

**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет інженерно-технологічний**  
**Кафедра технологій та засобів механізації аграрного виробництва**

Пояснювальна записка

до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»  
на тему: «Підвищення довговічності шпонкових з'єднань способом  
установки додаткових елементів»

Виконав: здобувач вищої освіти за  
освітньо-професійною програмою  
Технології і засоби механізації  
сільськогосподарського виробництва  
спеціальності 208 Агроінженерія  
ступеня вищої освіти «*магістр*» групи 6  
Романовський Павло Олегович  
Керівник: Власовець В. М.  
Рецензент: Ветохін В. І.

**Полтава – 2021 року**

## РЕФЕРАТ

Дана робота на тему «Підвищення довговічності шпонкових з'єднань способом установки додаткових елементів» містить чотири розділи. Загальний обсяг становить: 65 сторінок пояснювальної записки, з використанням табличного, схематичного та графічного матеріалу.

**Об'єктом дослідження** є шпонкові з'єднання механічних приводів зернозбиральних комбайнів.

**Предметом дослідження** є закономірності контактної взаємодії робочих поверхонь деталей шпонкових з'єднань зернозбиральних комбайнів.

**Наукова новизна** полягає у виведених аналітичних залежностях, що оцінюють працездатність шпонкових з'єднань зернозбиральних машин при зміні конструктивно-регульовальних параметрів.

**Практична значимість.** Запропоновано способи підвищення працездатності шпонкових з'єднань зернозбиральних комбайнів застосуванням удосконалених їх конструкцій для передачі крутних моментів приводами, а саме шпонкові з'єднання, спосіб з'єднання з натягом деталей вал-втулка і знімна ступиця для монтажу обертового елемента на приводному валу.

Ключові слова: ТЕХНОЛОГІЯ, ШПОНКА, ЗНІМНА СТУПИЦЯ, ВІДНОВЛЕННЯ, ЗНОС, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, ІНТЕНСИВНІСТЬ ЗНОШУВАННЯ.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
Розділ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	9
1.1. Аналіз методів по підвищенню надійності зернозбиральних комбайнів та інших сільськогосподарських машин .....	9
1.2. Класифікація нерухомих з'єднань .....	13
1.3. Аналіз причин виходу з ладу і механізм зношування шпонкових з'єднань .....	16
Мета і завдання дослідження .....	20
Розділ 2. МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	21
2.1. Методика мікрометражу і визначення фізико-механічних властивостей деталей і елементів шпонкових з'єднань .....	21
2.2. Методика проведення випробувань.....	25
Висновки .....	27
Розділ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	28
3.1. Теоретичне обґрунтування підвищення працездатності шпонкового з'єднання зернозбирального комбайна .....	28
3.2. Способи підвищення працездатності шпонкового з'єднання.....	32
3.3. Теоретичний опис роботи модернізованого шпонкового з'єднання.....	34
3.4. Аналіз результатів мікрометражу і фізико-механічних властивостей деталей шпонкових з'єднань .....	39
3.5. Результати експлуатаційних випробувань.....	41
3.6. Аналіз часу відновлення працездатності нерухомих з'єднань.....	42
Висновки .....	45
Розділ 4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК..	46
4.1. Екологічна експертиза розробок .....	46
4.2. Охорона праці та безпека з надзвичайної ситуації.....	49

4.2.1. Актуальність проблеми безпеки людини у виробничому середовищі та при надзвичайних ситуаціях.....	49
4.2.2. Аналіз формування травмонебезпечних ситуацій .....	50
4.2.3. Висновки щодо підвищення стану охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуацій .....	54
4.3. Техніко-економічна оцінка працездатності зернозбирального комбайну обладнаного запропонованим нерухомим з'єднанням .....	54
Висновки .....	60
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	62

## ВСТУП

Складні механічні системи сільськогосподарських машин вимагають при своїй експлуатації забезпечення високої надійності, як в процесі перевезення вантажів, так і пасажирів, а також при виконанні виробничих операцій. Будь-які збої в роботі сучасної техніки неминуче призводять до серйозних економічних втрат, а часто і до екологічних катастроф.

Зазвичай зернозбиральний комбайн складається з великого числа різнорідних, але пов'язаних між собою складових частин і деталей: редуктор, підбирач, відбійний бітер, молотильний агрегат, жатка, зерновий шнек, шків, зірочки, шнеки, підшипники, шпонки, насоси, фільтри, транспортер, гальма та ін.

На зниження надійності роботи нерухомих з'єднань, як показує практика, спричиняє помітний вплив, як низька якість виготовлення, так і ремонту. При цьому не завжди витримуються встановлені допуски на виготовлення або ремонт. Іноді застосовується наявний матеріал, який не відповідає технічним вимогам. Є випадки пошкоджень і окремих елементів при складанні або демонтажі.

Не точне виготовлення шпонково-шліцьових з'єднань призводить до того, що шпонка в пазу починає перекошуватися не рівномірно сприймаючи виникаючі зусилля, і, як наслідок, швидко зношується і зминається, пошкоджуючи пази валу і втулки.

У зв'язку з цим, для підвищення ефективності використання складних сільськогосподарських машин, зниження витрат при їх функціонуванні, підвищення змінної продуктивності і зниження втрат зерна при його збиранні, виникла необхідність модернізації нерухомих з'єднань зернозбиральних комбайнів.

**Мета:** підвищення працездатності шпонкових з'єднань зернозбиральних комбайнів вдосконаленням їх конструкції.

**Об'єкт дослідження:** шпонкові з'єднання механічних приводів зернозбиральних комбайнів.

**Предмет дослідження:** закономірності контактної взаємодії робочих поверхонь деталей шпонкових з'єднань зернозбиральних комбайнів.

**Методика досліджень:** У роботі використовувалися теоретичні та емпіричні дослідження. Основний метод дослідження показників використання зернозбиральних комбайнів – статистичний. При обробці отриманих результатів застосовувалися методи математичної статистики і теорії ймовірностей.

## РОЗДІЛ 1

### СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### **1.1. Аналіз методів по підвищенню надійності зернозбиральних комбайнів та інших сільськогосподарських машин**

Ефективна робота зернозбиральних комбайнів багато в чому залежить як від надійності їх в цілому, так і окремо від агрегатів, вузлів, складальних одиниць і деталей, кожен з яких виконує певні функції.

Це обумовлено тим, що в процесі експлуатації зернозбиральних комбайнів під дією навантажень і факторів навколишнього середовища поступово змінюються форми робочих поверхонь деталей, збільшуються зазори в нерухомих з'єднаннях, порушується їх взаємне розташування і, як наслідок, працездатність знижується, а основні показники надійності погіршуються.

Для оцінки надійності зернозбиральних комбайнів використовуються одиничні і комплексні показники.

Для більш повної оцінки надійності застосовують комплексні показники такі, як коефіцієнт готовності, коефіцієнт технічного використання, коефіцієнт оперативної готовності, середні сумарні і питомі трудомісткості і вартості технічного обслуговування і ремонту [1].

Основоположні дослідження, присвячені технологічному процесу збиральної техніки, динаміці механічних систем, міцності та надійності елементів конструкцій зернозбиральних комбайнів і сільськогосподарських машин, розвитку технічного обслуговування і ремонту, способів відновлення деталей і підвищенню їх довговічності, провели В.П. Горячкін [2,3], Н.Ш. Адігамов [4], В.Я. Анілович [5], С.М. Бабусенко [6, 7], В.І. Балабанов [8], А.Г. Пастухов [9], В.І. Черноіванов [10,11] та інші вчені і дослідники.

У роботах зазначених вище авторів розглядаються і обґрунтовуються теоретично, практично і економічно заходи, спрямовані на забезпечення надійності сільськогосподарської техніки, її технічного обслуговування і ремонту, як в цілому, так і окремо вузлів.

