

**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

**Кафедра агроінженерії та автомобільного транспорту**

Пояснювальна записка

до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»  
на тему: «Дослідження властивостей поверхневих шарів деталей  
сільськогосподарської техніки»

Виконав: здобувач вищої освіти за  
освітньо-професійною програмою  
Технології і засоби механізації  
сільськогосподарського виробництва  
спеціальності 208 Агроінженерія  
ступеня вищої освіти «*магістр*»  
групи 208АІмз\_21

Онищенко Ростислав Іванович

Керівник: Лапенко Т. Г.

Рецензент: Шейченко В. О.

**Полтава – 2022 року**

## ВСТУП

В процесі експлуатації машин існує проблема передчасного виходу з ладу їх деталей через зношування, тобто з руйнуванням поверхневого шару. Тому в технологічних процесах відновлення все більше уваги приділяється поверхневому зміцненню, що забезпечує належні параметри якості поверхневого шару.

Відомо ряд досліджень по обґрунтуванню наукових вимог до зміцненого шару [1,2,3]. В роботах вказано на необхідність отримання твердості і залишкових напружень по глибині поверхневого шару, що максимально відповідають експлуатаційним вимогам.

Можливість створення поверхневого шару з рівномірним зміцненням, а також формування поверхневим пластичним деформуванням твердості матеріалу і залишкових напружень до цього часу залишається не до кінця реалізована. Забезпечити цю можливість можна регулюванням режимів обробітку і, відповідно, показників якості поверхневого шару. Одним з основних параметрів режиму обробки при поверхневому пластичному деформуванні (ППД) є параметри, що характеризують зусилля деформування. Всі способи поверхневого пластичного деформування використовують або стичну, або динамічну силу навантаження.

Динамічне навантаження енергетично більш доцільна, оскільки процес деформування відбувається з меншими енергетичними витратами [4]. Тому для отримання зміцненого поверхневого шару з більшим зміцненням і глибиною доцільно використовувати ППД з динамічним навантаженням, тобто з використанням енергії удару.

Однак проблемність успішного застосування динамічних способів ППД закладається в регулювання показників якості поверхневого шару, оскільки при однаковій кінематичній енергії удару, енергія, що витрачається на пластичне деформування, може бути різною [5].

Слід відмітити, що керування процесом динамічного деформування оброблюваної поверхні деталей дозволить значно підвищити коефіцієнт корисної дії процесу і збільшити точність регулювання отриманих показників якості по глибині матеріалу.

Використання статично-імпульсного обробітку (СІО) поверхневим пластичним деформуванням потребує варіювати значеннями ряду параметрів технологічного процесу обробки [6].

Актуальність теми зазначається в розробці технології з вибором технологічного обладнання для зміцнення деталей пластичним деформуванням.

Актуальними є дослідження по визначенню залежностей режимних параметрів пластичного деформування, що забезпечуватимуть зміцнення деталей машин. Тому, розробка зміцнюючої технологій, що призводять до підвищення ресурсу сільськогосподарських машин, є актуальним для агропромислового комплексу України [7].

Мета дослідження. Метою роботи є підвищення довговічності деталей сільськогосподарських машин використанням зміцнюючої технології пластичним деформуванням.

Для досягання мети необхідно вирішити наступні завдання:

- виявити параметри, що найбільш характерні для обробки ППД;
- вибрати основні параметри пластичного деформування поверхні матеріалу відновлювальних деталей;
- дослідити вплив конструктивно-технологічних і технологічних параметрів на показники якості;
- провести оцінку економічної ефективності розробленої технології.

Об'єкт дослідження - технологічний процес зміцнення при відновленні деталей машин пластичним деформуванням, зв'язок процесу з реальними параметрами обробітку.

Предмет дослідження – розробка ефективної технології відновлення деталей машин.

Методика досліджень. Методологічною основою проведених досліджень є оцінка надійності деталей машин при виборі методі і параметрів технологічного процесу для підвищення терміну служби в умовах виробництва і відновлення.

Теоретична та практична значимість. На основі проведених теоретичних і маючих експериментальних досліджень розроблений технологічний процес відновлення деталей машин пластичним деформуванням із зміцненням їх поверхонь.

Розроблена технологія може бути використана для відновлення деталей зернопосадкових машин.

## РОЗДІЛ 1

### СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 1.1. Технології забезпечення якості поверхневого шару деталей

Втрата працездатності деталей машин, як правило, пов'язана із руйнуванням їх поверхневого шару. До числа значних досягнень, що відкривають нові можливості значного підвищення ресурсу машин, відносяться розробки, що пов'язані із дослідженнями про якість поверхневого шару і якості обробітку. Під якістю виробів (продукції) розуміється сукупність властивостей, обумовлених її придатністю задовольняти певним потребам у відповідності до її призначення [8].

Якість поверхневого шару в наш час стає важливим показником технологічного процесу обробки деталей, поряд із продуктивністю. Відповідно, створення конкурентоздатних вітчизняних виробів в усіх галузях народного господарства можливо тільки при забезпеченні потрібних показників якості [9].

Дослідженнями [10, 11, 12, 13] та інших вчених доказаний взаємозв'язок між показниками якості поверхневого шару і його експлуатаційними властивостями. Останні, як правило, характеризуються опором втомлюваності і зносостійкістю.

Для оцінки якості поверхневого шару використовуються показники: хімічний склад, структура, твердість, залишкові напруження, параметри шорсткості [14].

Твердість – одна із основних характеристик стану робочої поверхні. Від значення твердості залежать експлуатаційні властивості деталей.

В залежності від виду і величини зносу матеріалу деталей повинна визначатися глибина поверхневого шару з підвищеною твердістю.

При контактному-втомленому зносі при малій глибині зміцненого шару відбувається збільшення контактних напружень. Низька твердість серцевини матеріалу деталі може привести до підвищення деформації зміцненого шару.

Тому, при контактному навантаженні деталей глибина їх зміцненого шару залежить від твердості серцевини: чим твердість серцевини вища, тим тоншим може бути шар.

Обробка ППД сприяє отриманню більшого ступеню зміцнення матеріалу, що обробляється.

Зміцнення матеріалу поверхні пластичним дозволяє попередити появу втомлюваних тріщин за рахунок зниження порушень його суцільності, а також значно знизити шкідливий вплив зовнішніх дефектів і шорсткості поверхні.

При роботі деталей в умовах втомлення стискаючі залишкові напруження завжди корисні. Загальноприйнятим способом підвищення опору їх втомлення є зміцнення поверхневим пластичним деформуванням.

Мікрогеометрія третьових поверхонь є одним із головних факторів впливу на характеристики тертя і абразивного зносу при роботі деталей машин [15]. Тому основне завдання при обробітці поверхонь заключається в створенні мікрогеометрії, що забезпечує мінімальний знос при припрацюванні. Для цього створюють поверхню із оптимальними параметрами, потрібної форми.

Таким чином, при забезпеченні якості поверхневого шару важливу роль мають способи зміцнення поверхневим пластичним деформуванням. Такий обробіток є одним із найбільш ефективних способів підвищення експлуатаційних властивостей деталей і ресурсу машин. Технологія ППД дозволяє економити вартісні матеріали, відрізняється достатньо високою точністю, стабільністю розмірів і властивостей і забезпечує поступову зміну залишкових напружень і мікротвердості по глибині шару деталі, що оброблюється.

Поверхнево пластичне деформування створює реальні можливості використання як вуглецевих, так і високоміцних сталей для деталей із конструктивними і технологічними концентраторами напружень.

Одним із перспективних напрямків розвитку деформаційного зміцнення є можливість створення епюр твердості і залишкових напружень по глибині поверхневого шару, що максимально відповідають експлуатаційним вимогам.

Для підвищення експлуатаційних властивостей деталей машин можна ефективно використовувати зміцнений поверхневий шар з послідовними ділянками високої і низької твердості – гетерогенної структури, що забезпечує при дії на них циклічних навантажень гальмування тріщини [16].

## 1.2. Технологічні ефективності способів поверхневого пластичного деформування

При обробітку ППД створюються залишкові напруження, які є наслідком одночасної дії деформації і протікаючи при цьому теплових процесів, що викликають нагрівання ділянки деформації.

В інженерній практиці деформівний (наклепаний) шар матеріалу в результаті ППД визначається зміною твердості  $HV$  або мікротвердістю  $H_{\mu}$  по глибині  $h$ . При цьому зміцнення (наклеп) буде дорівнювати:

$$\Delta H_{\mu} = \frac{H_{\mu 2} - H_{\mu 1}}{H_{\mu 1}} 100\%, \quad (1.1)$$

де  $H_{\mu 1}$  - вихідна мікротвердість металу деталі;

$H_{\mu 2}$  - мікротвердість металу після зміцнення.

Твердість може змінюватися по глибині і на деякій відстані від поверхні переходити до вихідної твердості наклепаного металу.

Зміна твердості поверхневого шару матеріалу після поверхневого пластичного деформування залежить, перш за все, від властивостей оброблюваного металу і режимів обробки.

