

**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет інженерно-технологічний**  
**Кафедра галузевого машинобудування**

Пояснювальна записка

до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»  
на тему: «Підвищення надійності сегментно-пальцевого різального апарату  
збиральних машин»

Виконав: здобувач вищої освіти за  
освітньо-професійною програмою  
Технології і засоби механізації  
сільськогосподарського виробництва  
спеціальності 208 Агроінженерія  
ступеня вищої освіти «*магістр*» групи 4  
Полухович Олександр Васильович  
Керівник: Сайчук О. В.  
Рецензент: Шейченко В. О.

**Полтава – 2021 року**

## ВСТУП

**Актуальність.** Важливим завданням в технологічному процесі скошування зернових культур і трав є проведення робіт в стислі агротехнічні терміни, так як кожний наступний день веде до збільшення втрат біологічного врожаю.

Успішне виконання цього завдання багато в чому визначається наявністю в господарстві необхідної кількості збиральних машин і їх технічним станом.

Понад 60% всієї сільськогосподарської техніки на сьогодні виробила свій ресурс або технічно застаріли [1].

Дослідження надійності зернозбиральних комбайнів [2] показали, що з усіх простоїв техніки, складових 32...35% загального робочого часу, на частку технічних несправностей припадає 17,4 ... 19,8%. 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 жнивну частину, механічні передачі, гідросистеми, робочі органи молотарки, електричні та електронні засоби контролю [2].

У свою чергу, найбільше число несправностей припадає на деталі ріжучого апарату, а саме сегментів, протиріжучих пластин і пальців. Слід відзначити, що поломки протиріжучих пластин і пальців в основному відбуваються в результаті попадання на них сегментів, що деформувалися від попадання в зону різання сторонніх предметів.

Основними несправностями сегментів ріжучого апарату, що викликають відмову збиральної техніки, є знос ріжучої 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 і становлять практичний інтерес.

**Метою роботи** є підвищення надійності сегментно-пальцевого ріжучого апарату збиральних машин.

**Об'єктом дослідження** є робочі поверхні сегмента ріжучого апарату, що визначають його ресурс, і процес руйнування при раптовій відмові.

**Предмет досліджень** – закономірності розвитку зносу робочої поверхні леза сегмента ріжучого апарату і характер його руйнування при виникненні раптової відмови.

**Методика дослідження** передбачає використання теорії ймовірностей і надійності, математичного аналізу та системного підходу, забезпечують аналітичне опис роботи сегмента ріжучого апарату, стандартних методик стендових і експлуатаційних випробувань, а також методів математичної статистики для обробки отриманих результатів.

**Теоретична і практична значущість роботи.** Запропоновані пропозиції забезпечують підвищення ресурсу леза сегмента в 2,8 ... 3,2 рази і зменшують енергоємність процесу різання на 10%, а також знижують наслідки раптової відмови, викликані попаданням в зону різання сторонніх предметів, що скорочує загальний час простою збиральної машини.

## РОЗДІЛ 1

### СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 1.1. Аналіз технічного стану збиральних машин

Важливим завданням в технології збирання є проведення робіт в стислі агротехнічні терміни (7-12 днів), так як кожний 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 1 годину [3], а при заготівлі кормів до втрат в них протеїну до 20% [4]. Успішне виконання цього завдання багато в чому визначається наявністю в господарстві необхідної кількості збиральних машин і їх технічним станом.

Скорочення кількості техніки пояснюється, головним чином, високою вартістю нової та зміною цін на сільськогосподарську і промислову продукцію. Однак, незважаючи на зменшення числа збиральної техніки, навантаження на неї значно зросли. Слід зазначити, що за останні 3 роки спостерігається позитивна динаміка зростання кількості придбаних зернозбиральних комбайнів. При цьому навантаження на одиницю даного виду машин не знижується через збільшення площі посіву зернових, замість яких раніше сіяли кормові культури.

В результаті сформованої тенденції зниження оснащеності сільськогосподарських підприємств технікою і збільшеного на неї навантаження, зростає число відмов машин, що в свою чергу тягне за собою збільшення тривалості та несвоєчасність виконання збиральних робіт і призводить до втрат продукції. Наприклад, із загальних втрат зернових до 54% пов'язано з нестачею і низькою технічною готовністю вже наявних зернозбиральних комбайнів [4].

Зернозбиральний комбайн являє собою складну технічну систему, що складається з великої кількості деталей, вузлів і механізмів. Кожен вузол і

агрегат виконує певні функції в залежності від свого призначення. При цьому одним з основних показників роботи зернозбирального комбайна є його надійність.

Під надійністю технічного засобу розуміється здатність його і його складових частин виконувати задані функції, зберігати в часі значення, параметрів відповідним режимам та умовам їх використання, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання і транспортування [5].

Дослідження надійності зернозбиральних комбайнів [6] показали, що із загальних простоїв техніки, що становлять 32 ... 35% від робочого часу, через технічну несправність припадає 17,4 ... 19,8%. Фактичне напрацювання на відмову у вітчизняних комбайнів знаходиться межах 3 ... 70 год., а коефіцієнт готовності 0,85 ... 0,97 відповідно. Найбільша кількість відмов припадає на живну частину, механічні передачі, гідросистеми, робочі органи молотарки, електричні та електронні засоби контролю (рисунок 1.1).

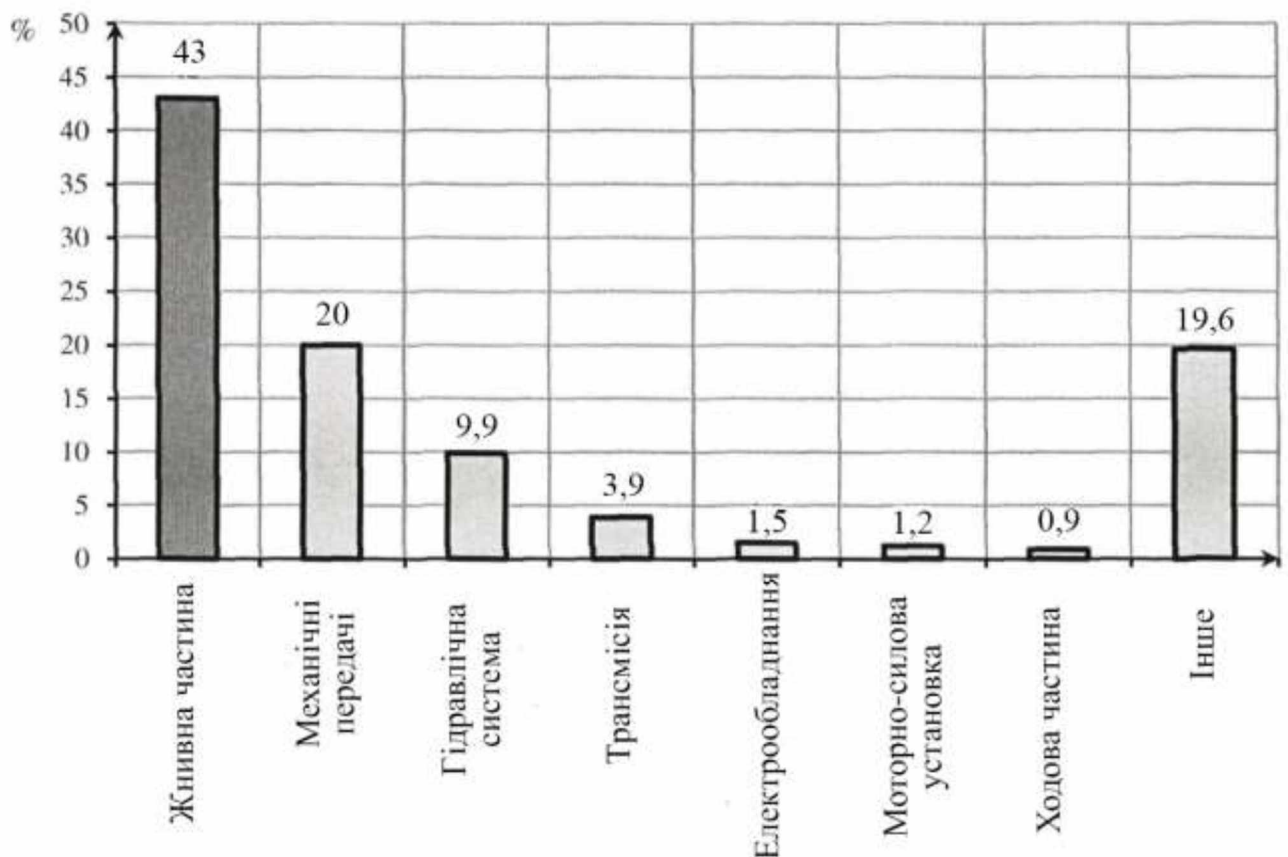


Рисунок 1.1 – Розподіл відмов зернозбирального комбайна

У свою чергу кількісний аналіз відмов жнивної частини показав, що найбільше число несправностей припадає на деталі ріжучого апарату, а саме сегментів, протиріжучих пластин і пальців (рис. 1.2). Слід зазначити, що поломки протиріжучих пластин і пальців в основному відбуваються в результаті насакування на них сегментів, що деформувалися від попадання в зону різання сторонніх предметів.

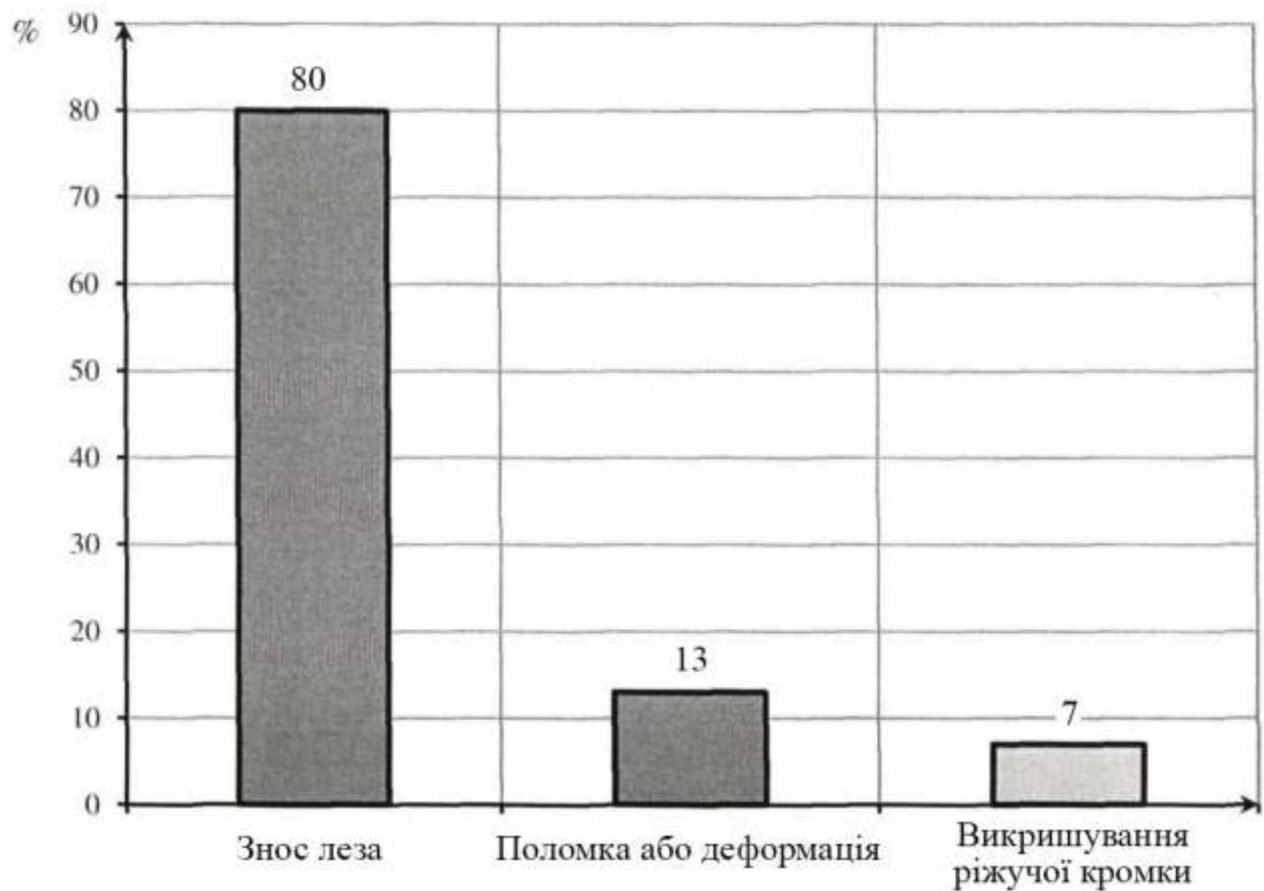
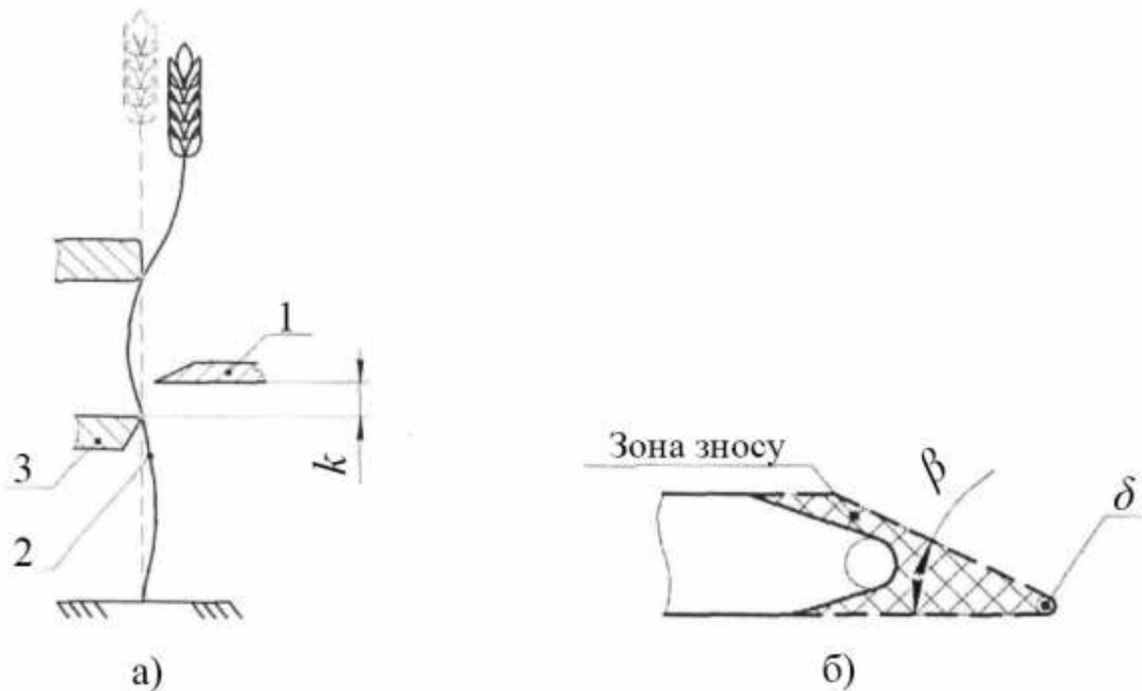