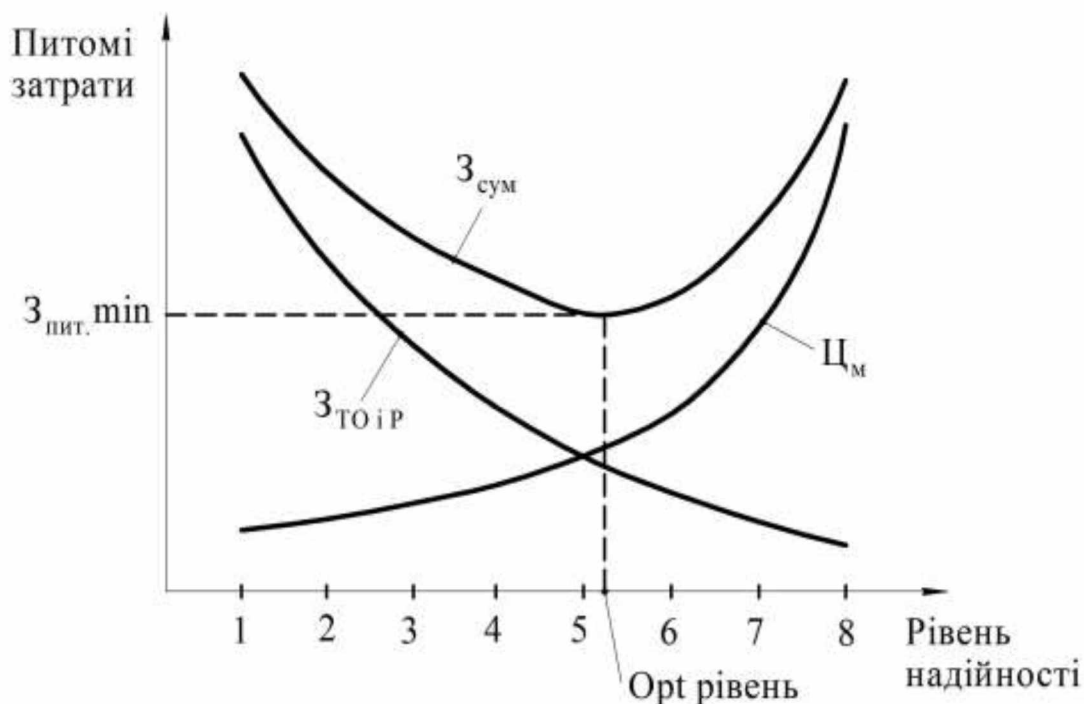
Багато авторів у своїх роботах [12,13] при дослідженні надійності сільськогосподарських машин і агрегатів приходять до висновку, що час безвідмовної роботи описується експоненціальним законом розподілу, а також законом розподілу Вейбула. Але слід зазначити, що процеси зносу і втомного руйнування різноманітні через вплив різних чинників, тому для різних деталей і вузлів загальність будь-якого закону малоімовірна.

Отже, обґрунтованість обраного закону розподілу для кожного конкретного випадку слід перевіряти експериментально.

Істотне місце в дослідженнях сільськогосподарських машин займає метод оцінки конструктивної і технологічної досконалості машин, висунутий академіком А.І. Селівановим [14], який пропонує використовувати ряд критеріїв-коефіцієнтів: довговічності, ремонтпридатності, рівномірності і стабільності регулювань. Дані коефіцієнти можуть бути отримані при наявності повної статистичної інформації по всіх деталях машин.

Аналогічний підхід розглянутий у наукових роботах В.В. Болотіна [15] і С.С. Дмитриченко [16], в яких запропонована якісна оцінка оптимізації рівня надійності машини, а не кількісна (рис. 1.1).

Аналіз робіт [17,18,19] вказує на те, що, в сучасних умовах підвищення технічного рівня і надійності комбайнів, що поставляються сільськогосподарським підприємствам, потребує докорінного якісної і кількісної зміни. Хоча за останні роки проведена велика робота по підвищенню надійності комбайнів, дещо підвищені такі показники, як безвідмовність, довговічність і ремонтпридатність окремих вузлів і деталей, але як і раніше це не задовольняє сільгоспвиробників, так як витрати на ТО і ремонт значно вищі і ростуть швидше, ніж вартість продукції сільськогосподарського виробництва.



$Z_{ТО і Р}$  – витрати на ТО і ремонт;  $C_M$  – ціна машини;  $Z_{сум}$  – сумарні витрати на ремонт і виробництво;  $Z_{пит. min}$  – мінімальні питомі витрати

Рисунок 1.1 – Оптимізація рівня надійності машин

Детальна класифікація відмов і їх причини показані на рис 1.2.

Основним методом підвищення ресурсу є коректний і достовірний розрахунок на етапі проектування, який дозволить уникнути відмов складових елементів конструкцій і машини в цілому.

У загальній практиці відмова елемента конструкції призводить до відмови машини в цілому і втрати її працездатності, що тягне за собою збільшення термінів виконання роботи, втрати прибутку тощо.

Якщо протягом певного інтервалу часу (ресурсу) відмови не виникають, то машина забезпечує працездатний стан на даний час, що виключає необхідність виконувати операції пов'язані з ремонтом і не вимагає відповідних витрат.

З вищевикладеного випливає, що при оптимізації довговічності техніки необхідне досягнення мінімальної собівартості роботи (одиниці продукції), яку виробляє машина за весь її амортизаційний термін служби.



Рисунок 1.2 – Класифікація причин відмов

## 1.2. Класифікація нерухомих з'єднань

Нерухомі з'єднання здійснюють передачу крутного моменту або сприймають дію осьових сил за рахунок сил зчеплення поверхонь деталей, що з'єднуються. До числа таких з'єднань відносять з'єднання вала зі шківом, зубчастим колесом, маховиком і іншими деталями, що обертаються разом з валом. Особливе значення мають нерухомі з'єднання, які призначені для багаторазового розбирання та збирання в період експлуатації, при ремонті, налаштуванні і регулюванні машин. До них відносять з'єднання з натягом, клемові, конусні і шпонкові з'єднання, причому останні поділяються на одношпонкові і багатшпонкові (шліцьові). Класифікаційна схема нерухомих з'єднань представлена на рис. 1.3.