На рис. 1.1 показана зміна твердості вуглецевих сталей при пластичному деформуванні [16].

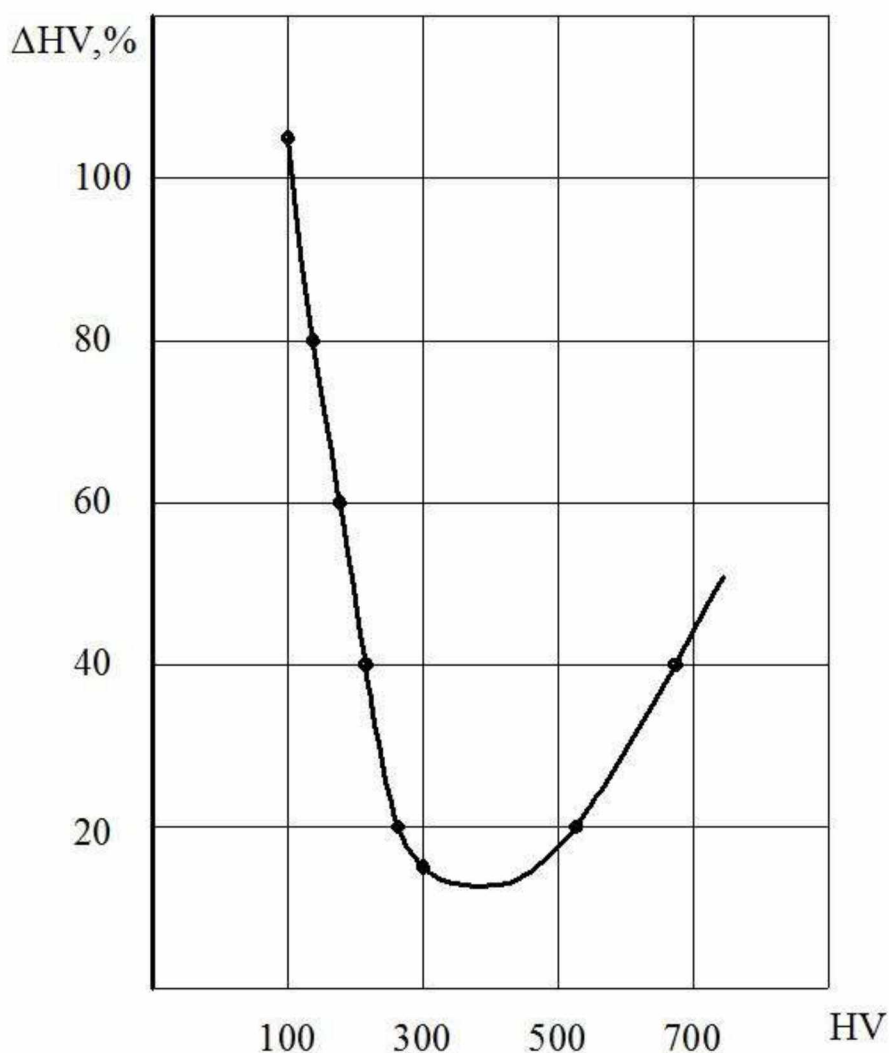


Рисунок 1.1 – Зміна твердості вуглецевих сталей при пластичному деформуванні

Для регулювання значень твердості і залишкових напружень і створення при цьому потрібної структури зміцненого шару потрібно використовувати маючі способи ППД, які дозволяють здійснити розподіл твердості і залишкових напружень по глибині поверхневого шару.

В технологіях машинобудування досить часто використовують наступні способи поверхневого пластичного деформування: обробка роликками (шариками), дернування отворів, волочіння, чеканка, різні види дробоструминного обробітку, зміцнення ультразвуком.

Приведені способи зміцнення, в свою чергу, діляться на статичні (вигладжування, обкатування, розкатування та ін.) і динамічні (різні види дробоструминного обробітку, Ю чеканка, вібраційна обробка та ін.).

При статичному способі здійснюється безперервний і незмінний контакт оброблюваного інструменту з матеріалом деталі, що оброблюється.

При реалізації динамічних способів ППД здійснюється ударний деформаційний вплив на оброблювану поверхню в умовах перервного контакту.

При алмазному вигладжуванні стискаючі залишкові напруження досягають 500...1400 МПа, глибина їх залягання складає 0,15...0,5 мм. Ступінь зміцнення не перевищує 60 %. Зусилля вигладжування невелика, що дозволяє оброблювати практично всі метали. Позитивний вплив алмазного вигладжування в найбільшій мірі здійснюється на сталях з високою поверхневою твердістю [18].

Дорнування, як правило, використовується при оздоблювально-зміцнюючих обробітках поверхні деталі. В залежності від припуску на обробіток (різниця між діаметром дорна і діаметром отвору) розрізняють дорнування при невеликих припусках  $P=0,25$  мм і дорнування з великими припусками  $P=2...4$  мм. Оздоблювально-зміцнююче дорнування в основному призначено для зниження шорсткості поверхонь при невеликому ступеню зміцнення. При дорнуванні з великими натягами зміцнений шар може досягати 5 мм, а ступінь зміцнення 60 % [10].

Обкатування або розкатування кульками (роликами) сприяє деформуванню зміцненого шару глибиною до 2...3 мм, і ступенем зміцнення 50 % із стискаючими залишковими напруженнями в межах 200...500 МПа [19].

При обробці кульками зміцнений шар може досягати до 1...1,5 мм зі ступенем зміцнення 20...40 % і стискаючими залишковими напруженнями 200...300 МПа. Перевагою такого обробітку є можливість зміцнення деталей з гострими кромками.

При ультразвуковому обробітку пластичним деформуванням ступінь зміцнення поверхневого шару глибиною 0,05...0,3 мм досягає 50 %, а стискаючі напруження 1000 МПа [20].

Вібраційний технологічний процес деформування оброблюваної поверхні характеризується нанесенням на неї великої кількості мікроударів оброблюючого інструменту, що забезпечує зміцнення матеріалу деталі.

Дослідженнями встановлено, що при вібраційному деформуванні формується більш рівномірна і дрібнозерниста структура поверхневого шару. Мікротвердість наплавленого і вібраційно зміцненого шару складає 475 Н/мм<sup>2</sup>, а без зміцнення – 280 Н/мм<sup>2</sup> [21].

Проведений аналіз способів ППД показав, що найбільший діапазон регулювання показників якості поверхневого шару мають способи, що використовують енергію удару, забезпечуючи, при цьому, високу якість оброблюваної поверхні деталі і оптимальну гетерогенно-зміцнену структуру.

Розроблювана технологія зміцнення деталей пластичним деформуванням повинна забезпечувати можливість регулювання показників якості для підвищення надійності роботи машин.

### **1.3. Підвищення ефективності динамічного навантаження при деформуванні**

Аналіз показує, що при обробітку матеріалу з однаковою енергією удару можуть бути отримані різні результати, що пояснюється коливальним процесом, що протікає в ударній системі (оброблюючий робочий орган – деталь) при їх контактуванні.

Ударний імпульс буде визначатися: формою і розміром робочого органу і деталі; амплітудою коливань; швидкістю руху робочого органу; часом контакту дотикаючих поверхонь оброблюваної деталі і оброблюючого інструменту.

Коливальними процесами можна керувати зміною геометричних і акустичних властивостей ударної системи, наприклад, вібратора.

При поверхневому пластичному деформуванні металів використовують способи, які поєднують статичне і динамічне навантаження. Ці способи зміцнення можна розділити на наступні:

- а) з низькою енергією удару (оздоблювано-зміцнюючі ППД);
- б) з високою енергією удару (обкатка вібраційними роликami).

Спосіб з низькою енергією удару найбільш відповідає ультразвуковому обробітку, після якого глибина зміцненого шару складає 0,09...0,15 мм.

В вище перерахованих прикладах відсутні можливості регулювання параметрами ударного імпульсу при обробці і зміцненні поверхні деталі. Застосована технологія відновлення деталей ударним імпульсом повинна мати можливості керування енергією удару з метою підвищення коефіцієнту корисної дії технологічного процесу.

Аналіз літературних джерел дозволяє констатувати, що для кожного матеріалу існує оптимальна тривалість імпульсу, при якій досягаються максимальний ступінь і глибина зміцнення. Перевищення його оптимальної тривалості не супроводжується зростанням мікротвердості. Оптимальна тривалість імпульсу дозволяє забезпечити потрібну глибину і ступінь зміцнення, що забезпечує підвищення довговічності деталей.

Таким чином, для підвищення ефективності зміцнення способами поверхневого пластичного деформування, що використовують енергію удару при навантаженні (деформуванні), потрібно керувати ударними імпульсами за рахунок регулювання параметрами ударної системи в процесі відновлення зношених деталей машин з метою підвищення їх ресурсу при експлуатації.

## **Висновки**

1. Оскільки якість поверхневого шару є головним показником технологічного процесу обробки, то створення конкурентно-спроможної продукції в усіх галузях народного господарства можливо тільки при забезпеченні потрібних показників якості.