Рисунок 1.2 – Основні види несправності сегмента ріжучого апарату

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

Знос леза сегмента відбувається в основному за рахунок тертя об зрізані стебла рослин (рисунок 1.3). Нижня ріжуча кромка сегмента 1, при

прямому і зворотному ході ножа, взаємодіє зі стернею, і так само з кромкою протирижучої пластини 2. У зв'язку з цим інтенсивність стирання нижньої частини сегмента значно вище, ніж верхній. В результаті зносу змінюються значення гостроти кромки леза  $\delta$  і кута заточування леза  $\beta$ , що призводить до зниження працездатності різального апарату.



а) схема взаємодії леза сегмента зі стеблом рослини: 1 – сегмент; 2 – стебло рослини; 3 – протиризальна пластинка;  $k$  – зазор в різучій парі; б) схема зношування ножа сегмента

Рисунок 1.3 – Схема роботи сегмента різального апарату

При експлуатації збиральної техніки на полеглих хлібах, низькому зрізі і нерівних польових ділянках існує ймовірність потрапляння в зону різання сторонніх предметів. Повернений і відігнутий у вертикальній площині сегмент при зворотно-поступальному русі зустрічає елементи пальця, які руйнують його, руйнуючись при цьому самі. Сегменти ламаються і зриваються зі спинок по заклепкам, протирижучі частини пальця швидко затупляються та іноді викришуються по кромці. Всі ці явища призводять до

збільшення часу простою комбайна на усунення наслідків відмови. При цьому за минулі роки як вітчизняні, так і зарубіжні виробники збиральної техніки не змогли кардинально вирішити проблему запобігання попадання в робочі органи сторонніх предметів, а, отже, і їх захист від аварійних поломок.

Таким чином, аналіз отриманої інформації дозволив визначити, що найбільш «слабкою ланкою» в збиральних машинах є сегмент ріжучого апарату. Тому подальші дослідження в цій області являються актуальними.

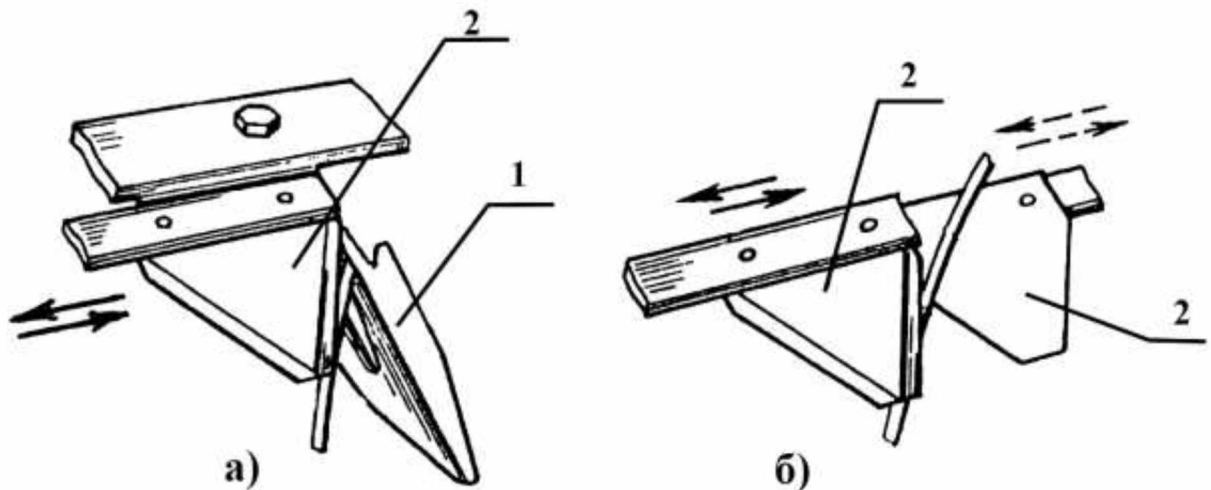
## **1.2. Огляд конструкцій ріжучих апаратів збиральних машин**

В основу класифікації ріжучих апаратів збиральної техніки покладено принцип безпідпiрного і підпiрного різання [7, 8].

Безпідпiрні 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, його відгин обмежується жорсткістю стебла, силою інерцією і частково підпором від сусідніх стебел.

Ріжучі апарати підпiрного різання (рисунок 1.4) бувають сегментно-пальцеві і безпальцеві.

Сегментно-пальцеві ріжучі апарати зрізують рослини при 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 протиріжучої пластини і, защемляючи її в між цих елементів апарату, зрізує. У момент зрізу стебло спирається на протиріжучу пластину і на відросток пальця, тобто на дві опори, що зменшує вигин стебла і тим самим підвищує ймовірність зрізу, особливо тонкостебельних рослин, що мають малу жорсткість.



а) сегментно-пальцевий; б) безпальцевий; 1 – палець; 2 – сегменти  
Рисунок 1.4 – Типи ріжучих апаратів підпірного зрізу:

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

Існують одно- і двоножові апарати: в першому випадку рухливий один ніж, у другому обидва ножа роблять рух, завдяки чому підтримується рівновага машини. Переміщення кожного ножа в такому апараті в два рази менше в порівнянні з різаків, завдяки чому сила інерції має невелике значення. Однак привод у таких апаратів має складну конструкцію.

Залежно від геометричних і кінематичних параметрів сегментно-пальцевих апаратів розрізняють апарати нормального різання з одинарним пробігом ножа, нормального різання з подвійним пробігом ножа, низького різання і апарати середнього різання.

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

Апарат з кроком 76,2 мм застосовують в косарках, жатках для зрізу трав, зернових і технічних культур; з кроком 90 мм – в кормозбиральних та кукурудзозбиральних комбайнах для зрізу товстостебельних культур.

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

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

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

Головним елементом ріжучого апарату, який безпосередньо здійснює зріз рослини, є сегмент (рисунок 1.5, таблиця 1.1).

Вітчизняні та імпорتنі сегменти виготовляються з вуглецевої інструментальної або легованої сталі, у вигляді трапецевидної пластини товщиною  $s = 2 \dots 3$  мм, в залежності від типу ріжучого апарату, в якому вони використовуються. Для збільшення ступеня защемлення стебла і більш якісного зрізу на лезі є насічка. Відстань між зубами насічки залежить від типу культури, при цьому її висота  $h_3$  повинна бути не менше  $0,65$  мм, а кут нахилу по відношенню до леза  $50 \dots 60^\circ$ .

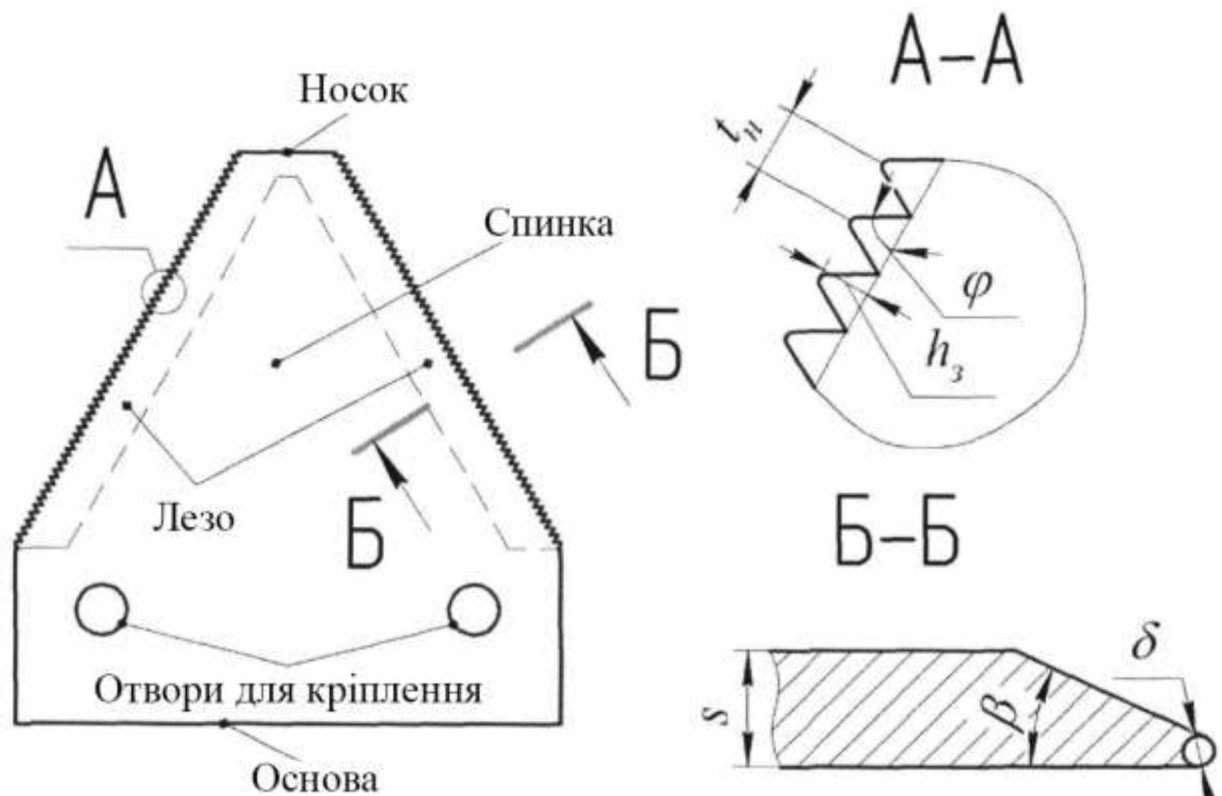


Рисунок 1.5 – Сегмент різального апарату

Таблиця 1.1 – Значення параметрів сегмента

Назва параметру	Значення параметру
Товщина сегмента $s$ , мм	2...3
Твердість загартованої частини (лезо), HRC	50...56
Твердість не загартованою частини (спинка), HRC	до 35
Кут заточування леза $\beta$ , град.	23...28
Гострота кромки леза $\delta$ , мкм	23...27
Крок зубів насічки $t_n$ , 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:	до 0,65
Кут нахилу зуба насічки по відношенню до леза $\varphi_i$ , град.	50...60

Для косіння степових трав, що мають діаметри стебел 0,4 ... 1,15 мм, крок насічки становить  $t_n = 0,1...0,2$  мм, для зернових культур, з діаметром стебел 2 ... 4 мм,  $t_n = 1...1,2$  мм відповідно. Самі зуби насічки являють собою клини з округлою вершиною орієнтовані паралельно основи сегмента або перпендикулярно лезу. Згідно вимог, що пред'являються до технологічного процесу кут загострення сегмента знаходиться в межах  $23...28^\circ$ , а гострота кромки  $\delta = 20...25$  мкм. Лезо піддається загартуванню та відпуску до твердості HRC 50 ... 56 на ширину до 40 мм носка і 10-15 мм по бічних сторонах. Твердість у незагартованої частини не перевищує HRC 35. Поєднання м'якої серцевини і загартованої ріжучої кромки компенсує ударні навантаження, які сприймає сегмент в процесі роботи.