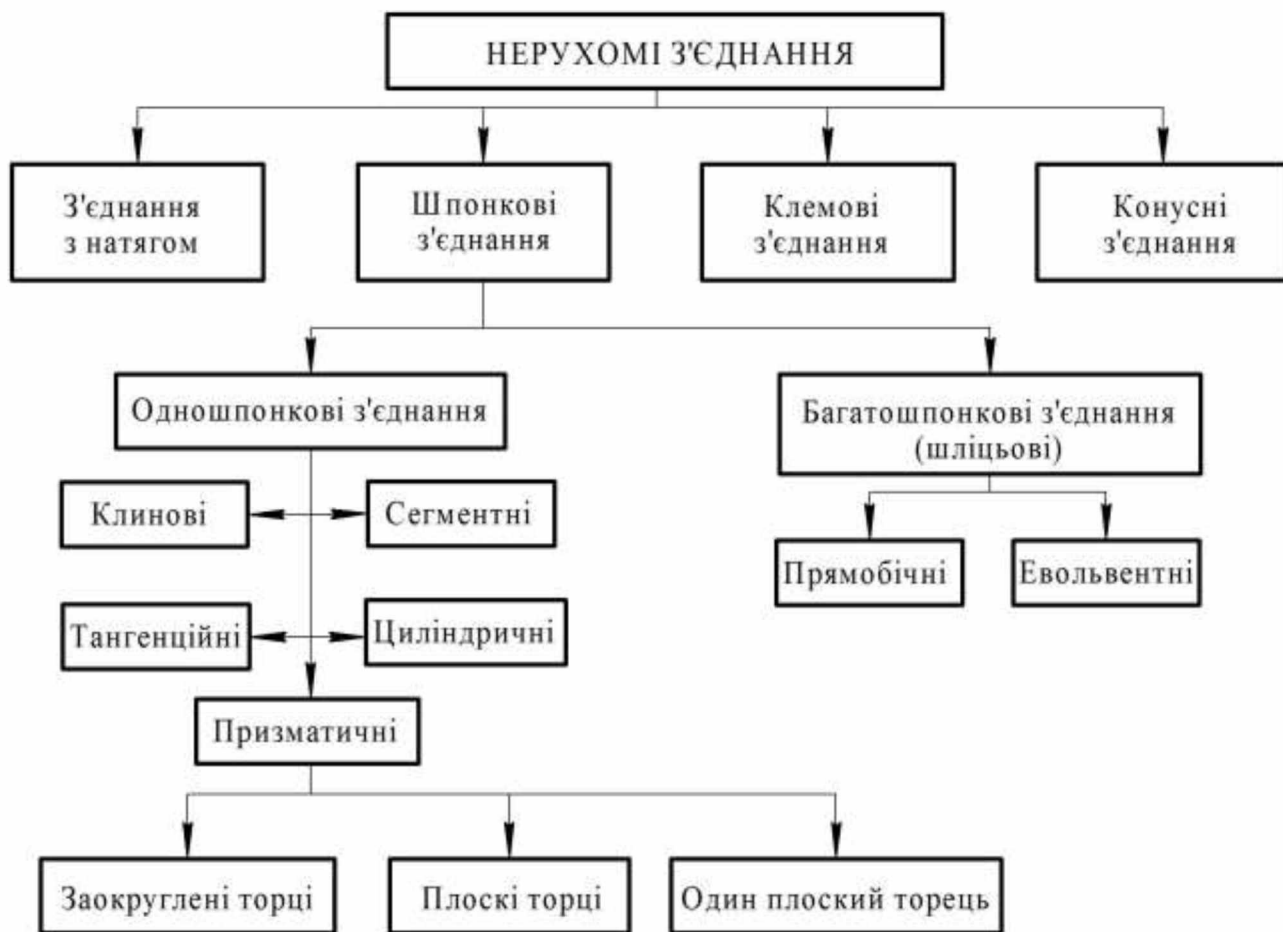


Рисунок 1.3 – Класифікація нерухомих з'єднань

Такі з'єднання використовуються при передачі крутного моменту, які, в свою чергу, складаються з двох або декількох більш дрібних деталей. Після складання з'єднання повинно забезпечити роботу вузла як єдиного цілого. З'єднання вважається працездатним, якщо прикладені зовнішні навантаження сприймаються ним без руйнування в контакті, а можливі при цьому переміщення залишаються пружними. Важливою характеристикою з'єднання є можливість його подальшого розбирання без руйнування поверхонь з'єднання.

За характером складання такі з'єднання виконуються за рахунок:

- використання сил тертя (з'єднання з натягом, конічні з'єднання, з'єднання конічними кільцями, клекове з'єднання);
- застосування допоміжних деталей (шпонок, штифтів, і т.п.);
- зачеплення (шліцьове з'єднання).

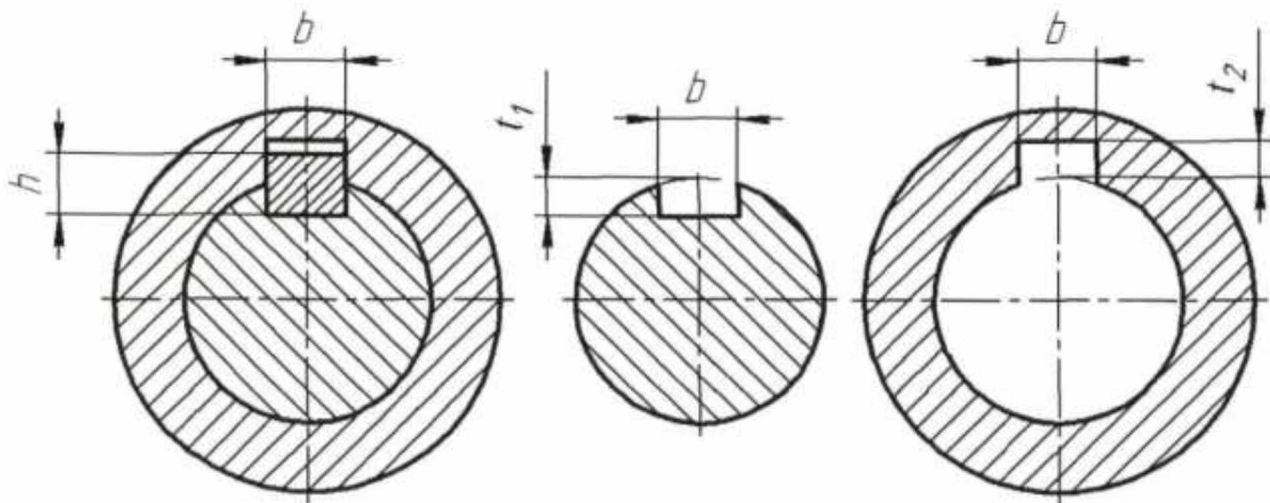
Кожен з представлених типів має свої переваги, недоліки і особливості, що, в кінцевому підсумку, і визначає область його ефективного застосування. Методи розрахунку кожного типу з'єднання істотно розрізняються.

Як зазначалося, одним з таких вельми відповідальних елементів є шпонкові з'єднання. По суті, це різновид шліцьового з'єднання вала з шестернею, колесом, фланцем або шківом. Від того, наскільки надійним в експлуатації буде таке сполучення, буде залежати стабільність і безаварійність роботи техніки.

Шпонкові з'єднання – один з видів з'єднань вала з втулкою з використанням додаткового конструктивного елемента (шпонки), призначеної для запобігання їх взаємного повороту. Найчастіше шпонка використовується для передачі крутного моменту в з'єднаннях обертового вала з зубчастим колесом або зі шківом, але можливі й інші рішення, наприклад – захист валу від провертання щодо нерухомого корпусу. На відміну від з'єднань з натягом, які забезпечують взаємну нерухомість деталей без додаткових конструктивних елементів, шпонкові з'єднання – роз'ємні

[20]. Вони дозволяють здійснювати розбирання і повторне складання конструкції із забезпеченням того ж ефекту, що і при первинному складанні.

Поперечний переріз шпонкового з'єднання з призматичною шпонкою представлено на рис. 1.4.



$h$  – висота шпонки;  $b$  – ширина шпонки;  $t_1$  – глибина фрезерування шпонкового пазу на валу;  $t_2$  – глибина фрезерування шпонкового пазу на втулці

Рисунок 1.4 – Поперечний переріз шпонкового з'єднання з призматичною шпонкою

З рис. 1.4 видно, що шпонкове з'єднання включає в себе мінімум три посадки: вал – втулка (центруючи з'єднання) шпонка – паз валу і шпонка – паз втулки. Точність центрування деталей в шпонкових з'єднань забезпечується посадкою втулки на вал. Це звичайне гладке циліндричне сполучення, яке можна призначити з дуже малими зазорами або натягами, отже – кращі перехідні посадки. У з'єднанні (розмірного ланцюга) по висоті шпонки спеціально передбачений зазор за номіналом (сумарна глибина пазів втулки і валу більше висоти шпонки). Можливо ще одне з'єднання – по довжині шпонки, якщо призматичну шпонку з закругленими торцями закладають в глухий паз на валу.

Шпонкові з'єднання можуть бути рухомими або нерухомими в осьовому напрямку. У рухомих з'єднаннях часто використовують напрямні шпонки з кріпленням до валу гвинтами. Уздовж валу за допомогою напрямної шпонки зазвичай переміщається зубчасте колесо (блок зубчастих коліс), напівмуфта або інша деталь. Шпонки, закріплені на втулці, також можуть служити для передачі крутного моменту або для запобігання повороту втулки в процесі її переміщення уздовж нерухомого вала.

За формою шпонки поділяються на призматичні, сегментні, клинові, циліндричні і тангенціальні [20]. Призматичні шпонки дають можливість отримувати як рухомі, так і нерухомі з'єднання. Сегментні шпонки і клинові шпонки, як правило, служать для утворення нерухомих з'єднань. Форма і розміри перерізів шпонок і пазів стандартизовані і вибираються в залежності від діаметра вала, а вид шпонкового з'єднання визначається умовами роботи з'єднання.

### **1.3 Аналіз причин виходу з ладу і механізм зношування шпонкових з'єднань**

Для підвищення терміну служби шпонкових з'єднань необхідно виявлення причин їх виходу з ладу, механізму та видів зношування і розробка ефективних методів, що збільшують надійність даних з'єднань.

Окремі випадки порушення геометричних форм пазів валу або втулки шпонкових з'єднань наведені на рис. 1.5.

Основні види пошкоджень шпонкових з'єднань представлені на рис. 1.6.