2. Для забезпечення якості поверхневого шару головну роль мають способи зміцнення поверхневим пластичним деформуванням, що дозволяють економити вартісні матеріали і забезпечувати високу технологічну точність процесу відновлення.
3. Приведені особливості способів поверхневого пластичного деформування.
4. Показана ефективність динамічного навантаження при розробці технологічного процесу відновлення деталей.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1. Моделювання процесу обробітку

При обробітку металу тиском зусилля, напруження і деформації можуть бути визначені експериментально у виробничих умовах. Слід відмітити, що постановка подібних експериментів пов'язана з великими матеріальними і часовими витратами. Однак при розробці нових технологічних процесів постановка експерименту у виробничих умовах неможлива.

В зв'язку з цим поставлені питання (завдання) попереднього досліджуються в лабораторних умовах на зразках при значній зміні діапазону різних факторів технологічного процесу. Отримані при цьому дані перераховуються з моделі на конкретні деталі.

Експериментальні дослідження використовуються при визначенні зусиль, напружень і формозміни, а також при дослідженні умов деформування на зміну властивостей і структури матеріалу деталей.

Щоб отримані дані і закономірності в лабораторних умовах можна було використовувати на конкретних деталях, необхідно дотримання закону подібності (закон Кирпичова-Кіка). Згідно даного закону моделі-зразки і деталі повинні бути геометрично подібними і фізично однакові [22].

При геометричній подібності витримується рівність відношень однакових лінійних розмірів деталі і моделі:

$$\frac{l_{\partial}}{l_m} = \frac{R_{\partial}}{R_m} = \frac{r_{\partial}}{r_m} = n, \quad (2.1)$$

де  $n$  – масштаб моделювання;

$\partial$  і  $m$  – відповідно індекси деталі і моделі.

При геометричній подібності в процесі деформування потрібно, щоб ступінь деформації моделі і деталі були рівні, а інструмент для обробки моделі і деталі був геометрично подібним.

Для дотримання подібних умов тертя (однаковий матеріал інструменту, якість його поверхні, мащення) повинні забезпечуватися відповідні показники швидкості ковзання матеріалу по інструменту. Це можливо при однакових швидкостях моделі  $v_m$  і деталі  $v_d$ .

Вимоги однакових фізико-механічних властивостей моделі і деталі потрібно дотримувати при багатофакторному дослідженні, включаючи вплив умов деформування на властивості.

## **2.2 Визначення сили обробітку металу деталей поверхневим пластичним деформуванням**

Сила деформування є одним із головних технологічних параметрів, що визначають глибину і ступінь деформування, від якої в значній мірі залежить коефіцієнт корисної дії технології, що використовується.

В способах поверхневого пластичного деформування динамічне навантаження характеризується силою і частотою ударів, а статичне – тільки силою. При динамічному навантаженні ППД сила удару, що витрачається на пластичне деформування, не може бути однаковою. Тому величина пластичної деформації буде залежати не тільки від сили деформування, але і від амплітуди коливань робочого органу, а також від часу обробітку. Відповідно, при зміцненні ППД потрібно, щоб сила обробітку (деформування) характеризувалась ударними імпульсами.

Сила, що прикладається до деформованого тіла в процесі обробітку тиском, витрачається для подолання опору металу деформації і тертя поверхні деталі з оброблюючим інструментом.

Сила обробітку визначає характеристику технологічного обладнання, яка, в свою чергу, визначає розміри тіла і ступінь деформації, що допустимі при деформуванні.

На величину сили обробітку суттєво впливає нерівномірність деформації і розміри деформуючого тіла (зразка). При обробітку тиском для визначення деформуючих сил (зусиль) використовують аналітичні і експериментальні методи.

Аналітично зусилля обробітку може бути визначено, якщо відомі нормальні і дотичні напруження в кожній точці поверхні контакту зразка з інструментом, а також розміри і форма оброблюючої поверхні.

Зусилля деформування, як одного із основних факторів напруженого стану оброблюючого матеріалу, може бути підраховано по наступній залежності [23]:

$$P = \rho F_1 \ln \frac{F_0}{F_1} \left( 1 + \frac{f}{\sin \alpha \cos \alpha} + \frac{f}{\operatorname{tg} \alpha} \right), \quad (2.2)$$

де  $\rho$  – опір матеріалу деформації;

$F_0$  и  $F_1$  – відповідно переріз зразка до і після обробки;

$f$  – коефіцієнт тертя;

$\alpha$  – кут нахилу робочого інструменту.

Опір метала деформації визначається по формулі:

$$\rho = 0,25\sigma_{B_0} + 0,75\sigma_{B_1}, \quad (2.3)$$

де  $\sigma_{B_0}$  і  $\sigma_{B_1}$  межа міцності метала до і після деформування (роздачі).

### 2.3. Визначення залишкових напружень

При відновлені деталей машин в їх матеріалі виникають залишкові напруження, які залежать від методу обробки і його технологічних параметрів.

Методика визначення величини і характеру розподілу залишкових напружень основана на використанні рівнянь механіки тіл, що деформуються із належними напруженнями [22].

Згідно методу умовних пластичних деформацій [23] можна записати:

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E}(\sigma_r - \mu\sigma_\theta) + \varepsilon_r^0, \quad (2.4)$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{1}{E}(\sigma_\theta - \mu\sigma_r) + \varepsilon_\theta^0, \quad (2.5)$$

де  $E$  – модуль Юнга;

$\mu$  - коефіцієнт Пуассона;

$\varepsilon_r^0$  і  $\varepsilon_\theta^0$  - умовні пластичні деформації.

На основі рівнянь (2.4) і (2.5) можна записати [23]:

$$\sigma_r = \frac{E}{1-\mu^2} \left[ \frac{dU}{dr} + \mu \frac{U}{r} - (\varepsilon_r^0 + \mu\varepsilon_\theta^0) \right], \quad (2.6)$$

$$\sigma_\theta = \frac{E}{1-\mu^2} \left[ \frac{U}{r} + \mu \frac{dU}{dr} (\varepsilon_\theta^0 + \mu\varepsilon_r^0) \right], \quad (2.7)$$

де  $U=U(r)$  – радіальне переміщення частинки матеріалу при деформуванні.

#### 2.4. Дослідження структури і властивостей

При обробці металів тиском відбувається зміна фізико-механічних властивостей, які суттєво впливають на міцнісні характеристики відновлюваного шару, а, відповідно, і на довговічність деталей.

Мікроструктурні дослідження при обробітці тиском проводяться з метою визначення оптимальних параметрів технологічного процесу відновлення деталей.

Дослідження структури проводилися на оптичному мікроскопі MIM-8M.

Зразки для металографічних досліджень виготовлялися із відновлених пластичним деформуванням деталей, із яких потім виготовлялись шліфи. Шліфи спочатку проходили тонке шліфування на абразивному папері. Потім виконувалася тонка тонке алмазне полірування протягом 10...15 хвилин на сукні з водою для отримання дзеркальної поверхні шліфу.

З метою виявлення мікроструктури проводилось хімічне травлення шліфів протягом 15...20 с [24].

Дослідження на металографічному мікроскопі виконувалось при 100 і 500-кратному збільшенні.

Твердість визначалася на приладі ТК-2М, а її показники підраховувалися по формулі:

$$HRC = 100 - \frac{h}{0,002}, \quad (2.8)$$

де 100 – число поділок на шкалі приладу;

$h$  – глибина проникнення алмазної піраміди з кутом  $136^\circ$ ;

0,002 – точність відліку вимірювальної шкали.

Вимірювання мікротвердості проводили на мікротвердомірі ПМТ-3 у відповідності з прийнятою методикою [25].

## **2.5. Методика визначення довговічності деталей, зміцнених пластичним деформуванням**

Довговічність будь-якої деталі визначається її ресурсом, тобто часом від початку роботи до граничного стану, а надійність визначається вибором оптимальних показників, що враховують умови експлуатації. Надійність оцінюється ймовірністю безвідмовної роботи  $P(t)$ .

Аналіз літературних джерел показує, що зміна товщини ріжучої кромки леза ґрунтообробних машин розподіляється по нормальному закону і наступній залежності [26]:

$$f(h,t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_h}} \exp\left\{-\frac{[h - \bar{h}(t)]^2}{2\sigma_h^2}\right\} \quad (2.9)$$

де  $h$  - поточне значення товщини кромки леза;

$\bar{h}(t)$  - середнє значення товщини кромки леза;

$\sigma_h$  - середньоквадратичне відхилення в момент часу  $t$ .

Ймовірність безвідмовної роботи  $P(t)$  визначалась:

$$P(t) = 1 - \frac{1 - \Phi\left(\frac{h_n - b - k \cdot t}{\sigma_b + \sigma_k \cdot t}\right)}{\Phi\left(\frac{b + k \cdot t}{\sigma_b + \sigma_k \cdot t}\right)} \quad (2.10)$$

де  $\Phi$  – функція Лапласа;

$h_n$  - граничне значення товщини кромки леза;

$t$  - час безвідмовної роботи;

$b, k, \sigma_b, \sigma_k$  - постійні коефіцієнти, отримані по експериментальним даним

методом найменших квадратів.