У деяких вітчизняних та імпортованих зразках сегментів є просічки, призначені для зниження маси ножа [9, 10]. В імпортованих зразках вони додатково служать для видалення землі і волокон стебел з пальця [10]. Просічки розташовані біля основи і в спинці тіла сегмента. При цьому слід зазначити, що вони не роблять істотного впливу на міцність сегмента. Для захисту поверхні сегмента від корозії на деяких імпортованих зразках є спеціальні покриття.

### **1.3. Огляд і аналіз існуючих технологій підвищення надійності ріжучих інструментів**

До основних вимог, що пред'являються до сегментів ріжучого апарату, відносяться висока твердість і достатня в'язкість леза, так як втрата ріжучої здатності леза відбувається не тільки внаслідок його зносу, але і в результаті викришування країв [11].

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 в часі свої задані конструктивні параметри. Зносостійкість леза вимірюється часом або обсягом виконаних ним робіт до моменту настання граничного зносу, коли його експлуатація стане неможлива через погіршення технологічних показників (якість обробки поверхні, довжина різання, енергетичні витрати і т.д.). Для сегментів ріжучого апарату граничний знос настає при значенні гостроти кромки леза 100...110 мкм, що відповідає його напрацюванню 3,6 га. На практиці [12], як показують дослідження, ресурс леза сегмента в 1,5...2 рази нижче.

Аналіз теоретичних і експериментальних досліджень методів підвищення надійності ріжучих робочих органів дозволив розробити класифікацію існуючих напрямків, представлену на рис. 1.6.

Вибір оптимальних параметрів різання розглянуті багатьма вченими і представлені в роботах [13]. У них зазначається, що швидкість і товщина матеріалу, що ріжеться шару визначається виходячи з фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу. Для якісного зрізу з найменшими енерговитратами швидкість сегмента повинна знаходитися в межах 3...4 м/с.

Вибір раціональних, з точки зору зносостійкості, параметрів кута заточування і гостроти кромки леза обмежується властивостями оброблюваних продуктів. Для перерізання стебла рослини кут заточування повинен знаходитися в межах 18...23 °, а гострота кромки леза перевищувати 25...27 мкм.

Застосування зносостійких дорогих матеріалів на наш погляд недоцільно, так як тільки лезо в процесі роботи піддається зносу з боку матеріалу, що ріжеться. Тому найбільш вигідно застосовувати спеціальні покриття. Однак використання зносостійких покриттів має ряд обмежень, зумовлених вимогами, що пред'являються до сегментів, головне з яких максимальна товщина ріжучої кромки, вона повинна бути не більше 27 мкм.



Рисунок 1.6 – Схема напрямків підвищення надійності ріжучих робочих органів

Розглянемо найбільш поширені способи нанесення тонкоплівкового зносостійкого покриття.

Метод хіміко-термічної обробки (ХТО). Раніше даний спосіб використовувався для нанесення покриттів на твердосплавні пластини при температурі близько  $1100^{\circ}\text{C}$ . Його перевага – можливість суміщення

технологічних процесів виробництва твердосплавних пластин і нанесення покриття у водневих електропечах безперервної дії. Через низьку ефективність (підвищення періоду стійкості інструменту до 2 разів) і обмеженій області застосування (твердосплавні пластини простої форми) метод ХТО використовується обмежено [14].

Метод іонно-плазмового азотування (ІПА). В даний час він отримав велике поширення для зміцнення, як швидкоріжучого інструменту, так і штампового оснащення, а також деталей машин в умовах серійного і масового виробництва. Даний метод дозволяє насичувати поверхню виробу азотом (азотом і вуглецем) при температурі 450 - 600°C в азотній плазмі. Таке азотування сприяє значному підвищенню зносостійкості і терміну втому. Оптимізація властивостей зміцнюючих поверхонь забезпечується за рахунок необхідного поєднання нітридного і дифузійного шарів, які «врастають» в основний матеріал. Залежно від призначення і умов експлуатації зміцнюючих деталей стійкість інструменту підвищується в 2...8 разів, штампового оснащення – 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 і карбонітридів титану, а також оксиду алюмінію на багатогранні непереточувані твердосплавні пластини і цільні твердосплавні інструменти.

Відмінною особливістю покриттів, отриманих методами ХОП, є формування тонкої перехідної зони між покриттям і основним металом. Наявність цієї зони небажано, так як веде до зниження міцності ріжучого клина. Для зменшення товщини перехідної зони застосовують багат шарові покриття спеціальної конструкції, що мають тонкий нижній шар.

Використання хімічно осаджених покриттів дозволяє підвищити стійкість твердосплавних пластин в 3...10 разів [15]. Покриття по технології 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 (близько  $1000^{\circ}\text{C}$ ), що не дозволяє застосовувати дані методи для зміцнення інструментів зі швидкорізальної сталі; утворення безуглецевого шару на межі основного металу і покриття.

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

Серед методів ФОП найбільшого поширення отримав метод конденсації покриттів з плазмової фази у вакуумі з іонним бомбардуванням поверхні інструменту.

Завдяки застосуванню покриттів, одержуваних за технологією ФОП, досягається підвищення періоду стійкості ріжучих інструментів в 3...10 разів. Дані покриття є найбільш поширеними в інструментальному виробництві, так як використовуються як великими виробниками ріжучих інструментів, а також в інструментальних цехах машинобудівних заводів.

Магнетронно-іонне розпилення (МІР) використовує в якості випаровувача пластину-мішень [16], яка підключена до негативного потенціалу як катод. Під впливом магнітного поля, створюваного постійним магнітом, розташованим за катодом-мішенню, електрони здійснюють рух по циклоїдних траєкторіях у вузькій зоні над мішенню. При цьому ступінь розпилення і щільність іонного потоку збільшується на порядок, в порівнянні з простим розпиленням.

Іонне плакування робочих поверхонь відбувається в результаті випаровування тугоплавкої речовини у вакуумний простір після його розплавлення електронно-променевою гарматою [16] і подачі реакційного

газу в вакуумний простір. Недоліками методу є: низька міцність адгезійного зв'язку покриття та інструментальної основи; низька продуктивність методу, надзвичайно великі витрати на процес; складність процесу [16].

Фінішне плазмове зміцнення (ФПЗ) полягає в нанесенні тонких кремнієвих покриттів (до 3 мкм) в плазмовому середовищі і одночасному плазмовому поверхневому гартуванні. Основні переваги ФПЗ – можливість зміцнення як швидкорізальних, так і твердосплавних інструментів, а також штампів і деталей машин, що працюють в умовах зносу. При цьому досягається підвищення зносостійкості в 2...10 разів залежно від умов застосування [17].

Таким чином, з розглянутих методів нанесення тонкоплівкового зносостійкого покриття, відносно сегментів ріжучого апарату, найбільш вигідним є використання фінішного плазмового зміцнення. Розмір захисного шару, що наноситься таким способом, не перевищує 3 мкм, що в свою чергу не зробить істотного впливу на величину гостроти кромки леза. Додатково досить висока зносостійкість забезпечить підвищення ресурсу леза.

### **Висновки, мета і завдання досліджень**

1. В даний час має місце тенденція скорочення загального числа сільськогосподарських машин і збільшення середнього навантаження на техніку більш ніж в 2 рази. Все це є причиною зниження її надійності і зростання простоїв з технічних причин.

2. Аналіз досліджень підвищення надійності ріжучих робочих органів дозволив визначити, що найбільш вигідним ресурсозберігаючим напрямком є формування поліпшених властивостей робочих поверхонь деталей. Відносно до сегменту ріжучого апарату воно включає в себе визначення оптимальної форми робочої поверхні і її фізико-механічних властивостей.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні завдання дослідження:

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

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

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

- виконати техніко-економічну оцінку ефективності запропонованих рішень.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1. Методика проведення металографічних досліджень

Металографічні дослідження включають в себе ряд операцій, внаслідок яких отримують дані щодо якісного і кількісного складу матеріалу досліджуваного зразка [18].

Металографічний аналіз складається з наступних етапів:

- пробовідбір;
- пробопідготовка
- безпосередньо металографічний аналіз.

Для проведення досліджень були відібрані такі зразки товщиною  $s = 3$  мм.

Пробопідготовка зразків здійснювалася за допомогою спеціального обладнання, що включає в себе відрізний верстат, прес для запресування зразків в шліфи, шліфувально-полірувальний верстат.

Досліджувані зразки сегментів розрізали на абразивно-відрізногому верстаті, який оснащений водяним охолодженням, що дозволяє отримувати поверхню без значних структурних змін. Потім за допомогою преса з вирізаних фрагментів створювалися прес-форми діаметром 40 мм. Отримані шліфи очищалися від поверхневих забруднень, відшліфовували і відполіровували на верстаті. Підготовлена таким чином поверхня піддавалася знежиренню спиртом з наступним хімічним травленням. В якості реактиву для виявлення структури використовувався розчин «Ніталь» (азотна кислота - 5 мл, етиловий спирт - 100 мл). Після чого поверхні шліфа промивалися в спирті і просушували фільтрувальним папером. Якщо характерний

мікрорельєф зразка не проявлявся, то поверхня шліфа піддавалася травленню додатково.

## 2.2. Дослідження геометричних параметрів та властивостей сегментів ріжучого апарату

Сегмент різального апарату має лезо з насічками. Кожен елемент насічки є зуб, для якого основними параметрами є кут загострення  $\beta$  гострота кромки  $\delta$ , кут нахилу грані зуба насічки  $\varphi$ , крок  $t$ , висота  $h$  і радіус заокруглення вершини зуба  $p$  (рисунок 2.1).

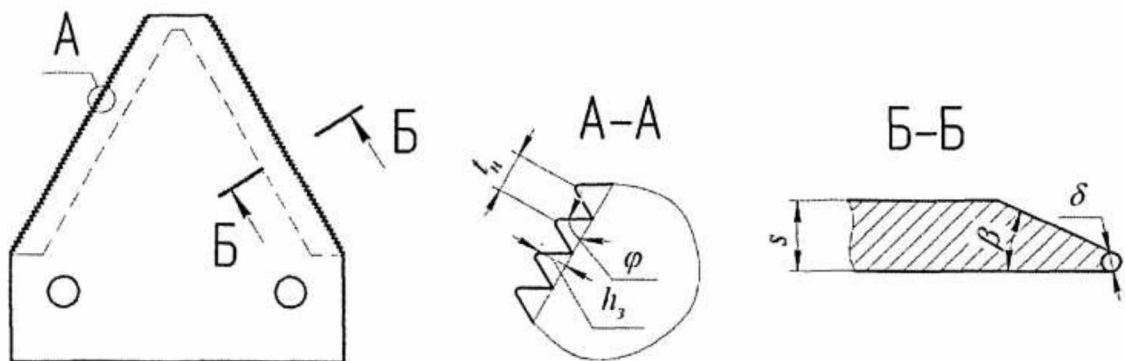


Рисунок 2.1 – Геометричні параметри леза сегмента

Вимірювання кута заточування і гостроти кромки леза проводилися методом зняття відбитків [18]. Сутність даного методу полягає в тому, що досліджуване лезо спеціальним пристосуванням вдавлюється в ребра пластини виготовленої з пластичних матеріалів (рисунок 2.2). Перевагою даного методу є те, що отримані відбитки досить точно відтворюють профіль леза.