У більшості випадків деталь, що відмовила через руйнування шпонкового з'єднання має справну, складну у виготовленні робочу поверхню: струмки шківів і евольвентні зуби зірочки, вартість яких становить 80% від загальної вартості деталі [21].

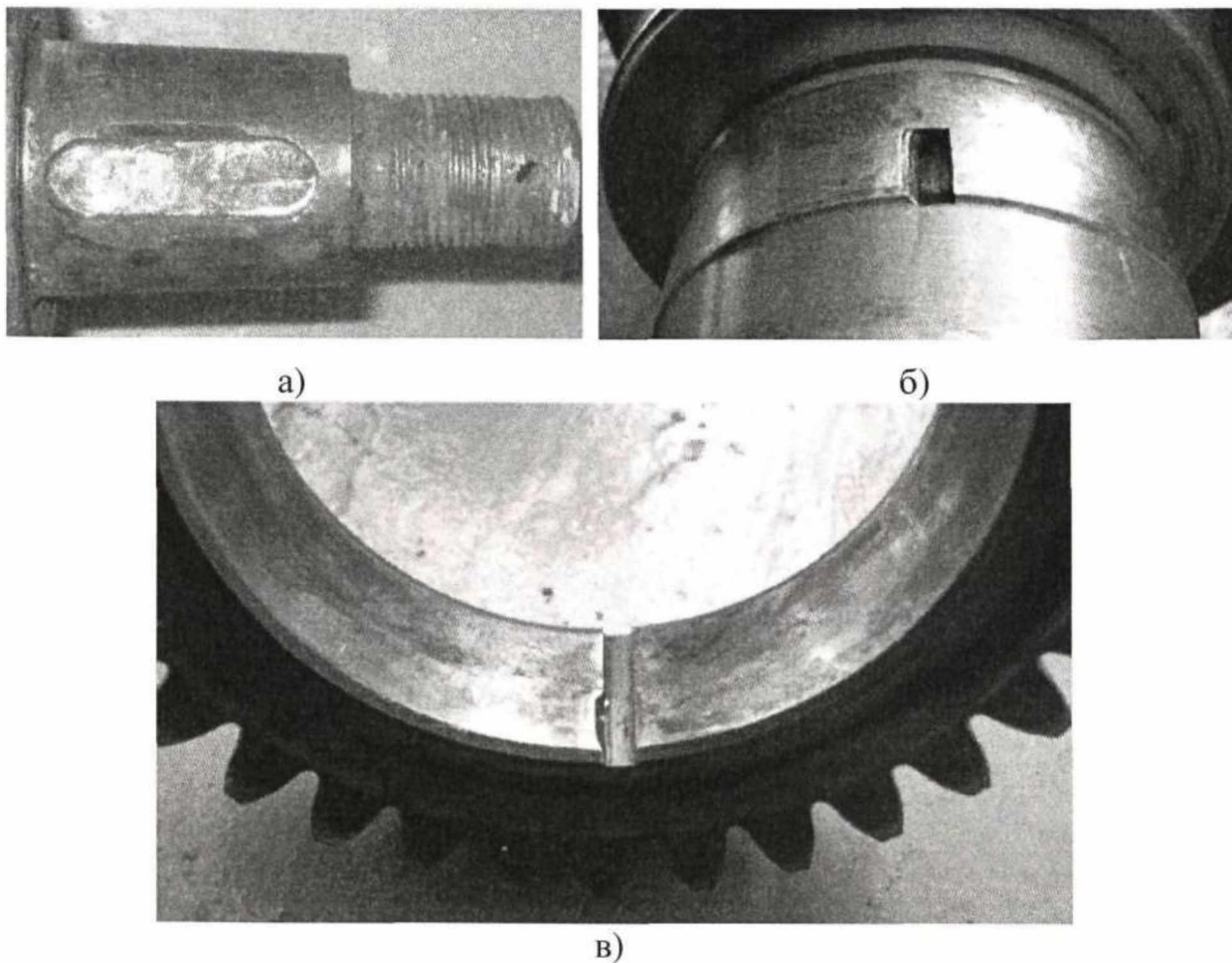


Рисунок 1.5 – Порушення геометричних форм пазів валу або втулки: а) вал МКШ комбайну «ДОН-1500»; б) колінчастий вал трактора John Deere 9420; в) шестерня газорозподільного механізму трактора John Deere



Рисунок 1.6 – Характерні види пошкоджень шпонкових з'єднань

Знос контактуючих поверхонь шпонки, вала і втулки є найбільш поширеним і передує іншим видам пошкоджень.

Найбільш часто зустрічаючими видами зношування шпонкових з'єднань є: абразивне, втомне, зношування внаслідок пластичної деформації і фретинг (рис. 1.7) [22].



Рисунок 1.7 – Види зношування шпонкових з'єднань

Найчастіше шпонкові з'єднання схильні до абразивного зношування, яке виникає через наявність зазорів в даному з'єднанні, що сприяють попаданню в них частинок забруднень.

Дослідження механізму абразивного зношування приведено в роботах В.М. Виноградова [23], М.М. Хруцова [24] та інших вчених. На величину руйнування при абразивному зношуванні впливають параметри абразивних частинок і основного матеріалу, передане навантаження і швидкість обертання з'єднання, амплітуда ковзання, температура і вологість навколишнього середовища. Причому твердість основного матеріалу і абразивних частинок є основним фактором.

Також для шпонкових з'єднань характерно зношування внаслідок пластичної деформації, що виявляється через значні контактні напруження, пов'язані з динамічними навантаженнями [24].

Наведені вище види пошкоджень шпонкових з'єднань виникають при наявності відносних зсувів поверхонь. Існує також зношування, викликане виникненням і руйнуванням тонких окисних плівок при мікропереміщенні

вала і втулки. Дане явище називається фретинг-корозія. Причому розрізняють такі визначення: фретинг – явище зносу між двома поверхнями, що мають коливальний відносний рух малої амплітуди; фретинг-корозія – різновид фретингу з переважанням хімічної реакції [25].

Інтенсивність зношування при фретингу буде залежати від таких факторів, як амплітуда і частота взаємних переміщень поверхонь, їх відносна швидкість, кількість циклів (тривалість) переміщень, властивості матеріалів поверхонь, величина контактного тиску, наявність мастила і параметри навколишнього середовища (температура, вологість).

Таким чином, оптимізація ресурсу і визначення рівня ймовірності безвідмовної роботи шпонкових з'єднань зернозбиральних комбайнів є однією з основних проблем в забезпеченні надійної роботи сільськогосподарської техніки і вимагає подальших досліджень, спрямованих на їх удосконалення.

У зв'язку з цим розробка заходів, що забезпечують підвищення працездатності шпонкових з'єднань зернозбиральних комбайнів за рахунок модернізації їх конструкції, становить практичний інтерес і є актуальною.

Проведений огляд досліджень в області підвищення надійності нерухомих з'єднань приводів зернозбиральних комбайнів дозволяє зробити наступні висновки:

1. Аналіз стану МТП, машин і устаткування показує, що кількість техніки для більшості сільгоспвиробників недостатня, а наявні засоби механізації морально і фізично застарівають. Недостатність техніки призводить до збільшення сезонних навантажень в кілька разів, підвищеного зносу і відмови машин при реалізації технологічних процесів. Це збільшує терміни виконання робіт і втрати виробленої продукції.

2. Недостатньо досліджені мікрометраж і фізико-механічні властивості деталей шпонкових з'єднань, що надходять в якості запасних запчастин.

## **Мета і завдання дослідження**

На підставі проведеного аналізу сформована наступна мета дослідження: підвищення працездатності шпонкових з'єднань зернозбиральних комбайнів вдосконаленням їх конструкції.

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

1. Виявити причини відмов шпонкових з'єднань основних приводів зернозбиральних комбайнів, які працюють в умовах рядової експлуатації.

2. Теоретично обґрунтувати способи підвищення працездатності шпонкових з'єднань зернозбиральних комбайнів і зниження часу їх відновлення в разі відмови.

3. Провести мікрометраж деталей шпонкових з'єднань, що надходять в якості запасних запчастин, і досліджувати рівень їх надійності в основних приводах зернозбиральних комбайнів в рядових умовах експлуатації.

4. Виконати дослідження працездатності існуючого і пропонованого шпонкових з'єднань зернозбиральних комбайнів і провести їх порівняльну техніко-економічну оцінку.