Довговічність робочого органу визначали по формулі:

$$T = \frac{I_n}{I(t)} \cdot t \quad (2.11)$$

де  $I_n$  – величина граничного зносу.

## Висновки

1. При обробітку металу тиском для отримання основних параметрів технологічного процесу спочатку потрібне проведення лабораторних досліджень на зразках-моделях з наступним перерахунком на конкретні деталі.

2. Сила деформування є одним із основних технологічних параметрів, що визначають глибину і ступінь деформування і визначають характеристику технологічного обладнання. При пластичному деформуванні оброблюваного

матеріалу сила може бути визначена аналітичним і експериментальним методом.

3. На основі використання рівнянь механіки деформованих тіл приведені рівняння і викладена методика визначення залишкових напружень.

4. Представлена методика дослідження структури і властивостей матеріалу деталей при їх обробці тиском.

5. Представлені математичні залежності визначення довговічності деталей зміцнених поверхневим пластичним деформуванням.

## РОЗДІЛ 3

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 3.1. Дослідження характеру роботи деталей

Зміцнення поверхні деталі (диска сошника) залежить від багатьох факторів, дослідження впливу кожного з яких має важливе значення для розробки технологічного процесу його відновлення.

Для експериментального підтвердження теоретичних передумов були визначені і обґрунтовані три основні параметри зміцнення: амплітуда  $A$ , частота коливання робочого інструменту  $n$  і час зміцнення  $t$ .

В якості критеріїв оптимізації були вибрані зноси по діаметру  $\Delta D$  і товщина  $\Delta a$  нових дисків сошників зі сталі 65Г із віброзміцненням робочої поверхні і відновлених приварюванням сегментів зі сталі 45 з наплавленням сормайттом і вібраційним зміцненням.

Результати експериментальних досліджень приведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати експериментальних досліджень зміцнення коливаючим робочим інструментом

Номер досліду	Амплітуда робочого інструменту $A$ , мм	Частота робочого інструменту $n$ , хв <sup>-1</sup>	Час зміцнення $t$ , с.	Величина зносу $I$ , мм			
				варіанти дисків			
				сталі 65Г		сталі 45 з наплавленням сормайттом	
				$\Delta D_1$	$\Delta a_1$	$\Delta D_2$	$\Delta a_2$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,25	700	10	0,5	0,53	0,52	0,57
2	0,25	700	20	0,36	0,39	0,38	0,42
3	0,25	700	30	0,48	0,49	0,52	0,55
4	0,25	1400	10	0,39	0,41	0,42	0,46
5	0,25	1400	20	0,22	0,26	0,25	0,30

1	2	3	4	5	6	7	8
6	0,25	1400	30	0,29	0,34	0,32	0,36
7	0,25	2100	10	0,53	0,55	0,54	0,59
8	0,25	2100	20	0,32	0,35	0,36	0,41
9	0,25	2100	30	0,44	0,46	0,48	0,51
10	0,5	700	10	0,36	0,48	0,39	0,43
11	0,5	700	20	0,24	0,27	0,27	0,32
12	0,5	700	30	0,32	0,36	0,35	0,40
13	0,5	1400	10	0,28	0,31	0,31	0,25
14	0,5	1400	20	0,29	0,30	0,33	0,35
15	0,5	1400	30	0,23	0,27	0,26	0,28
16	0,5	2100	10	0,35	0,39	0,38	0,42
17	0,5	2100	20	0,28	0,24	0,24	0,27
18	0,5	2100	30	0,30	0,35	0,33	0,39
19	0,75	700	10	0,45	0,48	0,48	0,53
20	0,75	700	20	0,35	0,37	0,39	0,43
21	0,75	700	30	0,43	0,47	0,47	0,52
22	0,75	1400	10	0,36	0,48	0,39	0,42
23	0,75	1400	20	0,30	0,34	0,33	0,38
24	0,75	1400	30	0,32	0,34	0,35	0,39
25	0,75	2100	10	0,49	0,52	0,53	0,57
26	0,75	2100	20	0,40	0,39	0,37	0,46
27	0,75	2100	30	0,44	0,46	0,48	0,51

В результаті проведеного регресивного аналізу отримані наступні рівняння взаємозв'язку основних параметрів вібраційного зміцнення:

– знос  $\Delta D_I$  нового диску зі сталі 65Г:

$$\Delta D_I = 1,3088 - 1,5711x_1 - 0,0005x_2 - 0,0345x_3 + 1,5733x_1^2 + 1,9 \cdot 10^{-7}x_2^2 + 0,00081x_3^2; \quad (3.1)$$

– знос  $\Delta a_1$  нового диску зі сталі 65Г:

$$\Delta a_1 = 1,3948 - 1,4867x_1 - 0,0005x_2 - 0,0449x_3 + \\ + 1,5022x_1^2 + 1,64 \cdot 10^{-7}x_2^2 + 0,001x_3^2; \quad (3.2)$$

– знос  $\Delta D_2$  відновленого диску зі сталі 45 з наплавленням сормайтотом:

$$\Delta D_2 = 1,3822 - 1,6533x_1 - 0,0005x_2 - 0,0396x_3 + \\ + 1,6533x_1^2 + 1,77 \cdot 10^{-7}x_2^2 + 0,0009x_3^2; \quad (3.3)$$

– знос  $\Delta a_2$  відновленого диску зі сталі 45 з наплавленням сормайтотом:

$$\Delta a_2 = 1,4900 - 1,9111x_1 - 0,00067x_2 - 0,0345x_3 + \\ + 1,9200x_1^2 + 2,18 \cdot 10^{-7}x_2^2 + 0,0008x_3^2; \quad (3.4)$$

де  $x_1$  – фактор амплітуди робочого органу;  $x_2$  – фактор коливання робочого органу;  $x_3$  – фактор часу обробітку.

Підставляючи в системи рівнянь (3.1-3.4) реальні значення параметрів, отримаємо математичні моделі зміни зносів по діаметру  $\Delta D$  і товщини  $\Delta a$  нових дисків сошників і відновлених приварюванням сегментів зі сталі 45 з наплавленням сормайтотом і вібраційним деформуванням:

$$\Delta D_1 = 1,3088 - 0,5711A - 0,0005n - 0,0345 t + \\ + 1,5733A^2 + 9,1 \cdot 10^{-7}n^2 + 0,0008 t^2; \quad (3.5)$$

$$\Delta a_1 = 1,3948 - 1,4867A - 0,0005n - 0,0449 t + \\ + 1,5022A^2 + 1,64 \cdot 10^{-7}n^2 + 0,001 t^2; \quad (3.6)$$

$$\Delta D_2 = 1,3822 - 1,6533A - 0,0005n - 0,0396 t + \\ + 1,6533A^2 + 1,77 \cdot 10^{-7}n^2 + 0,0009 t^2; \quad (3.7)$$

$$\Delta a_2 = 1,4900 - 1,9111A - 0,00067n - 0,0345 t + \\ + 1,9200A^2 + 2,18 \cdot 10^{-7}n^2 + 0,0008 t^2. \quad (3.8)$$

Рівняння регресії (3.5-3.8) дозволяють графічно побудувати поверхні відгуків в залежності від величини зносу від часу зміцнення  $t$ , амплітуди  $A$  і частоти коливаний робочого інструменту.

Для відновленого диску приварюванням сегментів зі сталі 45 з наплавленням сормайтотом і вібраційним зміцненням поверхні відгуків показані на рис. 3.9-3.11.

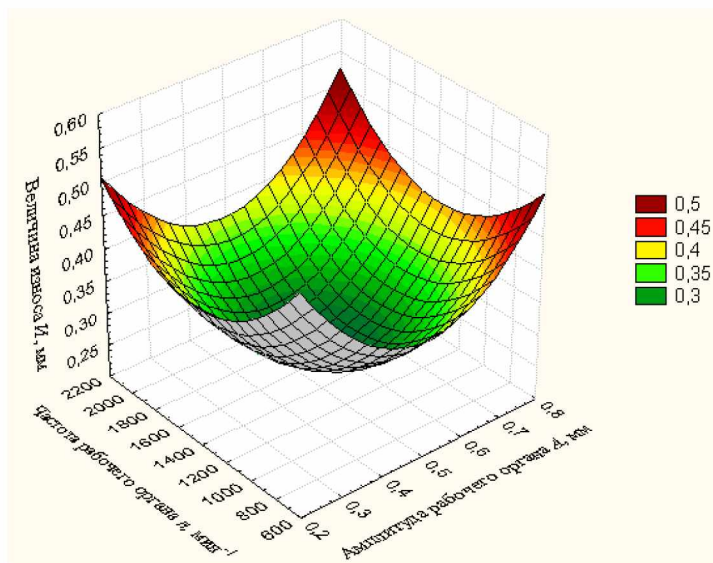


Рисунок 3.9 – Поверхня відгуку залежності зносу від амплітуди  $A$  і частоти  $n$  коливань робочого інструменту