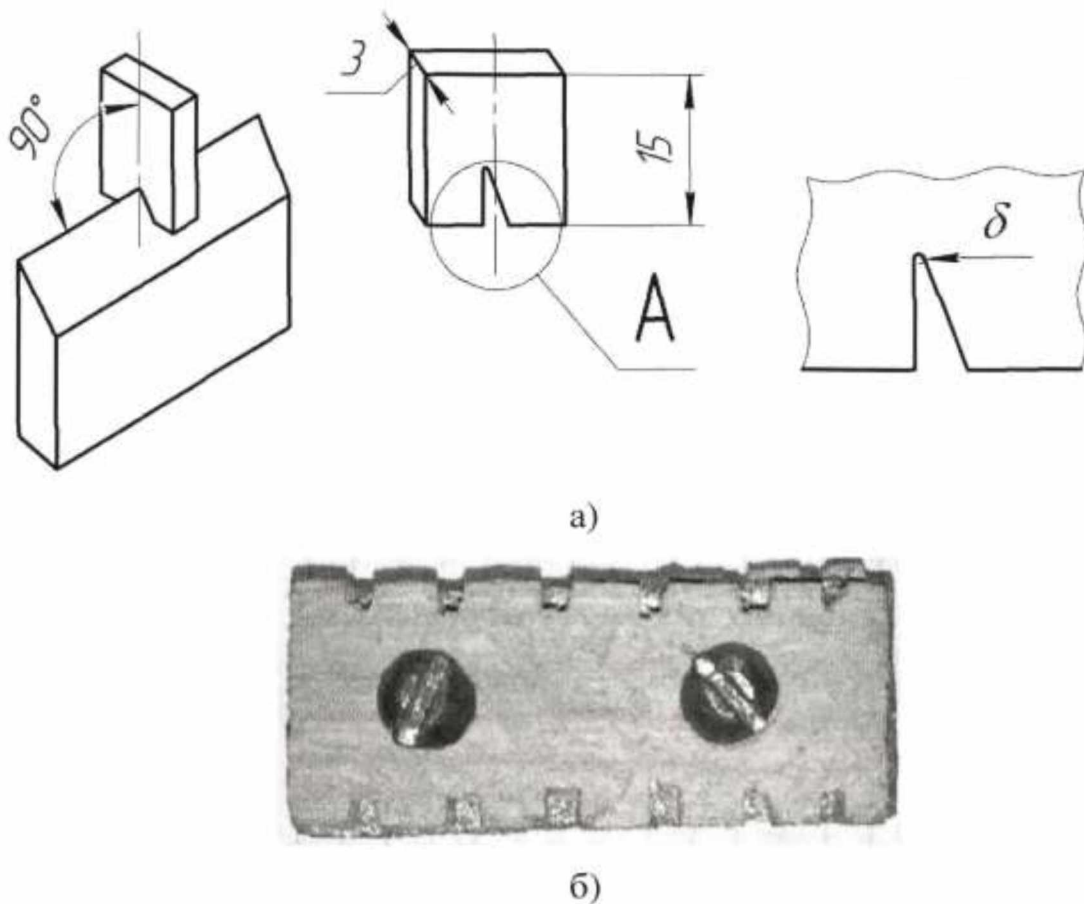


Рисунок 2.2 – Визначення профілю леза методом відбитка: а) схема до визначення гостроти леза методом відбитка; б) пристосування для визначення

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

Значення кроку, висоти насічки, а так само форми зубів визначалися шляхом фотографування профілю леза з подальшою обробкою отриманого зображення на ПК (рис.2.3).

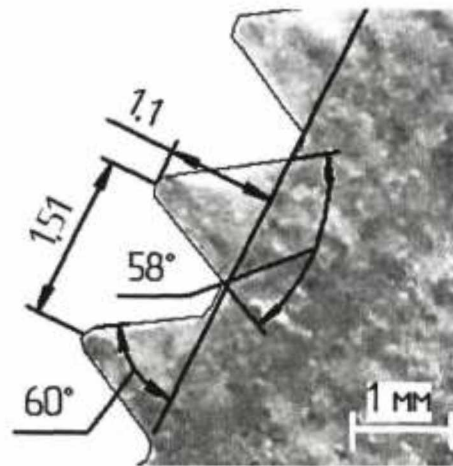


Рисунок 2.3 – Профіль зуба насічки леза сегмента

Аналіз відбитків, отриманих в ході досліджень, здійснювався на металографічному мікроскопі.

Також за допомогою даного мікроскопа і спеціального програмного забезпечення здійснювалося визначення мікротвердості зразка за Вікерсом шляхом вимірювання характеристичних розмірів відбитка, отриманого вдавленням алмазної піраміди в поверхню.

Твердість матеріалу сегмента ріжучого апарату визначалася уздовж леза і вздовж поперечного перерізу (рис. 2.4).

Вимірювання твердості вздовж леза проводилося методом Роквела твєрдоміром моделі HBRV-178.5, який призначений для визначення твердості металів за шкалами HRC, HRA, HRB, і HRV.

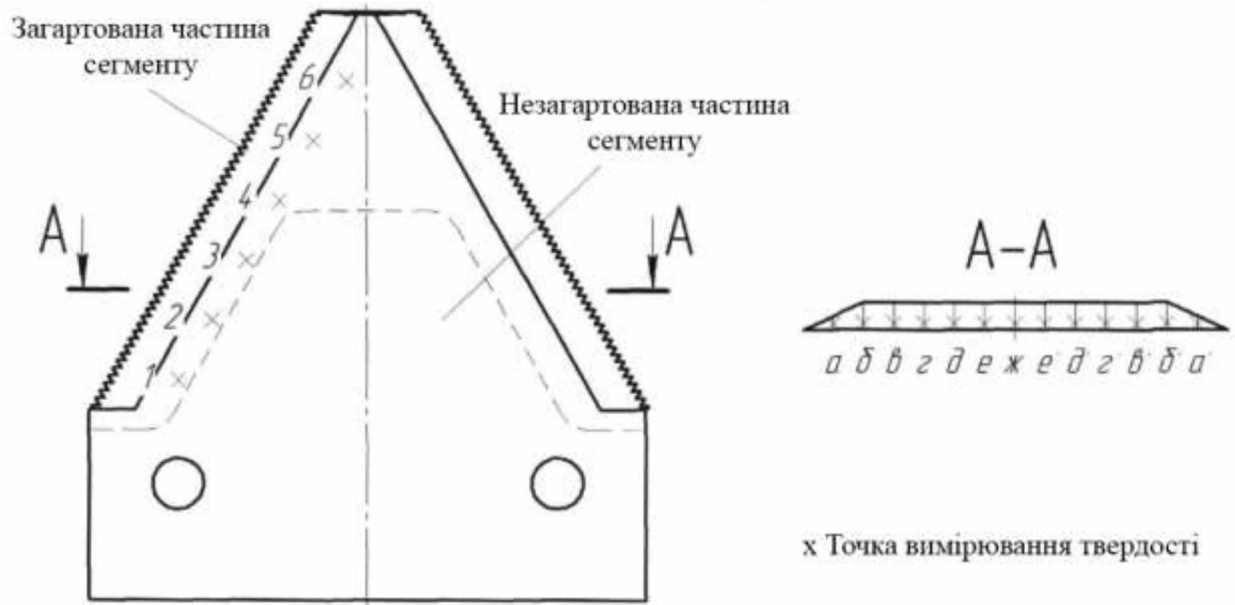


Рисунок 2.4 – Схема вимірювання твердості матеріалу сегмента ріжучого апарату

Для визначення твердості на твердомірі підготовлені зразки сегментів в шліфах поміщалися на столик і затискалися лещатами. Навантаження випробувального зусилля становило 1000 Н, час витримки 15 с. Після проведених дій проводився огляд відбитка. Відстань між точками виміру твердості становив 2 мм.

### 2.3. Методика нанесення зносостійкого покриття на робочу поверхню леза сегмента

Фінішне плазмове зміцнення (ФПЗ) – нова технологія для багаторазового підвищення працездатності інструменту, штампів, прес-форм і деталей машин [18].

Сутність ФПЗ складається в нанесенні зносостійкого покриття з одночасним здійсненням процесу повторного плазмового гартування приповерхневого шару (на глибину декількох мікрметрів). Покриття є продуктом плазмохімічних реакцій реагентів, які пройшли через дуговий

плазмотрон. Загартування 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, утворення на поверхні діелектричного і корозійностійкого покриття з низьким коефіцієнтом теплопровідності, хімічної інертності зі специфічною топографією поверхні [18].

Установка для нанесення тонкоплівкового покриття УФГТУ-111 (рис. 2.5) складається з блоку апаратури з рідинним дозатором для забезпечення газо- і водорозподілення і збудження дуги, плазмотрона з плазмохімічним генератором для створення і стабілізації плазмового струменя, і джерела струму.



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд установки для плазмового нанесення покриттів

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

Зміцненню піддається потилична частина леза на ширину  $h_{\text{Л}} = 8$  мм. Довжина смуги переміщення плазмотрона вздовж різальних кромки становить  $l_{\text{Л}} = 0,120$  м, товщина покриття  $h = 3 \cdot 10^{-6}$  м. Тоді:

$$S_p = h_{\text{Л}} \cdot l_{\text{Л}} = 0,008 \cdot 0,120 = 96 \cdot 10^{-5} \text{ м.} \quad (2.1)$$

Продуктивність нанесення покриття для заданої товщини покриття становить  $P_{\text{п}} = 5$  мм/с, тоді загальний час нанесення покриття становить:

$$t_{\text{нн}} = \frac{S_p}{P_{\text{п}}} = \frac{96 \cdot 10^{-5}}{5 \cdot 10^{-6}} = 192 \text{ с.} \quad (2.2)$$

Приймаємо швидкість переміщення плазмотрона  $v = 4$  мм/с, тоді час одноразового проходу плазмотрона складе:

$$t_{\text{н}} = \frac{S_p}{h_{\text{Л}} \cdot v} = \frac{96 \cdot 10^{-5}}{0,008 \cdot 0,004} = 30 \text{ с.} \quad (2.3)$$

Число проходів плазмотрона:

$$n_{\text{м}} = \frac{t}{t_1} = \frac{192}{30} = 6,4, \text{ приймаємо } 6 \text{ раз.} \quad (2.4)$$

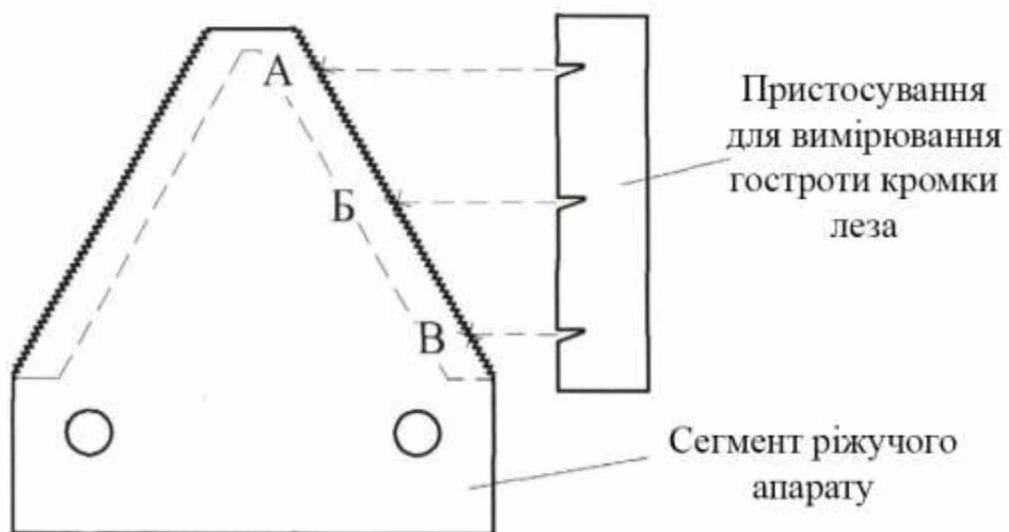
Процес нанесення покриття передбачає періодичне охолодження зміцнюючої поверхні кожні 8...10 с. Таким чином, повний час обробки робочої поверхні леза складе 50 с.

## 2.4. Методика проведення виробничих випробувань

З метою встановлення характеру і динаміки зносу сегментів з покриттям, а також порівняння їх ресурсу зі стандартними зразками, нами були проведені порівняльні дослідження зносостійкості сегментів в рядових умовах експлуатації. На жнивварці комбайна ДОН-1500А, шириною захвату 6 метрів, ніж ріжучого апарату має 78 сегментів, половина з яких була замінена зміцненими. Експериментальні сегменти чергувалися зі стандартними. Спостереження були проведені за період збирання озимої пшениці. Середній виробіток одного комбайна за сезон склав 74 га. Кількість комбайнів, на які були встановлені нові сегменти ріжучого апарату, становила 5 штук.

Спрацювання робочої поверхні сегмента фіксували методом відбитка.

Суть використовуваного методу полягає в тому, що лезо за допомогою спеціального пристосування вдавлюється в ребра свинцевої пластини. При цьому отримані відбитки досить точно відтворюють контур перетину леза. З огляду на те, що лезо зношується нерівномірно по довжині, відбитки знімалися в трьох точках (А, Б і С), на відстані  $A = 20$ ,  $B = 40$  і  $C = 60$  мм від носка сегмента (рисунок 2.6). Зняття відбитків проводилося на початку зміни при проведенні ЩТО комбайнів.



А, Б, В – точки вимірювання гостроти

Рисунок 2.6 – Схема виміру гостроти леза сегмента

Обробка відбитків, отриманих в ході випробувань, здійснювалася за допомогою металографічного мікроскопа. Даний мікроскоп має спеціальне програмне забезпечення, що дозволяє визначати геометричні параметри досліджуваних зразків з високою точністю.

Паралельно, в процесі роботи комбайнів, проводився контроль поломок деталей ріжучого апарату і хронометраж часу усунення наслідків раптових відмов.

Під хронометражем розуміється метод вивчення змісту операції, послідовності їх виконання і вимірювання витрат робочого часу на виконання окремих циклічно повторюваних основних і допоміжних елементів операції [19].

