрної науки Причорномор'я. — Миколаїв: МДАУ, 2010. — Вип. 4(57). — С. 219—227.

42. Думенко К. М. Встановлення функції відновлення підсистем зернозбиральних комбайнів в умовах розвитку сфери технічного обслуговування / К. М. Думенко, А. І. Бойко // Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження — Львів, 2010. — Т.1, № 14. — С. 12—20.

43. Думенко К. М. Вплив ефективності сфери технічного обслуговування на встановлення функцій готовності та відновлення зернозбиральної техніки / К. М. Думенко, А. І. Бойко // Техніка і технології АПК. — Вип. 1(16). — 2011. — С. 11—14.

44. Думенко К. М. Загальні засади формування аспектів надійності складної сільськогосподарської техніки / К. М. Думенко // Збірник ХНТУСГ. — Харків: ХНТУСГ, 2011. — Вип. 107, т.1. — С. 265—272.

45. Думенко К. М. Структурне резервування, як перспективний напрямок забезпечення необхідного рівня надійності машин / К. М. Думенко, А. І. Бойко, О. В. Бондаренко // Збірник ХНТУСГ. — Харків: ХНТУСГ, 2011. — Вип. 114. — С. 23—26.

46. Думенко К. М. Моделювання можливих станів технічних систем і їх обслуговуючої сфери методом графів / К. М. Думенко // Методи розв'язання прикладних задач механіки деформівного тіла. — Дніпропетровськ: Ліра, 2011. — Вип. 12. — С. 125—130.

47. Думенко К. М. Дослідження надійності підсистем зернозбирального комбайну / К. М. Думенко, А. І. Бойко // Вісник аграрної науки Причорномор'я. — Миколаїв: МДАУ, 2011. — Вип. 2(59). — С. 186—194.

48. Думенко К. М. Наукові засади формування надійності підсистем зернозбиральних комбайнів / К. М. Думенко, А. І. Бойко, О. В. Бондаренко //

Науковий вісник Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. — Луганськ: ЛНАУ, 2011. — №29. — С. 412—419.

49. Думенко К. М. Нові шляхи підвищення надійності зернозбиральних машин / К. М. Думенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. — Кіровоград: КНТУ, 2011. - Вип. 41, ч.1. - 444 с.

50. Бойко А.І. Структурне резервування, як перспективний напрямок забезпечення необхідного рівня надійності машин / Бойко А.І., Думенко К.М., Бондаренко О.В. // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка – В.№114 Харків 2011р. 23-26ст.

51. Хорунженко В.Е. Оптимизация радиуса дуги пластинчатого сбрасывателя высевающего аппарата пропашных сеялок / Хорунженко В.Е., Амосов В.В., Шинкевич Е.Б. // Теория и методика создания почвообрабатывающих и посевных машин: Сб. науч. Тр. НПО «Лан». – Кіровоград, 1996. – С110-111.

52. Dumenko K. Research on reliability of subsystems of grain harvesting combine / K. Dumenko, A. Boyko // ТЕКА. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture Polish Academy of Sciences Branch in Lublin. — Lublin, 2011. — Vol. XI c. — P. 5—14.

53. Думенко К. М. Використання пар тертя вуглецевих композиційних матеріалів в екстремальних умовах роботи зернозбиральної техніки / К. М. Думенко, О. В. Бондаренко // Вісник аграрної науки Причорномор'я. — Миколаїв: МДАУ, 2011. — Вип. 3(60). — С. 165—170.

54. Думенко К. М. Інтегрований показник ефективності роботи зернозбиральних комбайнів / К. М. Думенко // Вісник аграрної науки Причорномор'я. — Миколаїв: МДАУ, 2011. — Вип. 4(61). — С. 220—224.

55. Ринок сільськогосподарської техніки України широко вітає фірму «Кейс» // Сільськогосподарська техніка. — 1998. — № 5.

56. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування (сільськогосподарська техніка). ДСТУ 4397:2005. — Київ, Держспожив стандарт України, 2005.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України
ДОДАТКИ

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України