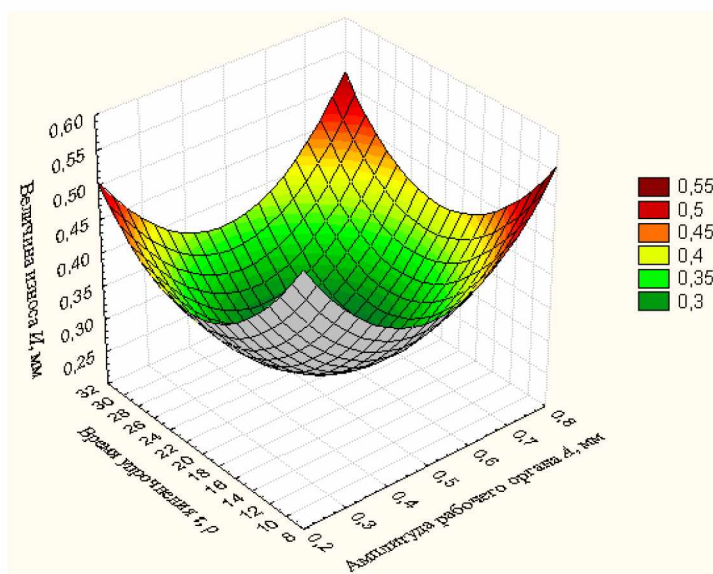


Рисунок 3.10 – Поверхня відгуку залежності зносу від часу зміцнення і амплітуди  $A$  коливань робочого інструменту

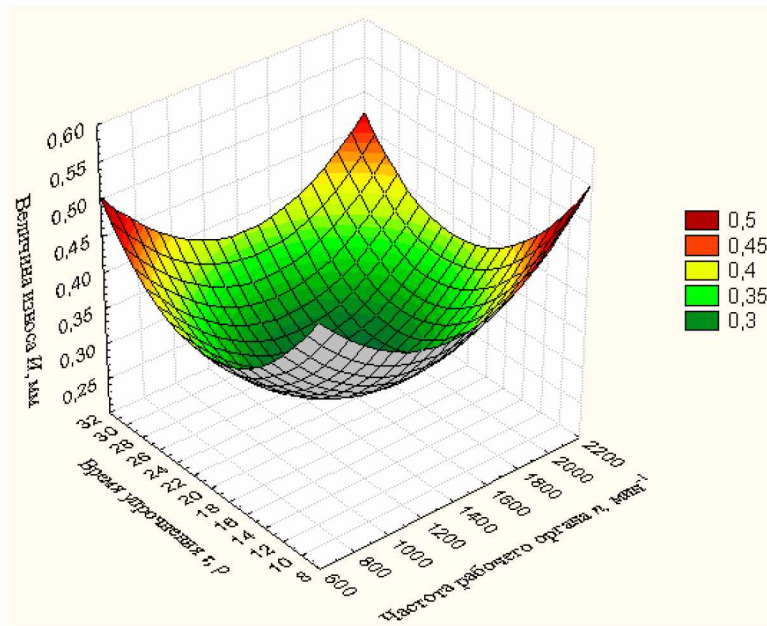


Рисунок 3.11 – Поверхня відгуку залежності зносу від часу зміцнення і частоти  $n$  коливань робочого інструменту

### 3.2. Визначення деформацій при деформуванні

Величина деформацій є одним із основних параметрів при обробці тиском.

Технологічними параметрами, що надають визначальний вплив на величину і ступінь деформації, є:

- фізико-механічні властивості матеріалу оброблюваних деталей;
- шорсткість поверхонь деталей, що піддаються зміцненню;
- швидкість переміщення обробного інструменту;
- частота і амплітуда коливань робочого інструменту;
- час обробітку (деформування).

При обробітку металів пластичним деформуванням відбуваються деформації, змінюються розміри оброблюваних деталей.

У розрахунках застосовують різні величини, що характеризують деформацію: ступінь деформації, швидкість деформації.

При обробці зразка, що має форму паралелепіпеда, деформівний стан характеризується трьома головними показниками: двома деформаціями розтягування по осях  $X$  і  $Y$  та деформацією стиснення в напрямку дії сили (по вісі  $Z$ ).

Ступені деформацій за вказаними напрямками визначаються виразами:

$$\delta_x = \ln \frac{x_D}{x_e}; \delta_y = \ln \frac{y_D}{y_e}; \delta_z = \frac{z_D}{z_e}. \quad (3.9)$$

де індекси означають:  $e$  – вихідний; а  $D$  – деформований.

Оскільки розглянутий зразок піддається стисненню, то деформації  $\delta_x$  і  $\delta_y$  будуть позитивні (збільшення розміру), а деформація  $\delta_z$  буде негативна (зменшення розміру).

При пластичної деформації алгебраїчна сума алгоритмічних ступенів деформації за трьома взаємно перпендикулярним напрямкам дорівнює нулю.

У процесі деформування по осі  $Z$  відбувається зменшення висоти деформованого зразка в кожен момент часу на величину  $\Delta Z$ .

$$\delta_z = -\ln \frac{F_D}{F_e}; \varepsilon_z = -\frac{\Delta F}{F_D}. \quad (3.10)$$

Розрахункові значення ступеня деформації, отримані за формулою 3.10, наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Розрахункові значення ступеня деформації

Матеріал, який обробляється	Ступінь деформації	
	$\delta_x; \delta_y$	$\delta_z$
Сталь 65Г	0,0056	1,0052
Сталь 45, сормайт	0,0088	1,0064
Сталь 65Г, сормайт	0,0055	1,0036

Як показали дослідження ступінь деформації по діаметру і товщині зразків із сталі 45 з наплавленням сормайтом відповідно в 1,57 і 1,23 рази більше, ніж зі сталі 65Г.

### 3.3. Дослідження залишкових напружень зміцненого поверхневого шару металу

При відновленні деталей в їх матеріалі утворюються і перерозподіляються залишкові напруження в результаті теплової дії на основний метал при зварюванні, наплавленні і наступної дії на відновлювальні поверхні різних зміцнюючих поверхонь.

Залишкові розтягуючі напруження призводять до зниження міцності деталей, і ведуть, в кінцевому випадку, до різних видів несправностей. Вказані залишкові напруження знижують зносостійкість робочих поверхонь деталей [27].

Дослідженнями встановлено, що на поверхні леза диску виникають стискаючі залишкові напруження, що складають: при вібраційному зміцненні нових дисків 118...122 МПа; відновленні приварюванням сегментів зі сталі 45 з наплавленням сормайтотом і вібраційним зміцненням 112...116 МПа. Відомі дані показують, що на глибині 0,45...0,80 мм вони переходять в розтягуючі, відповідно дорівнюють: 70...85 МПа; 42...50 МПа. На глибині 1,05...1,66 мм напруження переходять в стискаючі відповідно дорівнюють: 60...71 МПа; 55...65 МПа.

При зміцненні наплавленої поверхні вібраційним робочим інструментом відбувається зміна механічних і технологічних властивостей матеріалу. Мікроструктурні дослідження показують, що мікротвердість поступово знижується для вказаних варіантів деталей і на глибині 1,00...1,27 мм відбувається більш інтенсивне її зниження.

При вібраційному деформуванні структура матеріалу більш рівномірна і дрібнозерниста в порівнянні зі структурою матеріалу зразків, що не піддавались обробці вібраційним робочим інструментом.

Встановлено, що при вібраційній обробці зерна металу мають витягуючі форму в напрямку руху оброблюючого інструменту. В цьому випадку глибина зміцнення матеріалу в 1,9...2,4 рази більше.

### 3.4. Зміцнення оброблюючої поверхні

Метод поверхневого пластичного деформування із застосуванням механічних коливань обробного інструменту дозволяє значно підвищити довговічність деталей сільськогосподарських машин, що пов'язано з покращенням фізико-механічного стану і властивостей оброблюваної поверхні.

Підвищення довговічності деталей ППД досягається за рахунок зміни структурних і мікроструктурних змін і появи в матеріалі стискаючих залишкових напружень, які мають позитивну дію на міцнісні характеристики матеріалу деталей.

При звичайному деформуванні зважаючи на постійний контакт обробного інструменту з оброблюваним металом траєкторії максимальних дотичних напружень розташовуються під кутом  $90^\circ$  до оброблюваної поверхні [29].

При вібраційному деформуванні цей кут змінюється від  $45^\circ$  до  $90^\circ$  і в момент відривання інструменту (послаблення контакту) зусилля буде направлене по напрямку руху під більшим кутом, що сприяє збільшенню деформації і більшому ущільненню (зміцненню) оброблюваного матеріалу.

В пластично деформованому матеріалі напруження течії  $\sigma_s$  визначається залежністю [30]:

$$\sigma_s = \sigma_T \varepsilon^n, \quad (3.11)$$

де  $\sigma_T$  – межа текучості;

$\varepsilon$  – ступінь деформації;

$n$  – показник деформаційного зміцнення (ступінь ущільнення), який визначається функціональною залежністю:

$$\varepsilon = \ln \frac{h_o}{h}, \quad (3.12)$$

де  $h_o$  – вихідне значення висоти зразка;

$h$  – висота зразка після деформування.