Метою хронометражу є отримання вихідних даних для розробки нормативів часу на елементи ручної і машинно-ручної роботи; встановлення норм часу на окремі операції (головним чином в умовах великосерійного і масового виробництва); перевірки і уточнення норм часу, встановлених методом технічного розрахунку [19].

Хронометражних спостережень проводився в умовах виконання операції робочими, які мають відповідну кваліфікацію, необхідний виробничий стаж, навички у виконанні робіт та обладнання.

У хронометражних спостереженнях брало участь 5 зернозбиральних комбайнів марки ДОН-1500А.

Як початок точки приймався момент часу, в якому збігається закінчення останнього руху попереднього прийому (комплексу) з початком першого руху подальшого прийому операції. Встановлення точок необхідно для правильного виміру тривалості прийомів.

Хронометражних спостережень зводився до вимірювання та фіксації тривалості кожного нормованого елемента операції (руху, прийому або комплексу прийомів). Операції, пов'язані з усуненням несправності сегментів

враховувалися окремо і заносилися в окрему таблицю, де вказувалися всі проведені операції та їх тривалість.

Після закінчення роботи проводилася обробка та аналіз результатів спостереження при хронометражі.

## РОЗДІЛ 3

### РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Аналіз роботи сегментно-пальцевого ріжучого апарату

Сегментно-пальцевий ріжучий апарат призначений для зрізання стебел рослин і входить до складу різних збиральних машин, таких як косарки, самохідні та причіпні комбайни.

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

Відповідно до класифікації технологічних процесів різання відноситься до ключового процесу поділу, а його функціональним призначенням є відділення частини або поділ на частини вихідного матеріалу [20].

Лезо сегмента має насічку клиноподібної форми з округлою вершиною, яка представляє собою напівголку. Кожен зуб насічки, проколюючи шар матеріалу, впроваджується в стебло і розщеплює його, розрізаючи волокна бічними гранями. Процес різання таким лезом відбувається при малій деформації матеріалу [16, 20]. Це обумовлено тим, що на вістрі голки створюються кращі умови для утворення руйнівного контактного напруження, зважаючи на малу площу контакту з поверхнею металу, що розрізає стебла. По мірі зносу такого леза змінюється не тільки гострота, але і параметри насічки, такі як радіус заокруглення вершини зуба і його висота.

При погіршенні даних характеристик, контакт леза з шаром матеріалу відбувається не по точкам дотику зубів зі стеблом, а по лінії (рисунок 3.1).

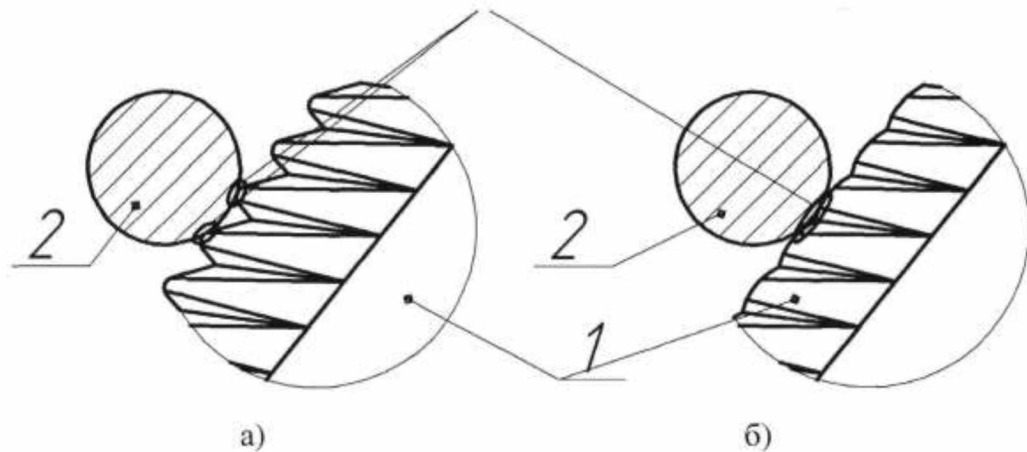


Рисунок 3.1 – Схема контакту леза зі стеблом: а) гостре лезо; б) зношене лезо; 1 – фрагмент леза сегмента; 2 – стебло рослини

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

Іншим фактором, що впливає на якість виконання технологічного процесу різання, є поломка сегмента внаслідок раптової відмови через попадання в зону різання сторонніх предметів.

Таким чином, знос і поломку сегмента можна розглядати як основні причини відмови даної технічної системи при виконанні свого призначення.

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

Для руйнування стебла рослини необхідно затратити певну кількість енергії  $A$ , яка витрачається на руйнування його під кромкою леза  $A_{рез}$  і подолання сил опору  $A_{сжс}$ , що викликаються деформацією рослини [21]:

$$A = A_{рез} + A_{сжс}. \quad (3.1)$$

Перший доданок цього виразу характеризується міцнісними властивостями матеріалу, які оцінюються таким показником як межа міцності  $\sigma_{пр}$ . Межа міцності не залежить від способу впливу на матеріал і параметрів ріжучого інструменту і визначається властивостями самого матеріалу:

$$A_{рез} = f(\sigma_{пр}). \quad (3.2)$$

Другий доданок враховує властивості рослинного матеріалу, параметри ріжучого інструменту і режими роботи:

$$A_{сжс} = f(\delta, \beta, h_{сжс}, h_{сл}, \mu, E, \tau, v_n, k, s_{он}, b). \quad (3.3)$$

де  $\delta$  - гострота кромки леза, м;

$\beta$  - кут заточування леза, град;

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

$h_{сл}$  - товщина металу, що розрізає шар, м;

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

$\mu$  - коефіцієнт Пуассона;

$E$  - модуль пружності матеріалу, МПа;

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

$k$  - зазор між сегментом і протиріжучою пластиною, м;

$v_n$  - швидкість сегмента, м/с;

$s_{от}$  - величина відгинання стебла, м;

$\tau$  - час удару ріжучого інструменту об стебло, с.

Таким чином реалізація процесу різання можлива за умови, що зусилля  $P$ , що прикладене до леза, сприяло б виникненню на його кромці руйнівного контактного напруження, що перевершує межу міцності матеріалу, а саме руйнування відбувалося з мінімальною деформацією матеріалу.

Для перерізування сегментом ріжучого апарату стебла рослини необхідно, щоб він подолав силу опору впровадження ножа в матеріал  $P_{кр}$ , силу опору стебла вигину  $P_{із}$  і силу інерції стебла:

$$P = P_{кр} + P_{із} + P_{C_{ин}}. \quad (3.4)$$

Під час різання стебло рослини спирається на дві опори, верхню частину пальця (опора  $I$ ) і протиріжучу пластину (опора  $II$ ), тому його можна уявити як балку, що вільно лежить на двох опорах [21] (рис. 3.2).

Тоді сила опору вигину стебла визначиться за формулою:

$$P_{із} = \frac{3s_{ом}EJ}{bk^2 \left(1 - \frac{k}{b}\right)^2}. \quad (3.5)$$

де  $J$  - полярний момент інерції поперечного стебла, м.

Згідно з дослідженнями [21], при поглибленні однофаскового леза в шар матеріалу на нього діють сили (рисунок 3.3 і 3.4):



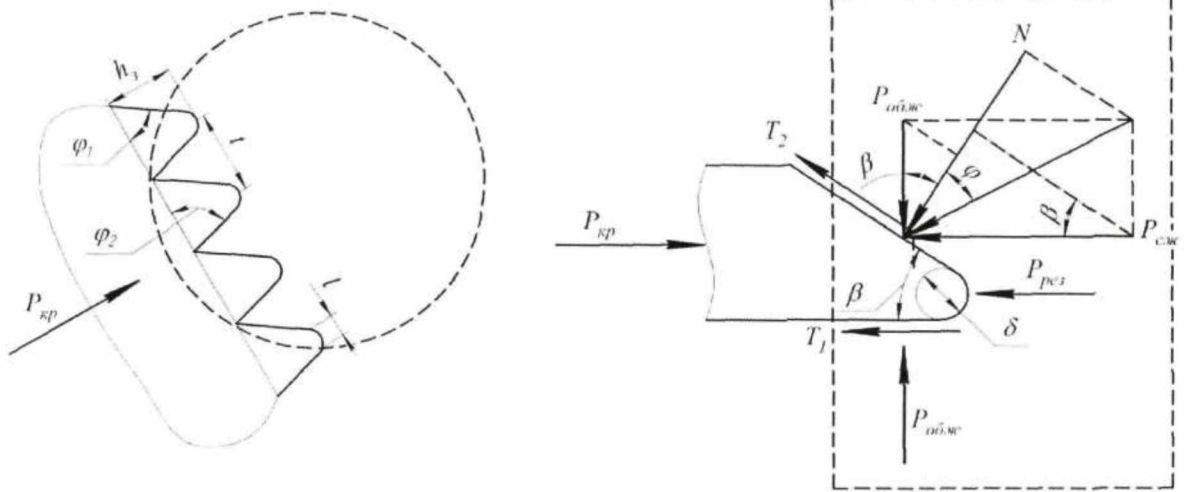


Рисунок 3.3 – Силова взаємодія леза зі стеблом рослини: а) сили, що діють на лезо; б) сили, що діють на фаску леза

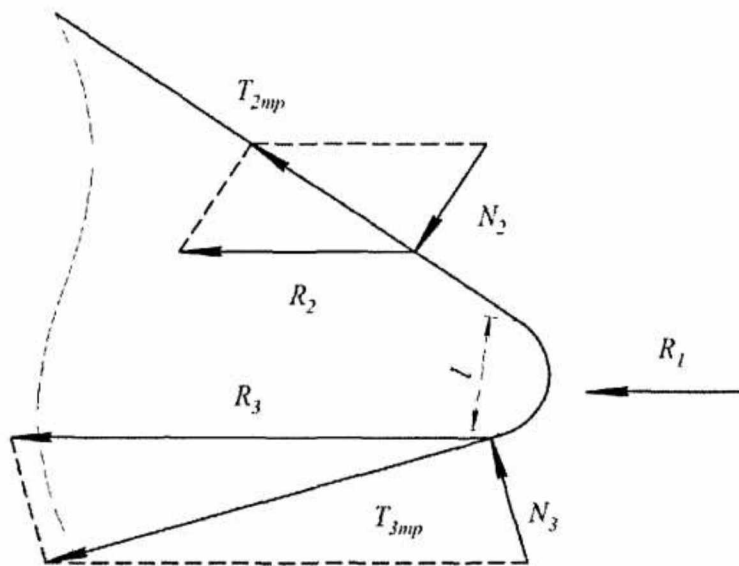


Рисунок 3.4 – Сили, що діють на зуб насічки леза сегмента

У перетвореному вигляді формула (3.6) має вигляд:

$$P_{кр} = l\delta\sigma_p + \frac{E}{2} \cdot \frac{h_{cm}^2 l}{h_c} \left[ \operatorname{tg}\beta + \sin^2 \beta + \mu(f + \cos^2 \beta) \right]. \quad (3.7)$$

де  $\sigma_p$  - руйнівне контактне напруження, Н/м<sup>2</sup>;

$f$  - коефіцієнт тертя перерізаних волокон стебла про межі клину.

Перша частина виразів (3.6 і 3.7) відображає процеси, що відбуваються на кромці леза, а друга на його фасці. З урахуванням того, що лезо сегмента має насічку, величина сили  $P_{риз}$  буде залежати від її геометричних параметрів і числа зубів, що вступають в контакт зі стеблом, останнє визначається діаметром зрізаного стебла  $d_{cm}$  і кроком насічки  $t_n$ .

### 3.2. Модель формування ресурсу сегмента ріжучого апарату

При зносі час безвідмовної роботи сегмента ріжучого апарату визначається величиною гостроти кромки леза, яка впливає на здатність виконання ним свого функціонального призначення. Втрата працездатності сегмента спостерігається при досягненні ним граничного зносу в  $\delta_{зр} = 0,1$  мм [21]. Розглянемо процес відмови леза детально.

Рослинні матеріали у своїй тканині містять кристали кремнезему, а на поверхні і частки кварцу, які надають абразивну дію на матеріал леза. Чим більше таких частинок в стеблі, тим їх більше проходить по поверхнях леза в одиницю часу. При цьому в зоні контакту абразиву з робочою поверхнею леза відбувається руйнування поверхневого шару шляхом його зрізу або відриву. Внаслідок відбувається зменшення ширини передньої поверхні і затуплення ріжучої кромки (рисунок 3.5).