## РОЗДІЛ 2

## МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

**2.1. Методика мікрометражу і визначення фізико-механічних властивостей деталей і елементів шпонкових з'єднань**

Для проведення мікрометражу і визначення фізико-механічних властивостей деталей і елементів шпонкових з'єднань використовувався комплекс спеціального обладнання.

Відхилення розмірів нових і зношених елементів шпонкового з'єднання – вала, втулки і шпонки проводилося засобами вимірювань, представленими в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Засоби вимірювання вала, втулки і шпонки

Вимірювальний параметр	Засоби вимірювання	Ціна поділки, мм	Межі вимірювань	Похибка вимірювань
Діаметр вала	Мікрометри цифрові МКЦ-25, МКЦ-50	0,001	0-25 мм; 25-50 мм	±1 мкм
Шорсткість по поверхні вала, втулки і шпонки	Профілометр мод. 296		-200... +150 мкм	±1 мкм
Діаметр втулки	Нутроміри індикаторні НИ-18, НИ-50	0,001	10-18 мм; 18-50 мм	±1 мкм
Ширина і висота шпонки	Мікрометр цифровий МКЦ-25	0,001	0-25 мм	±1 мкм
Паз вала і втулки	Нутроміри індикаторні НИ-10, НИ-18	0,001	6-10 мм; 10-18 мм	±1 мкм
Плоско паралельність шпонки	Кутомір транспортний	2'	0... 180°	±2'
Твердість поверхні вала, втулки і шпонки	Твердомір ТК			

Виміри проводилися в трьох перерізах (I-I, II-II і III-III) і двох площинах (A1 і A2) (рис. 2.1), обчислювався середній розмір (відхилення).

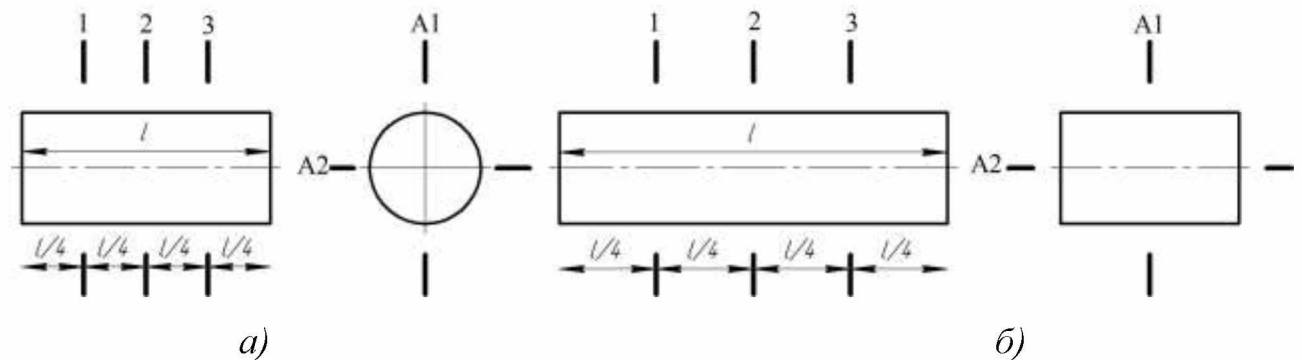


Рисунок 2.1 – Вимірювані перерізи і площини: а) вала і втулки; б) шпонки

Вимірювання сили натяжки різьбової частини знімної маточини для монтажу обертового елемента на приводному валу здійснювалося динамометричним ключем Jonnesway T06150, забезпеченого системою регулювання значення моменту з нерухомою рукояткою з вмонтованою шкалою (рис. 2.2). Регулювання проводилося обертанням кільцевого фіксатора. При підготовці інструменту до роботи пересувався фіксатор до торця рукоятки. Після настройки фіксатор повертався у вихідне положення.



Рисунок 2.2 – Загальний вигляд динамометричного ключа T06150

Для визначення шорсткості використовували профілометр портативний моделі 296.

Прилад (рис. 2.3) складається з таких вузлів: датчик, привід, електронний блок, пристрій, що складається із стояка, призми із столиком. Датчик перетворює лінійні коливання голки, які відповідають нерівностям поверхні в електричні сигнали.



Рисунок 2.3 – Загальний вигляд обладнання для вимірювання шорсткості

Профілометр портативний моделі 296 є високочутливим вимірювальним приладом для вимірювання шорсткості металевих і неметалевих виробів (пластмаса, скло та ін.) без пошкодження їх поверхні.

Дія приладу ґрунтується на принципі обмацування алмазною голкою датчика досліджуваної поверхні і перетворення коливань голки в змінну напруги за допомогою механотронного перетворювача.

На передній панелі електронного блоку розміщено: прилад для показань, кнопка вимкнення мережі, сигнальне вічко, перемикач діапазонів

вимірювань і кнопка пуску. Стояк використовується для закріплення приводу з датчиком при вимірюванні високих деталей.

При вимірюванні шорсткості циліндричних деталей на плиту стояка встановлюється призма.

Вимірювання ширини і висоти шпонок, а також діаметра валів проводилося контактним методом за допомогою застосування сучасних електронних мікрометрів МКЦ-25 (рис. 2.4) і МКЦ-50, відповідно.



Рисунок 2.4 – Загальний вигляд електронного мікрометра МКЦ-25

Вимірювання внутрішніх діаметрів шківів проводилося контактним методом за допомогою застосування нутромірів індикаторних НИ-18 і НИ-50 з головкою ІІГ (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд нутроміра індикаторного НИ 18-50 з головкою ІІГ

Вимірювання твердості проводилося за методом Роквелла на приладі ТК (рис. 2.6).

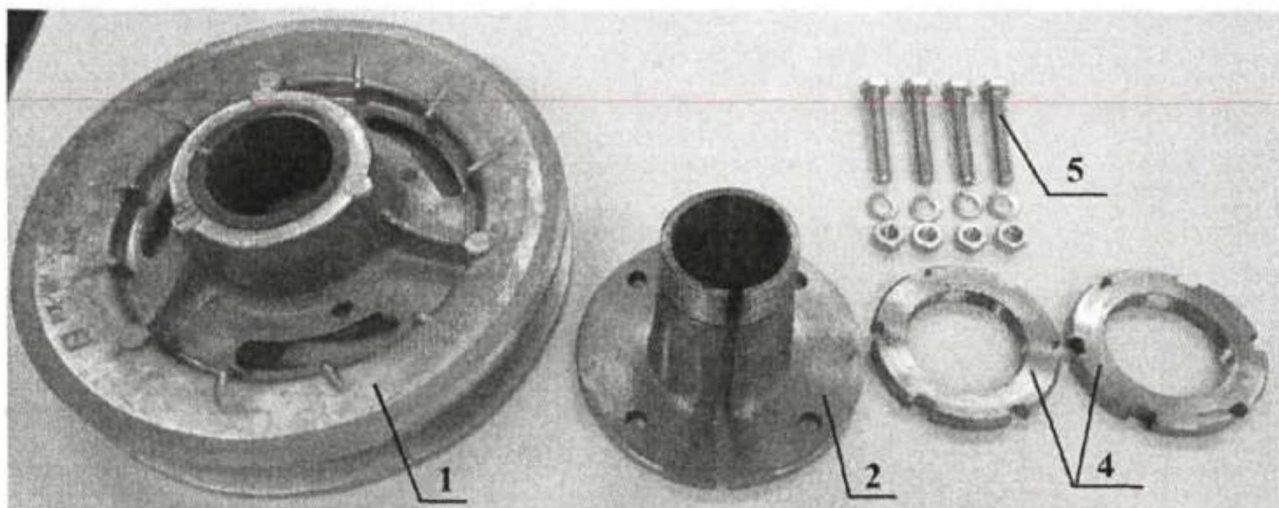


Рисунок 2.6 – Загальний вигляд твердоміра ТК

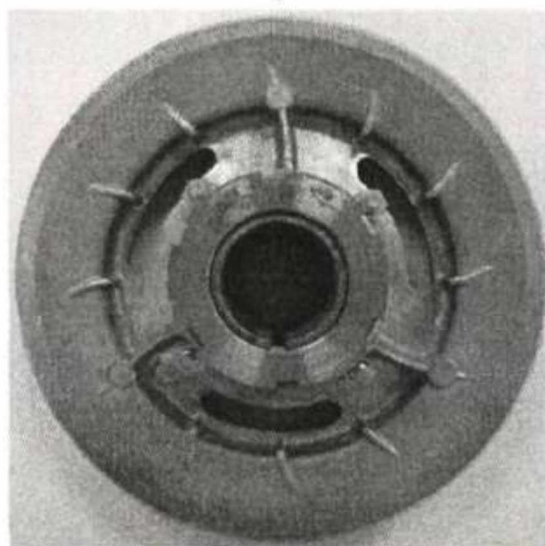
Вимірювання проводилося шляхом вдавнення в досліджувану поверхню алмазного конуса при прикладанні загального навантаження 588,4Н (60 кгс).