Логарифмуючи рівняння (3.3), отримаємо:

$$\log_{\varepsilon} \sigma_s = \log_{\varepsilon} (\sigma_T \varepsilon^{\eta}). \quad (3.13)$$

Після логарифмування правої частини рівняння (3.13) маємо:

$$\log_{\varepsilon} \sigma_s = \log_{\varepsilon} \sigma_T + \log_{\varepsilon} \varepsilon^{\eta}. \quad (3.14)$$

Оскільки  $\varepsilon^{\eta} = \eta$ , то рівняння (3.14) прийме вигляд:

$$\log_{\varepsilon} \sigma_s = \log_{\varepsilon} \sigma_T + \eta. \quad (3.15)$$

Звідси:

$$\eta = \log_{\varepsilon} \sigma_s - \log_{\varepsilon} \sigma_T. \quad (3.16)$$

Після перетворень знаходимо:

$$\eta = \log_{\varepsilon} \frac{\sigma_s}{\sigma_T}. \quad (3.17)$$

Розрахункові значення ступеня зміцнення, одержані по залежності (3.17), приведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - Розрахункові значення ступеня зміцнення

Оброблюваний матеріал	Ступінь зміцнення, $\eta$	
	Звичайне деформування	Вібраційне деформування
1. Сталь 65Г	0,115	0,150
2. Сталь 45, сормайт	0,093	0,132

Встановлено, що ступінь зміцнення матеріалу зразків, відновлених приваркою шин с наступним наплавленням сормайтом при вібраційному деформуванні в 1,42 рази більша, ніж при звичайній обробці.

### 3.5. Визначення зношення деталей

В результаті дії абразивного середовища відбувається зношування ріжучої кромки робочого органу, що викликає її затуплення, і призведе до погіршення технологічного процесу [28].

Методикою досліджень використовувались деталі (диски зернової сівалки) наступних варіантів (табл. 3.3).

1 – нові диски зі сталі 65Г діаметром 300 мм;

2 – нові диски зі сталі 65Г діаметром 300 мм з вібраційним зміцненням робочої поверхні;

3 – відновленні приварюванням сегментів зі сталі 45 з наплавленням сормайтотом і вібраційним зміцненням.

Приварювання сегментів шириною 15 мм і товщиною 2,5 мм виконувалось на напівавтоматі А-765 дротом діаметром 2 мм марки 8ГС. Зміцнення виконували на вібраційній установці (кафедра технологій та засобів механізації аграрного виробництва).

Дані лабораторних вимірювань представлені в табл. 3.4, 3.5.

Таблиця 3.4 – Конструктивні параметри

Варіант деталі	Параметри, що заміряються		
	Зовнішній діаметр, мм	Товщина ріжучої кромки, мм	Кут леза, град.
1	300	2,49	20
2	300	2,6	20
3	300	2,44	20

Таблиця 3.5 - Дані зносу деталей (дисків) при стендових дослідженнях

Варіант деталі	Знос діаметру Д	Знос товщини леза а
	Абсолютний знос, мм	Абсолютний знос, мм
1	0,82	0,51
2	0,30	0,26
3	0,36	0,28

Дані стендових досліджень показують, що для вказаних варіантів найменшу величину зносу мають нові диски сошників з вібраційним зміцненням.

Стендові дослідження дозволили визначити оптимальні значення діаметру і товщини леза сошника і вибрати більш ефективний технологічний процес відновлення.

Аналіз стендових досліджень дозволяє зробити висновок, що зносостійкість, а відповідно, і ресурс дисків сошників залежать як від їх геометричних параметрів, так і в значній мірі від способу відновлення.

### **Висновки**

1. Визначені основні параметри при відновленні деталей поверхневим пластичним деформуванням із використанням механічних коливань обробляючого інструменту: частота коливань  $n=1400\text{хв}^{-1}$ ; амплітуда коливань  $A=0,5$  мм; час зміцнення оброблюваної поверхні 20с.

2. Показано, що при відновленні деталей в їх матеріалі утворюються і перерозподіляються в результаті теплової дії залишкові стискаючі напруження двох видів: розтягуючі залишкові напруження, що знижують зносостійкість робочих поверхонь деталей; стискаючі залишкові напруження, що сприяють зміцненню оброблюючого матеріалу.

3. При вібраційному деформуванні поверхні деталей глибина зміцнення в 1,9...2,4 рази більша, ніж при звичайній обробці.

4. Встановлено, що ступінь зміцнення матеріалу деталей, відновлених приварюванням шин з наступним наплавленням сормайтотом при вібраційному деформуванні в 1,42 рази більша, ніж при звичайній обробці.

5. Стендові дослідження показали, що найменшу величину зносу мали диски сошників зернової сівалки, що оброблені вібраційним зміцненням. Довговічність вказаних деталей залежить як від геометричних параметрів, так і способу відновлення.

## РОЗДІЛ 4

### РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

#### 4.1. Екологічна експертиза розробок

##### 4.1.1. Екологічна безпека ремонтних підприємств

Ремонтно-обслуговуюче підприємство, що відновлюють деталі машин по запропонованій технології повинно мати екологічну паспортизацію природного середовища [31].

Екологічний паспорт має дані, що характеризують взаємовідносини підприємства з довкіллям.

Екологічні паспорти дозволяють зробити аналіз екологічного середовища в регіоні, порівняти техніко- і еколого-економічні дані з даними інших підприємств, що характеризуються природоохоронними заходами.

Одночасно можна оцінити й ефективність розробленої та застосованої технології відновлення деталей.

Об'єкти підприємства є джерелами забруднення атмосфери та навколишнього середовища. Тому проводять аналіз забезпеченості технічними засобами контролю за станом навколишнього середовища, викидами забруднюючих речовин в атмосферу, описують методи контролю за шкідливими викидами, заходи щодо їх зменшення.

Проведений аналіз дозволяє розробити рекомендації щодо забезпечення екологічної стійкості підприємства, а також план ліквідації аварійних ситуацій.

Повинна бути встановлена (обґрунтована) категорія екологічної небезпеки об'єкту чи технології, що застосовується. Для цього встановлюють структуру викидів забруднюючих речовин при експлуатації технологічного обладнання чи технології. На підставі екологічного аналізу джерел викидів роблять розрахунок «пріоритетного» викиду шкідливих речовин.

Викид шкідливих речовин, що виділяються від технологічного устаткування при виконанні технологічних операції, розраховують за формулою:

$$M_i = 10^{-6} q_i \cdot B, \quad (4.1)$$

де  $M_i$  – валовий викид шкідливої речовини, т/рік.;

$q_i$  – питомий показник викидів  $i$ -го речовини, г/кг.;

$B$  – кількість матеріалу, витраченого за рік, кг.

Підприємство чи технологія вважається таким, що не надають шкідливої дії на атмосферне повітря, якщо жодне з джерел викидів не потрапляє до категорію небезпечних:

$$M / ГДК \geq \Phi, \quad (4.2)$$

де  $M$  – максимальна величина викиду шкідливої речовини в атмосферу, кг/с;

$ГДК$  – гранично допустима максимально разова концентрація, мг/м<sup>3</sup>;

$\Phi$  – величина, що характеризує умовну витрату повітря, необхідного для розбавлення шкідливої речовини, що надходить в атмосферу, м<sup>3</sup>/с.

Якщо середня по підприємству висота джерел викидів даної речовини  $H \leq 10$  м, то  $\Phi = 0,1$  м<sup>3</sup>/с; при  $H > 10$  м –  $\Phi = 0,01$  м<sup>3</sup>/с.

В табл. 4.1 наведені гранично допустима концентрація (ГДК) шкідливих речовин у повітрі.

Таблиця 4.1 - Гранично допустима концентрація

Найменування речовини	Клас небезпеки	ГДК, мг/м <sup>3</sup>	ГДК <sub>м.р.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ГДК <sub>с.д.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	Агрегатний стан
1. Ацетон	4	200	0,35	0,35	<i>п</i>
2. Аерозоль зварювальний	3		0,5	0,15	<i>а</i>
3. Бензин (розчинник)	4	300	5,0	1,5	<i>п</i>
4. Оксид азоту	2	5,0	0,085	0,04	<i>п</i>
5. Оксид вуглецю	4	20	5,0	30	<i>п</i>

Примітка: *п* – пари; *а* – аерозоль; ГДК<sub>м.р.</sub> – максимально-разова ГДК; ГДК<sub>с.д.</sub> – середньодобова ГДК

Категорію небезпеки підприємства визначають по викидах в атмосферу забруднюючих речовин:

$$KHP = \sum_{i=1}^n \left( \frac{M_i}{ГДК_i} \right)^{a_i}, \quad (4.3)$$

де  $M_i$  – маса викиду  $i$ -го речовини, т/рік;

$ГДК_i$  – середньодобова гранично- допустима концентрація  $i$ -го речовини, мг/м<sup>3</sup>;

$n$  – кількість забруднюючих речовин;

$a_i$  – безрозмірна константа, що дозволяє співвіднести ступінь шкідливості  $i$ -го речовини за шкідливістю сірчистого газу.