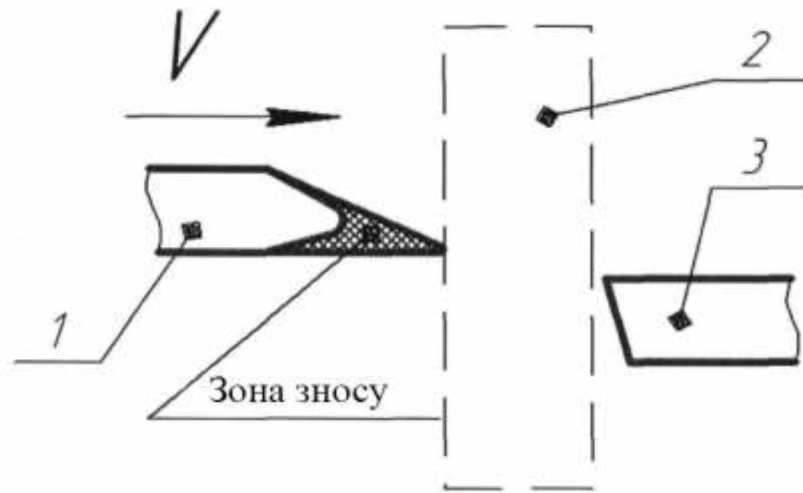


Рисунок 3.5 – Схема зносу сегмента: 1 – сегмент; 2 – стебло; 3 – протиризальна частина пальця

Для визначення інтенсивності протікання процесу зносу розглянемо варіант, коли він лінійно залежить від напрацювання (рис. 3.6) [11].

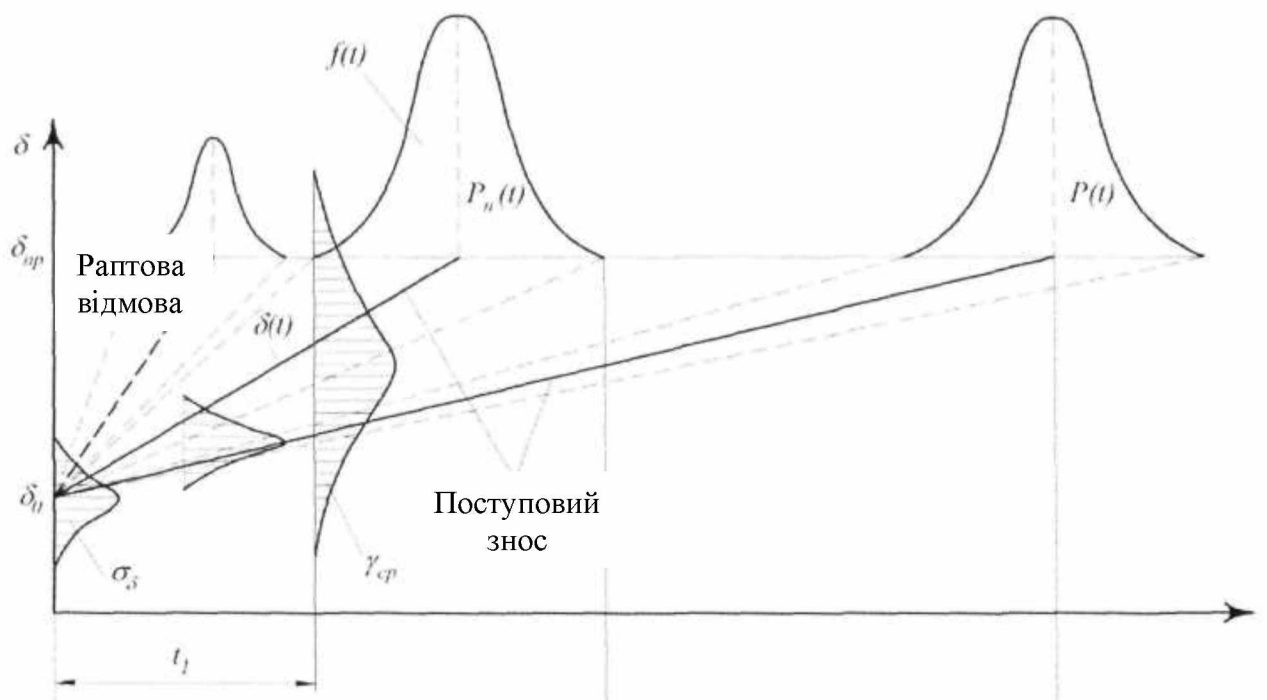


Рисунок 3.6 – Модель формування ресурсу сегмента ріжучого апарату

В цьому випадку знос характеризується прямими, кожна з яких має певну ймовірність реалізації  $\delta(t)$ . Функція  $f(t)$  – щільність розподілу ступеня зносу  $\delta(t)$ . Значення  $t \dots t_i$ , - час роботи сегмента до настання граничного значення гостроти ріжучої кромки. Точки перетину функцією  $\delta(t)$  з граничними значеннями ступеня зносу  $\delta_{ep}$  відповідають моменту відмови. Для поступової відмови характерна монотонно зростаюча інтенсивність, для раптової, швидкий вихід значення основного параметра об'єкта за межі допусків в незалежності від моменту настання і часу спільної роботи. Тоді закономірність зміни гостроти при поступовому зносі визначиться за формулою [11]:

$$\delta_{ep} = \delta_0 + \gamma \cdot t. \quad (3.8)$$

З рівняння видно, що фактором, що визначає технічний стан сегмента, є швидкість зносу  $\gamma$ :

$$\gamma = \frac{\delta_{ep} - \delta_0}{T}. \quad (3.9)$$

Звідки випливає, що для зниження швидкості зносу необхідно забезпечити ресурс сегмента, що дорівнює часу  $T$ . Домогтися вирішення цього завдання, можливо шляхом зміни властивостей робочої поверхні леза нанесенням спеціальних зносостійких покриттів.

### **3.3. Результати досліджень геометричних параметрів лез сегментів ріжучого апарату**

Результати досліджень геометричних параметрів лез сегментів ріжучого апарату представлені на рис. 3.7.

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

До першої групи віднесено зразок I. Його зуби, в площині потиличної частини сегмента, являють собою ряд рівнобедрених трикутників перпендикулярних лезу з кутом нахилу ( $\varphi_{cp} = 60^\circ$ ) і висотою зубів  $h_{зcp} = 0,98$  мм (рис. 3.7, а). Така форма насічки леза призводить до швидкого зносу вершини зубів, що, в свою чергу, викликає збільшення опору різанню.

До другої групи включені зразки II і III. Насічка у цієї групи сегментів є клини, вістря яких спрямоване у напрямку переміщення сегмента щодо пластини. Висота зубів становить 1,20 мм з кутами нахилу бічних граней  $40^\circ$ , що сприяє меншому зносу вершини зубів, при взаємодії леза зі стеблом рослини (рис. 3.7, б, в).

До третьої групи віднесені зразки IV і V. Їх насічка представляє собою різці з вершиною у вигляді дуги, середня довжина якої становить 0,87 мм, а кути нахилу граней  $40^\circ$  і  $90^\circ$  відповідно. Характер зношування ножа сегментів даної групи аналогічний до попередньої, але завдяки особливій формі вершини зубів, лезо довше зберігає свою ріжучу здатність в порівнянні з іншими формами насічки (рис. 3.7, г, д).

Результати проведеного аналізу геометричних параметрів сегментів ріжучого апарату і обробка експериментальних даних показали, що у всіх досліджуваних зразків значення параметрів відповідають вимогам. Але слід зазначити, що висота зубів у зразків III і V більш ніж в 2 рази перевищує потрібну установку. Запас ріжучої здатності у таких лез буде вище, але і ймовірність викришування насічки також висока. У зразка II зуби мають кут загострення в середньому на  $10^\circ$  менше, ніж у інших сегментів. Така насічка має кращу проникаючу здатність, але і ймовірність її викришування також висока.

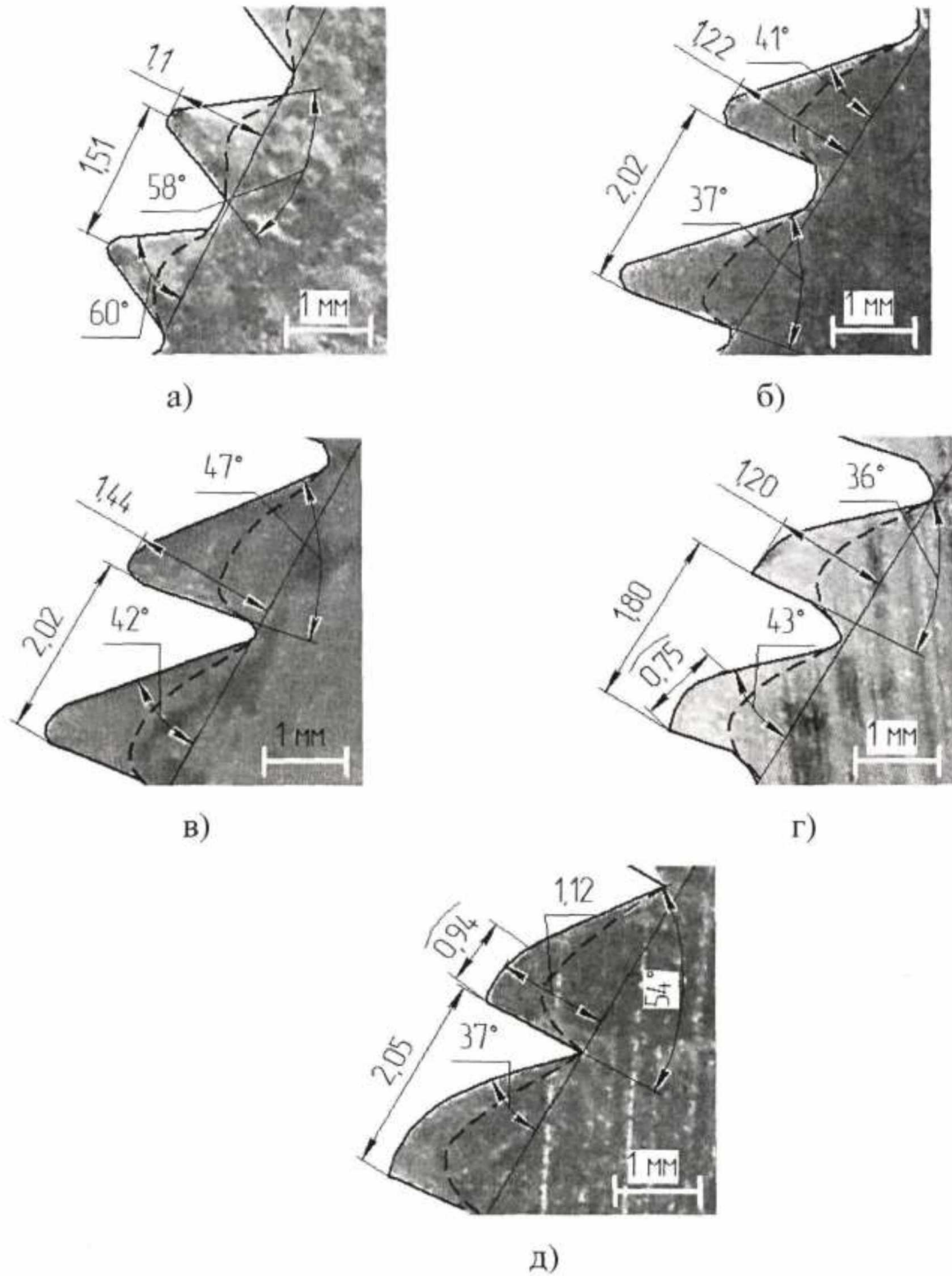


Рисунок 3.7 – Результати досліджень параметрів сегментів ріжучого апарату: контур насічки леза після напрацювання сегмента в 0,76 га а) зразок I; б) зразок II; в) зразок III; г) зразок IV; д) зразок V

Порівняння стандартних полів допусків геометричних параметрів леза з вимірними значеннями, показує, що у сегментів під номером III і IV верхня межа інтервалу розподілу значень гостроти кромки виходить за межі на 50% і 25% відповідно, а у зразка II даний показник має великий діапазон значень з коефіцієнтом варіації  $V = 10,17\%$ . Такі відхилення параметра форми леза можуть привести до його нерівномірного зносу і швидкого виходу з робочого стану.

Таким чином, кращими показниками експлуатаційної надійності володіє зразок V. Наявність округлої вершини на зубах леза із середньою довжиною дуги 1,10 мм і достатня висота насічки 1,12 мм з кутом нахилу  $54^\circ$  дозволяє їм довше зберігати ріжучу здатність і своє функціональне призначення.

### **3.4. Результати досліджень твердості матеріалу сегментів ріжучого апарату**

Результати експерименту по визначенню твердості матеріалу сегментів ріжучого апарату представлені на рис. 3.8.

Для зручності аналізу значення твердості, отримані за методом Віккерса, переведені в шкалу Роквелла, згідно таблиці переведення і порівняння одиниць твердості шкал Віккерса, Роквелла, Брінелля і Шора [22].

Аналіз досліджень показав, що одним з параметрів, що впливають на зносостійкість леза, є твердість матеріалу. Тому коливання її значень буде впливати на рівномірність зносу. Це коливання можна оцінити статистичним показником, таким як коефіцієнт варіації  $V$ . З рисунка видно, що найменшим значенням коефіцієнта варіації твердості вздовж леза мають зразки III і V  $V = 1,3\%$  і  $V = 1,7\%$  відповідно.