## **2.2. Методика проведення випробувань**

Для проведення порівняльних експлуатаційних випробувань на зернозбиральні комбайни «ДОН-1500» були встановлені пропонувані з'єднання – знімна маточина для монтажу обертового елемента на приводному валу (рис. 2.7) – і серійні (нові) шпонкові з'єднання. При цьому заздалегідь були відомі геометричні параметри з'єднань, а також шорсткість і натяг в з'єднанні.



а)



б)

а) складові деталі; б) в зборі (1 – обід шківа; 2 – конічна розрізна втулка; 3 – приводний вал; 4 – затискні гайки; 5 – стяжне болтове з'єднання)

Рисунок 2.7 – Знімна маточина для монтажу обертового елемента на приводному валу

З'єднання встановлювалися на задньому контрприводі РСМ10.01.34.140. Випробовували шість вузлів. Спостереження велися до міжконтрольного (фактичного) наробітку за експлуатаційний сезон. Щорічно проводилось розбирання – складання вищевказаних з'єднань з контролем

зносy. Також проводився порівняльний хронометраж часу відновлення працездатності пропонуваного і серійного шпоночного з'єднань.

### **Висновки**

1. Запропоновано методику мікрометражу і визначення фізико-механічних властивостей деталей і елементів шпоночних з'єднань

2. Представлена методика проведення експлуатаційних випробувань на зернозбиральних комбайнах «ДОН-1500».

## РОЗДІЛ 3

### РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### **3.1. Теоретичне обґрунтування підвищення працездатності шпонкового з'єднання зернозбирального комбайна**

Зернозбиральний комбайн можна уявити як самостійну складну технічну систему, і побудувати для нього ієрархічну схему (рис 3.1). Відповідно до цієї схеми, складовими частинами нерухомого з'єднання виступають деталі у вигляді шківів, шпонки, вала. Нижчими елементами ієрархічної схеми зернозбирального комбайна є: циліндрична робоча поверхня вала, що контактує з циліндричною поверхнею шківів; поверхню шпонки, яка одночасно взаємодіє з поверхнями шпонкових пазів шківів і вала.

Функціонально, за рахунок обертання валу і, відповідно, його бічних робочих поверхонь пази за допомогою бічної робочої поверхні шпонки, встановленої в ньому, передається крутний момент на бічні поверхні паза шківів з одночасним взаємним контактуванням циліндричної робочої поверхні вала з циліндричною поверхнею шківів.

Вище перераховані робочі поверхні деталей (РПД) нерухомого шпонкового з'єднання, що контактують між собою, повинні забезпечити максимальну передачу крутного моменту. Це і є цільове призначення РПД нерухомого шпонкового з'єднання.

Знос окремих деталей нерухомого шпонкового з'єднання відбувається, в основному, через поступове поверхнєве руйнування матеріалу деталей, що супроводжується відділенням частинок, зміною розмірів, геометричної форми і властивостей поверхневих шарів матеріалу.

Після встановлення цільового призначення РПД нерухомого шпонкового з'єднання, згідно узагальненої методики [26], необхідно

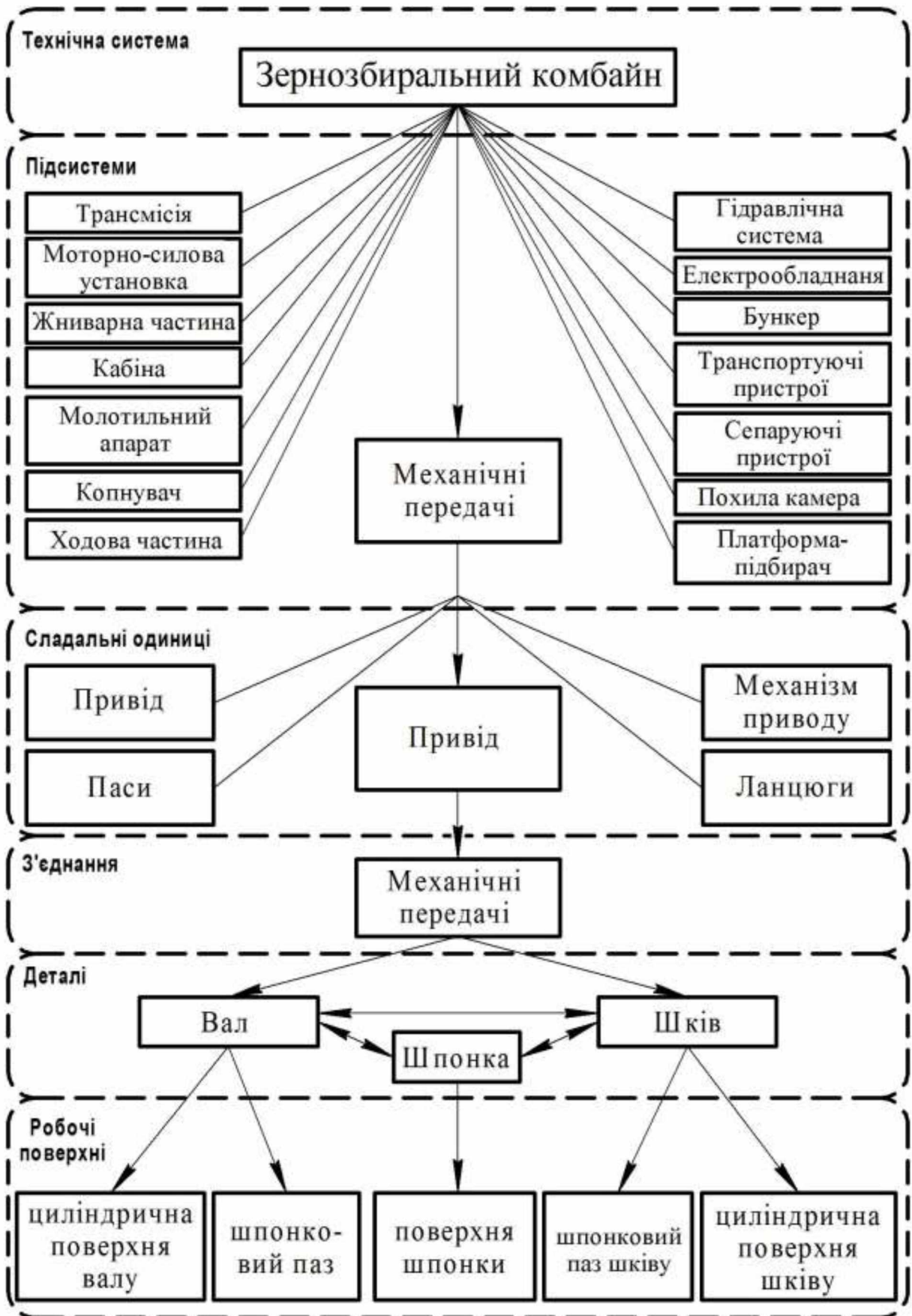


Рисунок 3.1 – Ієрархічна схема зернозбирального комбайна

встановити всі фактори, що впливають на оптимальну працездатність всієї технічної системи (нерухомого шпонкового з'єднання), і визначити функцію найвигіднішого рішення в підвищенні ефективності процесу передачі крутного моменту. Для цього розглянемо більш детально роботу основних РПД існуючих нерухомих шпонкових з'єднань зернозбиральних комбайнів.

З'єднання призматичними шпонками (рис. 3.2) ненапружене і вимагає виготовлення вала і отворів в ступиці з більшою точністю. Крутний момент за рахунок окружної сили  $F$  передається бічними гранями шпонки. При цьому на них виникають напруги зминання  $\sigma_{зм}$ .