Найбільша ефективність у захисті повітряного середовища від забруднюючих викидів досягається при поєднанні заходів щодо вдосконалення технологічних процесів, газоочистки, забезпечення загальних санітарно-гігієнічних вимог.

Екологічні порушення караються відповідно до вимог Кримінального кодексу України. Вимоги закону передбачають встановлення причинного зв'язку між зробленим порушенням і погіршенням навколишнього середовища.

До екологічних порушень (злочинів) відносять:

- забруднення навколишнього природного середовища (води, повітря, ґрунту);

- порушення правил обороту небезпечних матеріалів і відходів.

Забруднення поверхневих чи підземних вод, джерел питної води можуть завдати шкоди сільському господарству. Оцінка завданого збитку здійснюється з урахуванням реальної вартості затрат на відновлювальні роботи та ліквідацію наслідків.

Порушення правил викиду забруднювальних речовин в атмосферу, спричиняють забруднення або зміну природних властивостей повітря, що може завдати істотної шкоди здоров'ю людини.

Порушення правил охорони навколишнього середовища полягає у використанні непередбачених правилами методик, відмови від виконання

відповідних робіт або в бездіяльності при необхідних обов'язках. Це може бути, зокрема, ігнорування інформації, відмова від проведення екологічної експертизи та будівництва очисних споруд, порушення правил їх експлуатації.

За скоєні екологічні злочини порушники несуть правову відповідальність. Екологічне законодавство передбачає три рівні покарання:

- порушення;
- порушення, що завдали значних збитків;
- порушення, що спричинили смерть людей (тяжкі наслідки).

Залежно від величини заподіяних збитків це можуть бути штрафи, заборона обіймати певні посади на встановлений термін, виправні роботи та позбавлення волі на визначений законом термін.

#### **4.1.2. Екологічний менеджмент та експертиза**

Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» визначає в країні систему екологічного менеджменту. Згідно з цим законом, метою державного управління в галузі охорони довкілля є реалізація законодавства, контроль за дотриманням вимог екологічної безпеки, забезпечення проведення ефективних заходів щодо охорони навколишнього природного середовища.

Державний екологічний менеджмент включає чотири основні функції:

- здійснення природоохоронного законодавства;
- контроль за екологічною безпекою;
- забезпечення проведення природоохоронних заходів;
- досягнення узгодженості дій державних і громадських органів.

Ринково-орієнтована економіка охоплює такі групи функцій екологічного менеджменту: реструктуризація виробництва, приватизація, створення конкурентного середовища і ринкового ціноутворення.

На рівні підприємства до загальних функцій управління належить:

- формування екологічної політики;

- розроблення стратегічного плану реалізації екологічної політики;
- розроблення та реалізація програми екологічного управління;
- ведення документації екологічного менеджменту;
- оперативне управління та вдосконалення.

Виконання функцій екологічної політики, визначення екологічних цілей і завдань, розроблення та реалізація екологічної програми здійснюється за допомогою екологічної експертизи.

Екологічна експертиза – це науково-практична діяльність 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, дія яких впливає або може негативно впливати на стан довкілля та здоров'я людей.

Основними завданнями екологічної експертизи є визначення ступеня екологічного ризику й безпеки суб'єкта господарської діяльності; встановлення відповідності вимогам екологічного законодавства; оцінка впливу різних об'єктів на довкілля, здоров'я людей та можливих негативних екологічних наслідків.

Основними принципами екологічної експертизи є:

- гарантування безпечного життя довкілля;
- наукова обґрунтованість життя довкілля;
- державне регулювання та законність.

Державну екологічну експертизу об'єктів загально-державного і міжобласного значення проводить управління екологічної системи Мінекоресурсів України, об'єктів місцевого значення – відділи екологічної експертизи обласних управлінь екологічної безпеки.

Законом передбачено державне регулювання і управління в галузі екологічної експертизи, статус експерта, обов'язки замовників експертизи, порядок проведення експертизи, її фінансування, відповідальність за порушення та міжнародне співробітництво.

## **4.2. Охорона праці**

### **4.2.1. Аналіз стану охорони праці**

Аналіз стану охорони праці проводять з метою визначення передумови для розробки заходів щодо зниження травматизму і поліпшення умов праці.

При аналізі стану охорони праці в 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 вимогам санітарних і будівельних норм і правил;
- можливість появи шкідливих і небезпечних виробничих чинників, основні причини виробничих травм;
- динаміку травматизму і захворюваності;
- санітарно-побутові умови працівників;
- пожежну безпеку (характеристика технологічних процесів з пожежної безпеки).

Охорона праці включає техніку безпеки, що запобігає травматизму і перешкоджає виникненню захворювань від дії шкідливих чинників, виробничу санітарію. Структура комплексу заходів наступна:

1. Аналіз стану охорони праці або безпеки технологічного процесу в підприємстві.
2. Розробка організаційних, санітарно-гігієнічних, технічних заходів щодо поліпшення стану охорони праці.
3. Розробка інструкцій з охорони праці при роботі на технологічному обладнанні або при використанні розробленої технології відновлення.

4. Аналіз і оцінка пожежної безпеки підприємства, організація пожежної профілактики.

#### **4.2.2. Розробка заходів щодо поліпшення стану охорони праці**

Заходи щодо поліпшення стану охорони праці або безпеки технологічних процесів розробляють на основі аналізу. 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;
- зниження рівнів шуму і вібрацій на робочих місцях;
- створення необхідних санітарно-побутових умов для працівників підприємства.

При розробці вимог безпеки (інструкцій) з охорони праці необхідно спочатку охарактеризувати можливі небезпечні і шкідливі виробничі чинники, які можуть виникнути під час роботи, небезпечні зони, а потім вказати методи їх ліквідації. Необхідно також обґрунтувати вимоги до персоналу, який експлуатуватиме обладнання, або виконувати розроблену технологію відновлення деталей машин.

При необхідності обґрунтовують санітарно-гігієнічні умови праці на проектуваному обладнанні, передбачають заходи і засоби пожежної безпеки,

розробляють інструкцію з техніки безпеки.

#### **4.2.3. Визначення кількості шкідливих виділень у виробничих приміщеннях**

Деякі технологічні процеси, що виконуються на ремонтно-обслуговуючих підприємствах, характеризуються виділенням різних забруднень. Тому в приміщеннях ремонтних підприємств передбачають природну, механічну або змішану вентиляцію. Вентиляційні системи повинні забезпечувати відносну вологість повітря, концентрацію в ньому газів, шкідливих виділень у межах, що не перевищують допустимі норми. Якщо виділення забруднень відбувається на окремому технологічному обладнанні (на столі для зварювальних робіт, у наплавлювальній установці) встановлюють місцеву вентиляцію.

При розсіяному виділенні забруднень у приміщенні передбачають загальнообмінну вентиляцію.

Розрахунок вентиляційних систем проводять виходячи з інтенсивності забруднення повітря. Кількість виділень, що забруднюють повітря в приміщенні, визначають по кожному джерелу.

У виробничих приміщеннях до основних забруднень відносять: відпрацьовані гази двигунів внутрішнього згорання; гази та аерозолі, що утворюються в процесі зварювання, наплавлення, випаровування миючих розчинів, розчинників емалей і лаків, охолоджуючих рідин, електроліту та ін.

Кількість повітря, необхідну для розбавлення газових і аерозольних забруднень, тобто продуктивність вентиляційної установки, визначають за формулою:

$$W_e = 10^6 Q_c / (C_{p.z} - C_n) , \quad (4.4)$$

де  $W_e$  – продуктивність вентиляційної установки, м<sup>3</sup>/рік.;

$Q_c$  – сумарна кількість забруднень, що виділяються, кг/рік.;

$C_{p.z}$  – гранично допустима концентрація даного забруднення в робочій зоні, мг/м<sup>3</sup>;

$C_n$  – концентрація даного забруднення у повітрі, що поступає, мг/м<sup>3</sup>.

У випадках коли зовнішнє повітря, що надходить у приміщення, не містить шкідливих домішок, величину  $C_n$  приймають рівною нулю.

У приміщеннях ділянок діагностики та технічного обслуговування, ремонтно-монтажної кількості шкідливих виділень визначають за формулою:

$$Q_d = (160 + 13,5V_u) \frac{P}{100} \cdot \frac{T}{60}, \quad (4.5)$$

де  $Q_d$  – кількість шкідливих виділень від працюючого дизельного двигуна, кг/рік.;

$V_u$  – робочий об'єм циліндрів двигуна, л;

$P$  – вміст забруднень у відпрацьованих газах, %;

$T$  – час роботи двигуна, хв.

При роботі карбюраторного двигуна:

$$Q_k = 15(0,6 + 0,8V_u) \frac{P}{100} \cdot \frac{T}{60}. \quad (4.6)$$

Кількість аерозолів свинцю при роботі карбюраторного двигуна на етильованому бензині буде рівна:

$$Q_c = \frac{0,05C(0,6 + 0,8V_u)}{100} \cdot \frac{T}{60}, \quad (4.7)$$

де  $C$  – вміст тетраетилсвинцю в бензині, г/кг ( $C = 0,05 \dots 0,10\%$ ).