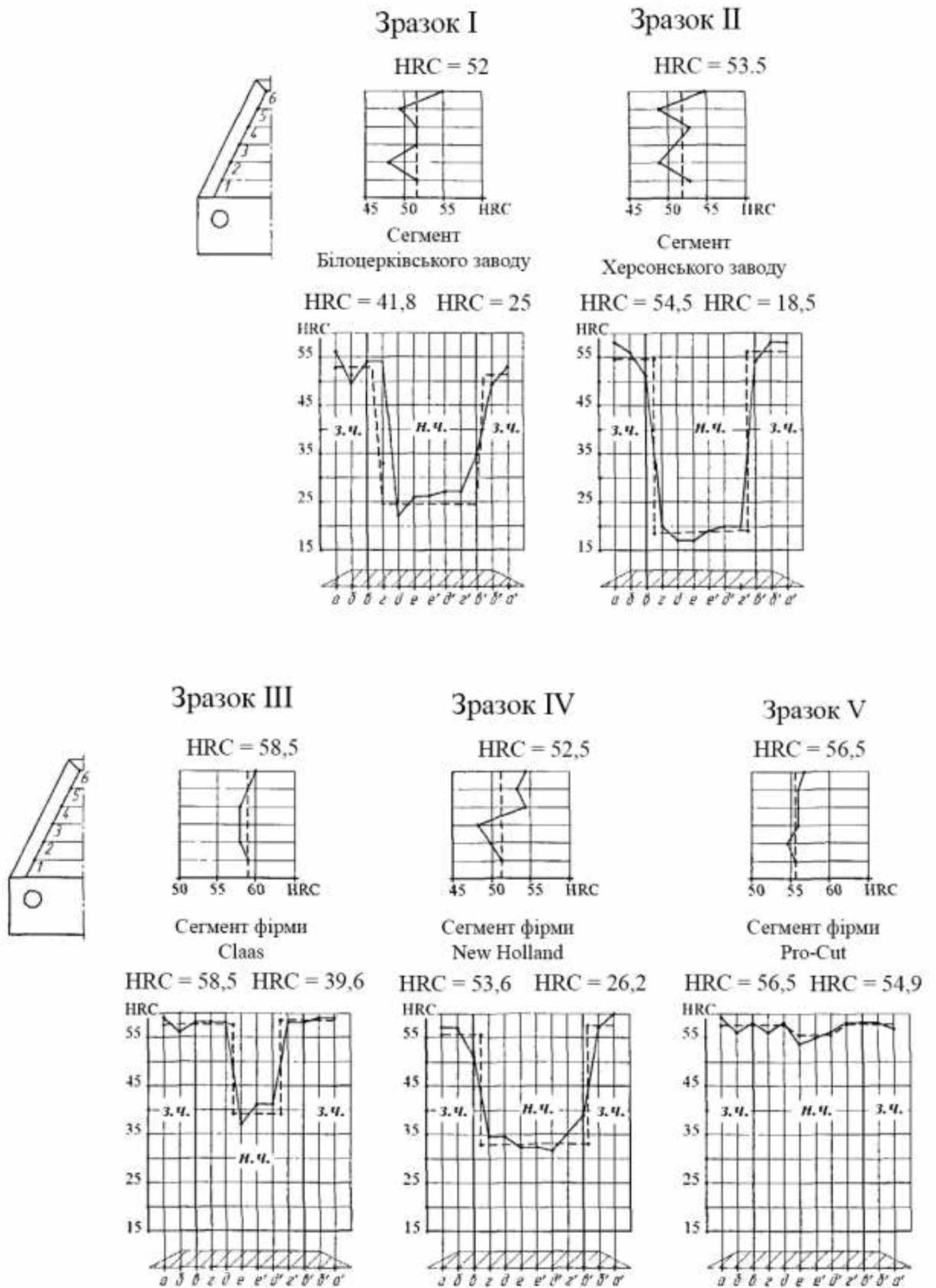


Рисунок 3.8 – Діаграма зміни твердості сегментів по перетинах

Значення їх твердості більш стабільні, у порівнянні з іншими зразками. Вимірювання мікротвердості вздовж поперечного перерізу показало, що твердість в загартованою і незагартованої частини сегмента у зразків I і II практично однакова і має великий розкид значень. Значна різниця в твердості між загартованої частиною і серцевиною сегмента призводить до виникненню напружень на їх межі і знижує експлуатаційну надійність.

Порівняння стандартних полів допусків твердості сегментів за величиною з виміряними значеннями, показує, що суттєвою перевагою володіють імпорتنі сегменти, зразки III і IV. Їх твердість вище необхідних показників і має малі відхилення від середнього значення, на відміну від вітчизняного зразка I. Його загартована частина має розкид значень  $V = 5,2\%$ .

Результати проведеного аналізу основних параметрів сегментів показали, що вітчизняні зразки поступаються імпортним не тільки по чисельним значенням самих параметрів, але і по їх відхилень від середнього значення. Отже, для забезпечення кращої конкурентоспроможності вітчизняної збиральної техніки за показниками надійності та якості виконання технологічного процесу, необхідно забезпечити сталість фізико-механічних і триботехнічних властивостей робочої поверхні сегмента.

### **3.5. Визначення ресурсу сегментів ріжучого апарату**

Нанесення тонкого зносостійкого покриття на потиличну частину леза забезпечує ефект самозагострення, так як співвідношення твердості основного металу (587 HV) і захисного шару (1400 HV) становить 2,38 [22].

На основі отриманих результатів, побудована модель формування поступової відмови (рис. 3.9) сегментів ріжучого апарату.

Період роботи леза сегмента був розділений на дві ділянки (рис. 3.9). Ділянка I характеризується великою швидкістю зміни гостроти леза і обумовлюється його припрацюванням за рахунок згладжування

мікронерівностей ріжучої кромки, що з'явилися в ході загострення при виготовленні.

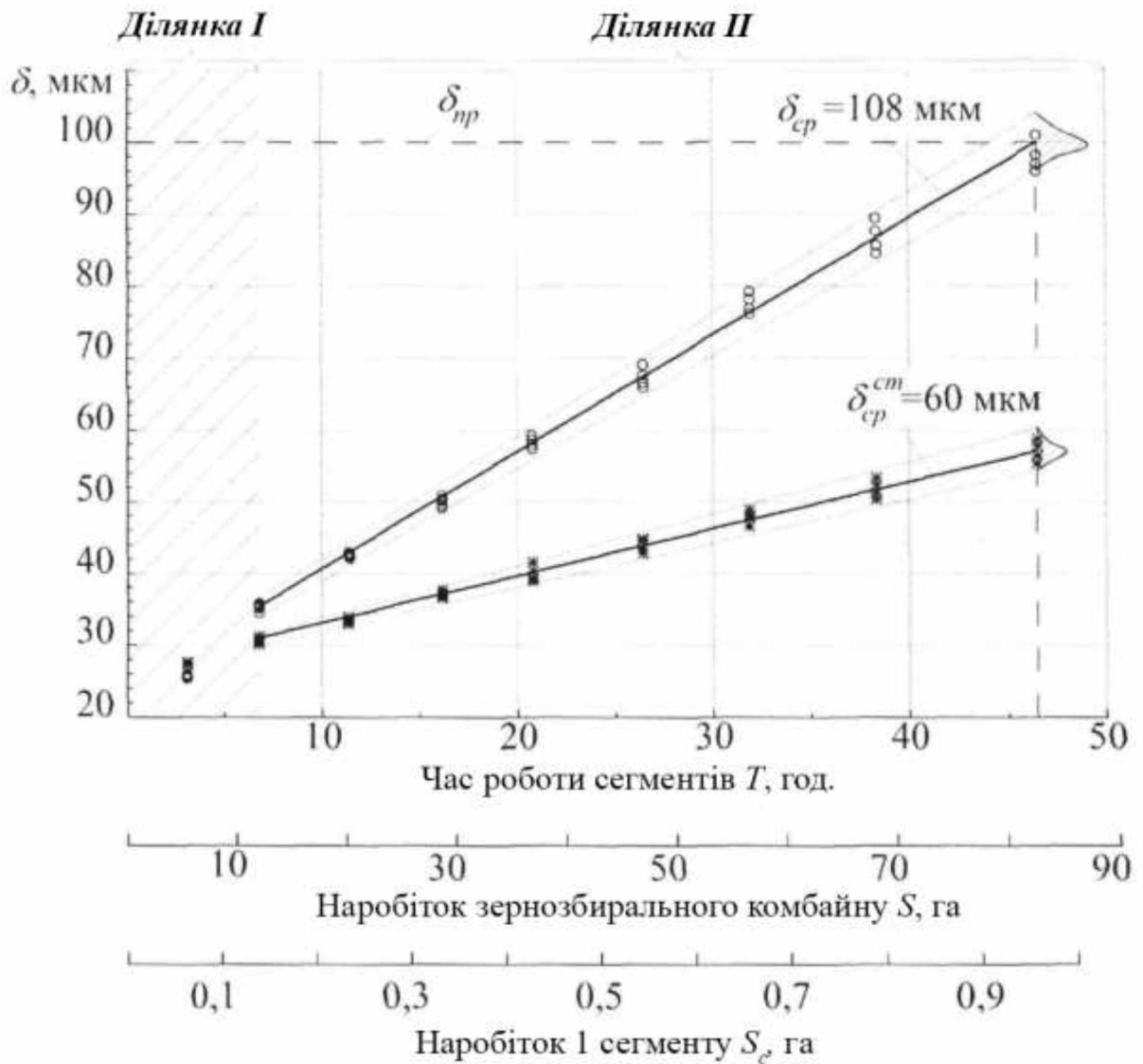


Рисунок 3.9 – Зміна гостроти кромки леза сегмента в залежності від наробітку

На ділянці II інтенсивність зносу зменшується і стабілізується. Це викликано зменшенням напружень, що діють на ріжучу кромку, і характеризується постійною швидкістю зносу. З графіка видно, що гострота кромки леза у стандартних зразків має більш високу інтенсивність

зношування і досягає свого граничного значення після напрацювання 46,3 год., що відповідає напрацювання 0,96 га на один сегмент. У експериментальних сегментів з захисним покриттям гострота кромки спочатку трохи знижується, потім стабілізується.

### **Висновки**

1. За результатами досліджень, сегменти ріжучого апарату, за формою робочих поверхонь леза, умовно розділені на три групи. За збереження ріжучої здатності і характеру зношування ножа, найкращими показниками володіють сегменти третьої групи, насічка яких має вершину зубів у вигляді дуги довжиною 0,87 мм, а кути нахилу граней  $40^\circ$  і  $90^\circ$  відповідно.

2. Встановлено, що при мінімальних значеннях нормального тиску, швидкості відносного переміщення сегмента і концентрації абразиву в зоні тертя процес зношування робочих поверхонь стандартних і експериментальних сегментів буде відбуватися зі швидкістю 1,62 мкм/год. і 0,77 мкм/год., що відповідає їх максимальному ресурсу рівному 46,3 год. і 139 год. відповідно.

## РОЗДІЛ 4

### РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

#### 4.1. Екологічна експертиза розробок

Екологічна експертиза в Україні - вид науково-практичної діяльності спеціально уповноважених державних органів, еколого-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці передпроектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, реалізація і дія яких може негативно впливати або впливає на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, і спрямована на підготовку висновків про відповідність запланованої чи здійснюваної діяльності нормам і вимогам законодавства про охорону навколишнього природного середовища, раціональне використання й відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки.

Метою екологічної експертизи є запобігання негативному впливу антропогенної діяльності на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, а також оцінка ступеня екологічної безпеки господарської діяльності та екологічної ситуації на окремих територіях і об'єктах.

Об'єкти, суб'єкти, види екологічної експертизи висвітленні у законі України «Про екологічну експертизу» (9.02.1995р.) [24].

Екологічна експертиза може бути державна, громадська та інша.

Державна екологічна експертиза проводиться експертними підрозділами чи спеціально створюваними комісіями спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів та його органів на місцях на основі принципів законності, наукової обґрунтованості, комплексності, незалежності, гласності та довгострокового прогнозування.

Для участі в проведенні державної екологічної експертизи можуть залучатися відповідні органи державного управління України, представники науково-дослідних, проектно-конструкторських, інших установ та організацій, вищих навчальних закладів, громадськості, експерти міжнародних організацій.

Висновок державної екологічної експертизи після затвердження спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів є обов'язковим для виконання.

Позитивний висновок державної екологічної експертизи є підставою для відкриття фінансування всіх програм і проектів.

Реалізація програм, проектів і рішень без позитивного висновку державної екологічної експертизи забороняється.

Громадська екологічна експертиза здійснюється незалежними групами спеціалістів з ініціативи громадських об'єднань, а також місцевих органів влади за рахунок їх власних коштів або на громадських засадах.