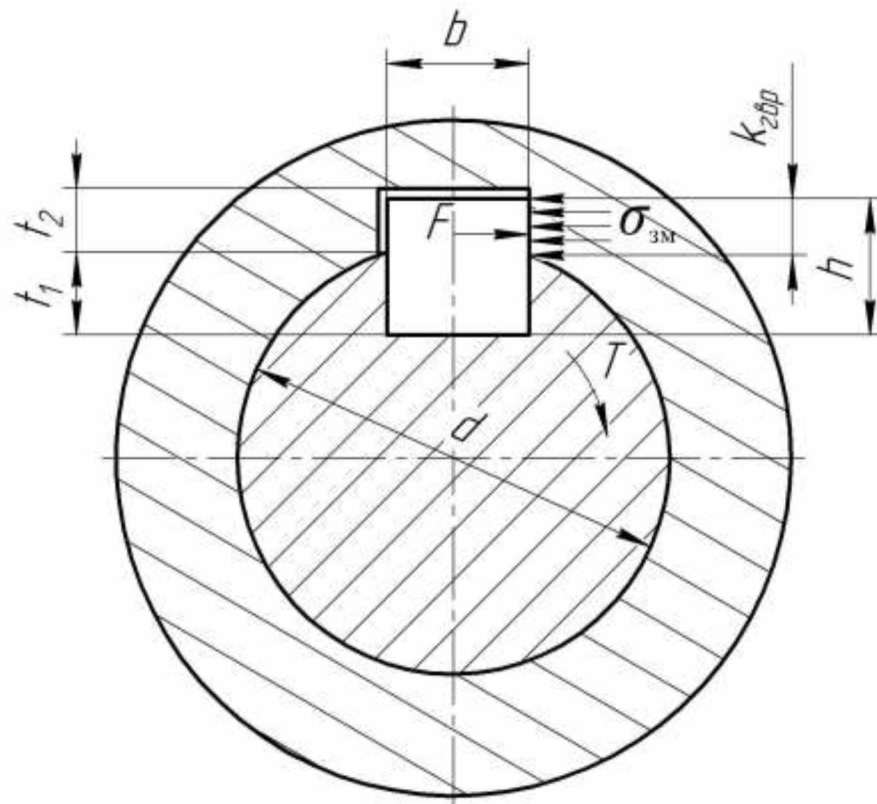


Рисунок 3.2 – З'єднання з призматичною шпонкою

У загальній практиці розрахунок на зминання призматичних шпонок [20] здійснюється за формулою:

$$\sigma_{зм} = \frac{2T}{d l_p k_{згп}} \leq [\sigma_{зм}], \quad (3.1)$$

де  $T$  – крутний момент, Н·м;  $l_p$  – робоча довжина шпонки, м;  $d$  – діаметр валу, м;  $k_{звр} = 0,4h$  – глибина врізання шпонки в ступицю, м;  $h$  – висота шпонки, м;  $[\sigma_{зм}]$  – допустиме напруження зминання матеріалу шпонки, МПа.

Як відзначають ряд дослідників, а також накопичений нами досвід спостережень реальної експлуатації зернозбиральних комбайнів дана залежність справедлива для з'єднання «вал – маточина», посадка яких виконана з натягом.

Проведений аналіз параметрів нерухомих з'єднань різних приводів зернозбиральних комбайнів за значеннями граничних зазорів і натягів показує, що в 85% посадка з'єднанням «вал – маточина» призначається з зазором [27].

З огляду на те, що найчастіше шпонкові з'єднання встановлюються на вихідних кінцях валів, то при проведенні ремонтних робіт, наприклад, заходів заміни підшипників, існує необхідність демонтажу даних з'єднань. Тому такий тип посадки вибирається з метою зменшення зусилля запресовування – випресовування і зниження трудомісткості ремонтних операцій при виконанні розбирально-складальних робіт [28].

Аналізуючи граничні зазори і натяги в посадках з'єднань вітчизняних комбайнів «ДОН-1500» можна прийти до висновку, що реальні допуски і відхилення значно відрізняються від нормованих. З моменту виходу з заводу, комбайн вже має з'єднання, що не відповідають рекомендованим полям допусків в з'єднанні «вал – маточина».

При посадці з зазором ресурс шпонкового з'єднання буде визначатися зазором в з'єднанні і кутом повороту маточини і вала. Якщо в з'єднанні «вал – маточина» є зазор, то при обертанні висота контакту паза маточини зі шпонкою буде відхилятися від розрахункової в залежності від кута повороту.

### 3.2. Способи підвищення працездатності шпонкового з'єднання

Вивчивши доступні пристрої і конструкції шпонкових з'єднань, нами була поставлена задача по розробці конструкції, що відповідає всім вимогам, які необхідні для оптимальної та довготривалої роботи [28]. Причому дана задача зводиться до двох напрямків: для нових деталей і для відновлення відмовлених (рис. 3.3).

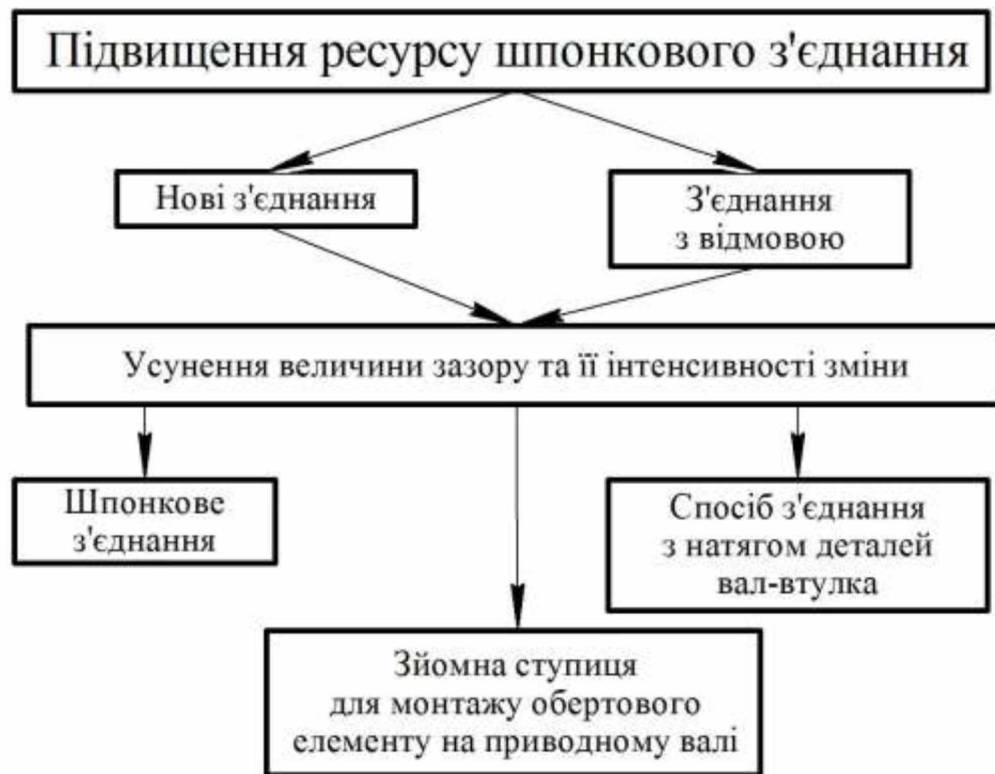
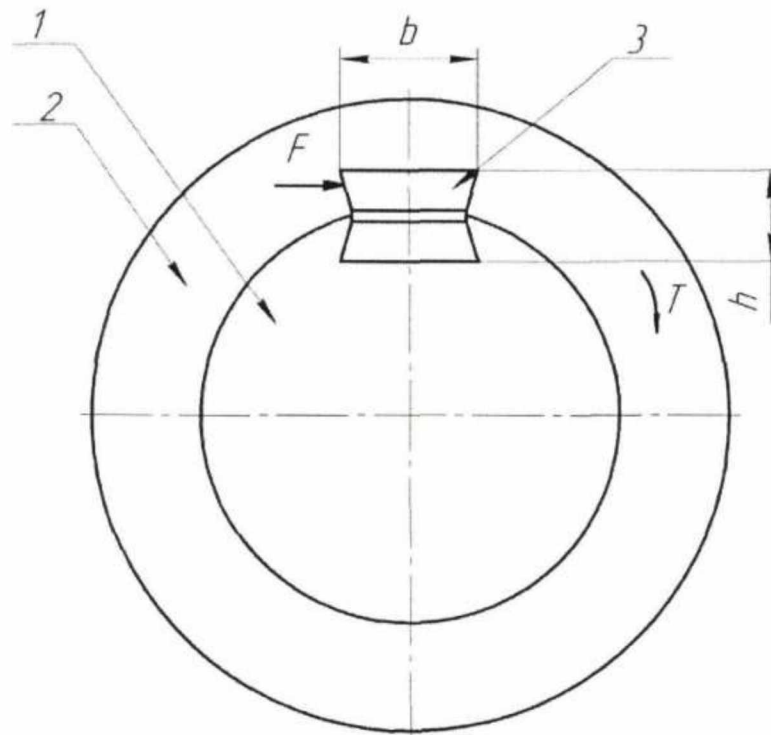