Вміст забруднень у відпрацьованих газах ( $P$ ) наведено у табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах, % до маси

Умови роботи двигуна	Дизельні двигуни			Карбюраторні двигуни	
	Оксид вуглецю	Оксид азоту	Альдегіди	Оксид вуглецю	Аерозолі свинцю
1.Розігрів у приміщенні	0,071	0,007	0,510	6,0	0,0025
2 Рейсування в приміщенні	0,054	0,009	0,037	4,0	0,0018
3 В'їзд до приміщення і місця розташування	0,035	0,005	0,022	2,0	0,0010

На ділянці зварювання роботи супроводжуються виділенням зварювальних аерозолів і шкідливих газоподібних речовин (фтористого водню, оксидів азоту, оксиду вуглецю і ін.). При визначенні кількості забруднень, що виділяються, під час зварки (різки) враховують питомі показники їх викидів (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 - Питомі виділення шкідливих речовин при зварці (наплавленню) металів (г на 1 кг електродів)

Марка електроду	Тверді частинки				Шкідливі газы		
	Зварювальні аерозолі	Зокрема			Фтористий водень	Оксиди азоту	Оксид вуглецю
		оксиди марганцю	оксиди хрому	фториди			
УОНІ-13/55	18,6	0,97	-	2,60	0,93	-	-
ЕА-60В/11	11,0	0,68	0,60	-	0,004	1,30	1,40
ОЗЧ-3	14,0	0,49	0,18	-	1,97	-	-
Т-590	45,5	-	3,70	-	-	-	-

Кількість шкідливих виділень при зварюванні визначають за формулою

$$Q_a = 10^{-3} G_e q_a \quad (4.8)$$

де  $Q_a$  – кількість зварювального аерозолу, кг/рік.;

$G_e$  – максимальна витрата електродів, кг/рік.;

$q_a$  – питома виділення аерозолу, г/кг.

Аналогічно визначають кількість шкідливих газів, що виділяються при зварюванні.

#### 4.3. Техніко-економічне обґрунтування досліджень

Річний економічний ефект від впровадження розробленої технології відновлення дисків сошників методом зміцнення деталей пластичним деформуванням визначали за такою залежністю [32]:

$$E = [(c_1 + E_n \kappa_1) - (c_2 + E_n \kappa_2)] B_r, \quad (4.9)$$

де  $c_1$  і  $c_2$  – собівартість нового диска сошника і відновленого приварюванням сегментів, наплавленням сормайтотом і зміцненого пластичним деформуванням вібруючим робочим органом, грн.;

$\kappa_1$  и  $\kappa_2$  – питомі капітальні вкладення на придбання технологічного обладнання, грн.;

$E_n = 0,15$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень [33];

$B_r$  – річний обсяг дисків сошників відновлюваних за вказаною технологією, шт.

Витрати  $C_y$  на виготовлення вібраційної установки для зміцнення робочої поверхні дисків сошників вібраційним методом визначали за формулою:

$$C_y = C_k + C_{od} + C_{nd} + C_{cb} + C_{on}, \quad (4.10)$$

де  $C_k$  – ціна виготовлення виробів корпусних деталей, грн.;

$C_{od}$  – затрат на виготовлення оригінальних деталей, грн.;

$C_{nd}$  – ціна покупних деталей і складальних одиниць, грн.;

$C_{cb}$  – заробітна плата виробничих працюючих, зайнятих на складанні конструкції, грн.;

$C_{on}$  – загальновиробничі накладні витрати на виготовлення (модернізацію) конструкції, грн.

Розраховані по залежності (4.10) затрати склали 5427 грн.

Визначення питомих капітальних вкладень виробництва визначали по залежності:

$$\kappa_1 = \frac{C_{o1}}{B_{r1}}; \quad \kappa_2 = \frac{C_{o2}}{B_{r2}}, \quad (4.11)$$

де  $C_{o1}$  і  $C_{o2}$  – вартість основних виробничих фондів за діючої технології виготовлення і розробленої технології відновлення дисків сошників;

$B_{r1}$  і  $B_{r2}$  – річна програма виготовлення та відновлення за розробленою технологією.

Розраховані за даними залежностями питомі капітальні вкладення склали:  $\kappa_1 = 0,53$  грн.;  $\kappa_2 = 0,37$  грн.

Собівартість відновлення  $C$  диска сошника визначали по формулі:

$$C = C_{з.п.} + C_m + C_{р.ф.} + C_{н.р.} + C_{i.в.}, \quad (4.12)$$

де  $C_{з.п.}$  – заробітна плата виробничих робітників, зайнятих в процесі відновлення, грн.;

$C_m$  – затрати на використовувані матеріали, грн.;

$C_{р.ф.}$  – вартість ремонтного фонду з урахуванням витрат на придбання обладнання, грн.;

$C_{н.р.}$  – накладні витрати, грн.;

$C_{i.в.}$  – інші витрати, грн.

Собівартість одного нового диска на період проведення досліджень по даним [34] в середньому склала  $c_1 = 50$  грн., а відновленого  $c_2 = 34$  грн.

Очікуваний економічний ефект від впровадження розробленої технології складе:

$$E = [(50 + 0,15 \cdot 0,53) - (34 + 0,15 \cdot 0,37)] \cdot 2400 = 38457 \text{ грн.},$$

де 2400 – річний об'єм відновленого диска сошника.

Додатковий прибуток від реалізації річного обсягу продукції досягає:

$$\Pi = [(Ц_2 - c_2) - (Ц_1 - c_1)] B_p, \quad (4.13)$$

де  $Ц_1$  и  $Ц_2$  – оптова ціна нового диска сошника і відновленого, грн.

$$\Pi = [(60,2 - 34) - (60,2 - 50)] \cdot 2400 = 38400 \text{ грн.}$$

Основні показники техніко-економічної ефективності відновлення дисків сошників наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Показники техніко-економічної ефективності

Показники економічної оцінки	Значення показників	
	існуюча технологія виготовлення	розроблена технологія відновлення
1. Річний об'єм виготовлення дисків, шт.	2400	2400
2. Собівартість одного диска, грн.	50	34
3. Собівартість комплекту дисків, грн.	2400	1632
4. Питомі капітальні вкладення, грн.	0,53	0,37
5. Річний економічний ефект, що очікується, грн.		38457
6. Економічний ефект на одиницю продукції, грн.		16,02

### Висновки

1. Ремонтно-обслуговуюче підприємство повинно мати екологічну паспортизацію, яка є одним з ефективних засобів охорони навколишнього середовища.
2. Наведені дані гранично допустимої концентрації шкідливих речовин у повітрі.
3. Наведені основні принципи екологічної експертизи.
4. Показана правова відповідальність за екологічні порушення.
5. Розроблена структура комплексу заходів, що запобігає травматизму і перешкоджає виникненню захворювань від дії шкідливих чинників.
6. Розроблені заходи щодо поліпшення стану охорони праці.
7. Порівняльні дослідження показали, що розроблена технологія зміцнення деталей пластичним деформуванням забезпечує підвищення їх зносостійкості.

8. Вартість диску сошника, відновленого за розробленою технологією, в 1,47 рази нижче в порівнянні з новими.

9. Фактичний економічний ефект від впровадження розробленої технології склав 38457 грн.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Для забезпечення якості поверхневого шару головну роль мають способи зміцнення поверхневим пластичним деформуванням, що дозволяють економити вартісні матеріали і забезпечувати високу технологічну точність процесу відновлення.
2. Приведені особливості способів поверхневого пластичного деформування.
3. Приведена методика дослідження структури і властивостей матеріалу деталей при їх обробітку тиском.
4. На основі використання рівнянь механіки деформівних тіл приведені рівняння і викладена методика визначення залишкових напружень.
5. Приводяться математичні залежності визначення довговічності деталей зміцненні поверхневим пластичним деформуванням.
6. Визначити основні параметри при відновленні деталей поверхневим пластичним деформуванням з використанням механічних коливань оброблюючого інструменту: частота коливань  $n=1400\text{хв}^{-1}$ ; амплітуда коливань  $A=0,5\text{ мм}$ ; час зміцнення оброблюваної поверхні 20с.
7. Встановлено, що ступінь зміцнення матеріалу деталей, відновлених приварюванням шин з наступним наплавленням сормайтотом при вібраційному деформуванні в 1,42 рази більша, ніж при звичайній обробці.
8. Дана значимість екологічної експертизи, яка є одним із ефективних перспективних заходів охорони навколишнього природного середовища.
9. Показана правова відповідальність за скоєні екологічні злочини.
10. Зроблений аналіз охорони праці в організації технології ремонтно-обслуговуючих робіт на підприємстві, а також при використанні розробленої технології відновлення деталей поверхневим пластичним деформуванням.
11. Розроблена технологія зміцнення деталей пластичним деформуванням забезпечує підвищення їх зносостійкості.
12. Економічний ефект від впровадження розробленої технології склав 38457 грн.