Громадська екологічна експертиза проводиться незалежно від державної екологічної експертизи.

Висновки громадської екологічної експертизи можуть враховуватися органами, які здійснюють державну екологічну експертизу, а також органами, що заінтересовані у реалізації проектних рішень або експлуатують відповідний об'єкт.

Інші екологічні експертизи можуть здійснюватися за ініціативою заінтересованих юридичних і фізичних осіб на договірній основі із спеціалізованими еколого-експертними органами і формуваннями.

Завданням екологічної експертизи є:

а) визначення екологічної безпеки господарювання та іншої діяльності, яка може нині або в майбутньому прямо або посередньо негативно вплинути на стан навколишнього середовища;

б) встановлення відповідності передпроектних, передпланових, проектних та інших рішень вимогам законодавства про охорону навколишнього середовища;

в) оцінка повноти й обґрунтованості передбачуваних заходів щодо охорони навколишнього природного середовища та здоров'я населення, яка здійснюється Міністерством охорони навколишнього природного середовища разом із Міністерством охорони здоров'я України.

## **4.2. Охорона праці**

Охорона праці включає техніку безпеки, що запобігає травматизму, і виробничій санітарії, перешкоджає виникненню захворювань із-за дії шкідливих чинників. Впровадження раціонального комплексу заходів, направлених на поліпшення умов праці, може забезпечити приріст її продуктивності на 15...20%. Структура комплексу заходів наступна.

1. Аналіз стану охорони праці або безпеки технологічного процесу на підприємстві.

2. Розробка організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних заходів щодо поліпшення стану охорони праці.

3. Розробка вимог (інструкцій) з охорони праці при роботі на технологічному (модернізованому) обладнанні або при використанні запропонованого пристосування.

4. Аналіз і оцінка пожежної безпеки підприємства, організація пожежної профілактики (визначення категорії виробництва по пожежній небезпеці, ступені вогнестійкості будівельних конструкцій, обґрунтування первинних засобів і витрати води для гасіння пожежі).

Аналіз стану охорони праці. Його проводять так, щоб можна було визначити передумови для розробки заходів щодо зниження травматизму і поліпшення умов праці.

При аналізі стану охорони праці при організації і технології ремонтно-обслуговуючих робіт враховують наступне:

- дотримання законодавства про режим праці і відпочинку працюючих;
- відповідність організації забезпечення охорони праці вимогам нормативних документів;
- планування заходів щодо охорони праці, виділення і використання грошових і матеріальних коштів на їх виконання;
- відповідність будівлі ремонтно-обслуговуючого підприємства (приміщення виробничої ділянки) вимогам санітарних і будівельних норм і правил;
- можливість появи шкідливих і небезпечних виробничих чинників, основні причини виробничих травм;
- дотримання вимог безпеки при використанні обладнання, вантажопідійомних машин і судин, що працюють під тиском;
- динаміку травматизму і захворюваності;
- санітарно-побутові умови працівників;
- пожежну безпеку (характеристика технологічних процесів по пожежній небезпеці, наявність і готовність первинних і технічних засобів пожежогасіння, дотримання вимог пожежної безпеки, наявність і стан грозозахисних пристроїв і т. п.).

Розробка заходів щодо поліпшення стану охорони праці. Заходи щодо поліпшення стану охорони праці або безпеки технологічних процесів розробляють на основі аналізу. Вони повинні бути конкретними.

Заходами передбачають:

- поліпшення діяльності адміністрації (наймача) з дотримання трудового законодавства і виконання вимог нормативної документації з охорони праці;

- вдосконалення системи навчання працівників охорони праці відповідно до нормативних документів;
- поліпшення контролю і нагляду за дотриманням вимог охорони праці;
- застосування засобів наочної агітації з безпеки праці, поліпшення планування з охорони праці;
- заміну небезпечних технологічних процесів безпечними;
- розробку пристроїв, що забезпечують безпечну експлуатацію технологічного обладнання і систем, забезпечення електробезпеки;
- створення нормального повітряного середовища за рахунок вентиляції і опалювання;
- забезпечення гігієнічних вимог до природного і штучного освітлення;
- зниження рівнів шуму і вібрацій на робочих місцях;
- забезпечення пожежної безпеки;
- створення необхідних санітарно-побутових умов для працівників підприємства.

Для розробки вимог безпеки (інструкції) з охорони праці при експлуатації існуючого, проєктованого або модернізованого устаткування (приспосовування) необхідно спочатку охарактеризувати можливі небезпечні і шкідливі виробничі чинники, які можуть виникнути під час роботи, небезпечні зони, а потім описати методи їх ліквідації. Необхідно також обґрунтувати вимоги до персоналу, який експлуатуватиме обладнання.

Для забезпечення безпечної експлуатації і обслуговування проєктованого устаткування передбачають захисні засоби, блокуючі і гальмівні пристрої, засоби сигналізації, захист від враження електричним струмом і ін. Робоче місце оператора організують з урахуванням вимог ергономіки.

Крім того, при необхідності обґрунтовують санітарно-гігієнічні умови праці на проєктованому обладнанні, передбачають заходи і засоби пожежної безпеки, розробляють інструкцію з техніки безпеки.

Визначення кількості шкідливих виділень у виробничих приміщеннях. Деякі технологічні процеси, що виконуються на ремонтно-обслуговуючих підприємствах, характеризуються виділенням різних забруднень. Тому при проектуванні підприємств в приміщеннях передбачають природну, механічну або змішану вентиляцію. Вентиляційні системи повинні забезпечувати відносну вологість повітря, концентрацію в нім газів, шкідливих виділень в межах, що не перевищують допустимі норми. Якщо виділення забруднень відбувається на окремому технологічному обладнанні (на столі для зварювальних робіт, в наплавлювальній установці, гальванічній ванні і т.д.), влаштовують місцеву вентиляцію у вигляді парасольок, відкосів і т.п. При розсіяному виділенні забруднень в приміщенні передбачають загальнообмінну вентиляцію.

### 4.3. Техніко-економічне обґрунтування досліджень

При відновленні зношених деталей машин сільськогосподарської та автотракторної техніки спочатку необхідно оцінити економічні показники (ефективність) процесу відновлення виробів. Собівартість ремонту і відновлення виробів зазвичай становить близько 15...40% вартості нових виробів [27].

Собівартість нанесення тонкого зносостійкого покриття на сегменти ріжучого апарату розраховується за формулою [28]:

$$C_y = Z_{np} + Z_{ap} + Z_v + Z_{el} + Z_{am}, \quad (4.1)$$

$Z_{np}$  - витрати на препарати Сетол 1 і Сетол 2, що використовуються як вихідні компоненти для отримання зносостійкого покриття, грн./год.;

$Z_{ap}$  - витрати на аргон, застосовуваний в якості плазмоутворюючого і захисного газу в установках для ФПЗ, грн./год.;

$Z_v$  - витрати на воду, що використовується для охолодження плазмотрона установки, грн./год.;

$Z_{ел}$  - витрати на електроенергію, яка витрачається при роботі ФПЗ, грн./год.;

$Z_{ам}$  - витрати на амортизацію установки для ФПЗ, грн./год.

Витрати на препарати Сетол 1 і Сетол 2:

$$Z_{пр} = Z_{сет1} + Z_{сет2}, \quad (4.2)$$

де  $Z_{сет1}$ ,  $Z_{сет2}$  - витрати на препарати Сетол1 і Сетол2 відповідно, грн./год.

В установках для ФПЗ витрата препаратів Сетол 1 і Сетол2 становить 0,5 мл/год. кожного (орієнтовно, при одночасній роботі і коефіцієнті завантаження установки 0,5, витрата препаратів Сетол 1 і Сетол 2 становить по 0,5 л кожного). Загальна вартість препаратів Сетол 1 і Сетол 2 в кількості 0,5 л кожного становить 25 000 грн. Вартість 1 мл препаратів Сетол 1 і Сетол 2 становить 50 грн.

Розрахунок витрат на аргон здійснюється за формулою:

$$Z_{ap} = P_{ap} \cdot C_{ap}, \quad (4.3)$$

де  $P_{ap}$  - витрата аргону в годину, л/год.;

$C_{ap}$  - вартість 1 л аргону, грн.

В установках для ФПЗ витрата аргону становить не більше 5 мл/хв. (300 мл/год.).

$$Z_{ap} = 300 \cdot 0,087 = 263,1 \text{ грн./год.}$$

Розрахунок витрат на воду здійснюється за формулою:

$$Z_6 = Z_{вод} + Z_{зл}, \quad (4.4)$$

де  $Z_{вод}$  - витрати на споживання води при роботі установки для ФПЗ, грн/год;

$Z_{зл}$  - витрати на злив води в каналізацію при роботі установки, грн./год.

$$Z_6 = 3,13 + 3,64 = 6,77 \text{ грн./год.}$$

Витрати на електроенергію визначаються по формулі:

$$Z_{ел} = P_{ел} \cdot C_{ел}, \quad (4.5)$$

де  $P_{ел}$  - споживана потужність установкою ФПЗ на годину, кВт-год;

$C_{ел}$  - вартість 1 кВт електроенергії, грн.

В установках для ФПЗ споживана потужність становить не більше 5 кВт.

$$Z_{ел} = 5 \cdot 2,1 = 10,5 \text{ грн./год.}$$

Норма річних амортизаційних відрахувань становить 20% від вартості обладнання для ФПЗ. Витрати на амортизаційні відрахування на установку для ФПУ при річному фонді часу 2064 годин складають:

$$Z_{ам} = \frac{2002080 \cdot 0,2}{2064} = 194 \text{ грн./год.} \quad (4.5)$$

Собівартість нанесення покриття складе:

$$C_y = 50 + 26,1 + 6,77 + 10,5 + 194 = 287,37 \text{ грн./год.}$$

За одну годину роботи можна обробити 60 сегментів ріжучого апарату, отже, вартість одного зміцнення становить 4,80 грн. Таким чином, з урахуванням механічної обробки, повна вартість експериментального сегмента ріжучого апарату складе 32,48 грн.

У таблиці 4.1 представлені результати техніко-економічної оцінки стандартного і експериментального сегментів ріжучого апарату.

Таблиця 4.1 – Техніко-економічна оцінка сегментів ріжучого апарату

Показники	Стандартний сегмент	Запропонований сегмент
Ціна, грн.	16,32	32,48
Середній ресурс, в годинах	31	93,5
в гектарах	0,64	1,93
Додаткові витрати при раптовому відказу, грн.		
мінімум	222,77	148,78
максимум	3197,7	148,78
Питомі витрати, грн./га		
на один сегмент	65,28	43,15
на одну жатку	5091,84	3365,80

Визначення питомих витрат на використання стандартного і експериментального сегмента зробимо для комбайну ДОН-1500А з шести метровою жнивною частиною при сезонному навантаженні у 200 га. Так як під час роботи машини мають місце раптові відмови ріжучого апарату, розрахунок зробимо для трьох випадків. У першому приймемо, що він

відсутній. У другому його наслідки мінімальні і полягають в поломці одного сегмента і пальця. У третьому для відновлення працездатності жнивної частини машини необхідно замінити косу. Останній випадок раптової відмови характерний для ріжучого апарату з установленими на ножовій смузі стандартними сегментами.

Таким чином, використання в ріжучих апаратах машин сегментів ріжучого апарату пропонованої конструкції дозволяє знизити питомі витрати на 34%, при їх вартості, що в 2 рази перевершує стандартні зразки. Окупність основних витрат при річному навантаженні комбайна в 200 га і відсутності раптових відмов складе 1,46 року.

## 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 і часу відновлення працездатності при раптових відмовах.

2. Уточнено математичні залежності сил опору при різанні, що дозволяють визначити напрямки підвищення його надійності за рахунок збереження параметрів форми і властивостей насічки леза сегмента протягом заданого періоду роботи.

3. За результатами досліджень, сегменти ріжучого апарату, за формою робочих поверхонь леза, умовно розділені на три групи. За збереження ріжучої здатності і характеру зношування ножа, найкращими показниками володіють сегменти третьої групи, насічка яких має вершину зубів у вигляді дуги довжиною 0,87 мм, а кути нахилу граней  $40^\circ$  і  $90^\circ$  відповідно.

4. Встановлено, що при мінімальних значеннях нормального тиску, швидкості відносного переміщення сегмента і концентрації абразиву в зоні тертя процес зношування робочих поверхонь стандартних і експериментальних сегментів буде відбуватися зі швидкістю 1,62 мкм/год. і 0,77 мкм/год., що відповідає їх максимальному ресурсу рівному 46,3 год. і 139 год. відповідно.

5. Використання в ріжучих апаратах машин сегментів ріжучого апарату пропонованої конструкції дозволяє знизити питомі витрати на 34%, при їх вартості, що в 2 рази перевершує стандартні зразки. Окупність основних витрат при річному навантаженні комбайна в 200 га і відсутності раптових відмов складе 1,46 року.