Рисунок 3.3 – Способи підвищення надійності шпонкового з'єднання

Для того щоб прибрати циклічність зміни швидкості контактування робочих поверхонь шпонки з матчиною, ми припускаємо стягнути проблемне з'єднання за принципом «подвійного ластівчиного хвоста», яке може застосовуватися як в нерухомих, так і в рухомих з'єднаннях, наприклад в ступиці відбійного бітера РСМ. 10.01.15.609А і в варіаторах (рис. 3.4). Але дане з'єднання має обмеження – воно може бути тільки встановлено на вихідному валу через конструктивні особливості. Пропоноване технічне рішення, можливо, здійснювати в основному на заводах-виробниках, а в

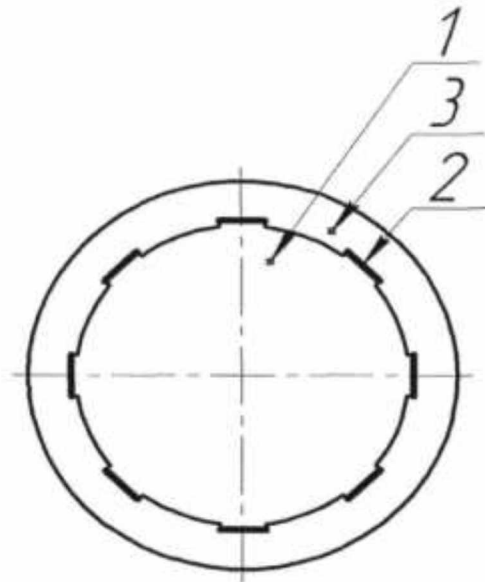
умовах ремонтних майстерень господарств менш прийнятно зважаючи на велику складність виготовлення.



1 – вал; 2 – ступиця; 3 – шпонка

Рисунок 3.4 – Шпонкове з'єднання у формі «Подвійний ластівчин хвіст»

При способі з'єднання з натягом деталей вал-втулка (псевдошліцьове з'єднання) мається на увазі створення на валу свідомо твердих ділянок у вигляді прямокутних секторів [29]. Збирання з'єднання здійснюється з натягом, що забезпечує вдавлювання твердих секторів валу в з'єднувану поверхню втулки, що і утворює псевдошліцьове з'єднання (рис. 3.5). При цьому збільшується кількість розбирально-складальних операцій з мінімальною зміною величини фактичного натягу в з'єднанні. Але слід зазначити, що дане конструктивне рішення має високу трудомісткість виконання, домогтися суворої форми зміцнених секторів досить складно, причому для розбирання необхідне застосування спеціального пристосування, що істотно знижує ремонтпридатність з'єднання.



1 – вал; 2 – зміцнений сектор; 3 – ступиця

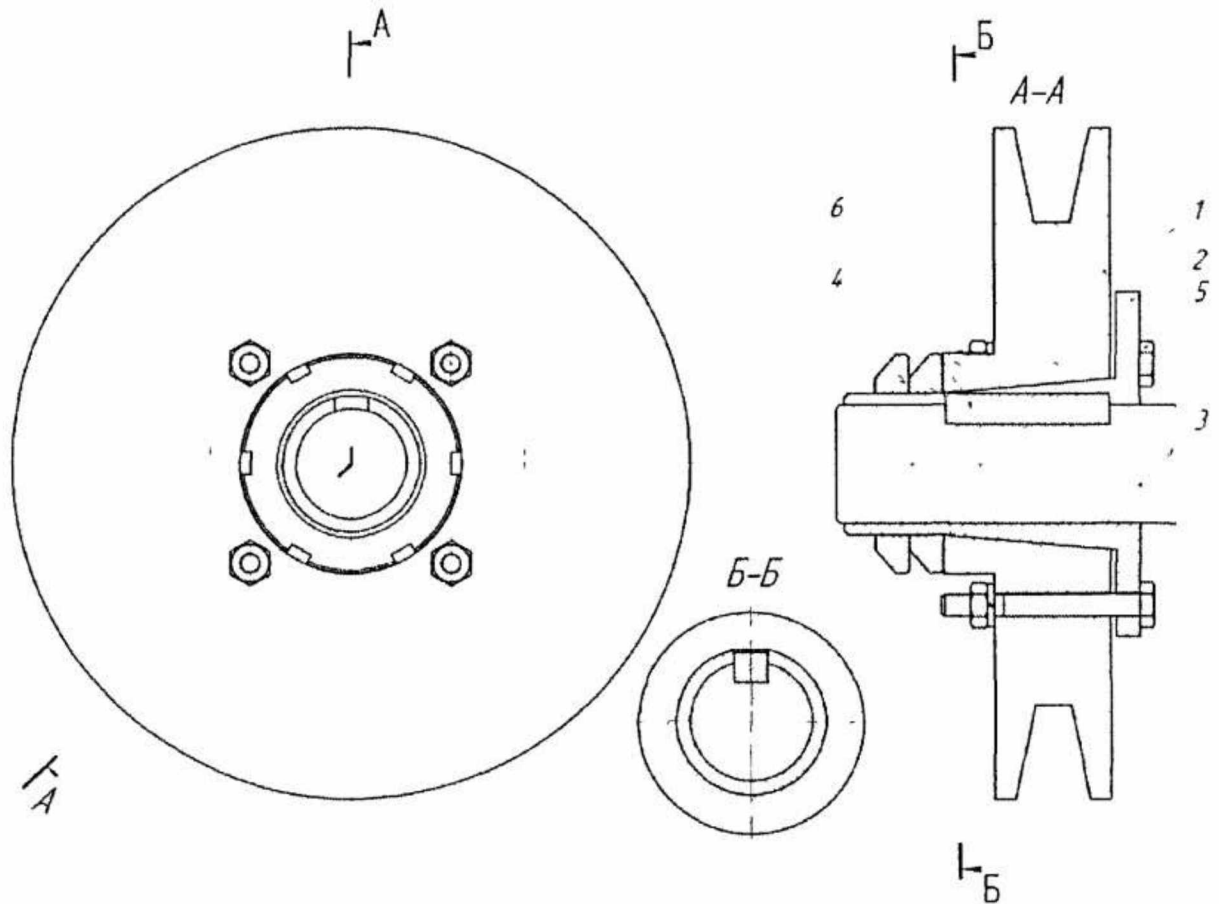
Рисунок 3.5 – Спосіб з'єднання з натягом деталей вал-втулка

Для реальних умов експлуатації зернозбиральних комбайнів найбільш ефективним є установка замість існуючих шпонкових з'єднань, де це дозволяють технічні вимоги, знімної маточини для монтажу обертового елемента на приводному валу, яка може бути виготовлена у вигляді ремонтного комплекту з достатньою точністю в ремонтних майстернях господарств. Слід зазначити, що існують деякі обмеження на установку пропонованої знімної маточини, яка не може бути застосована в рухомих з'єднаннях, наприклад у варіаторах. Даний пропонований ремонтний комплект повинен зменшити час відновлення працездатності.

### **3.3. Теоретичний опис роботи модернізованого шпонкового з'єднання**

Пропонована знімна маточина для монтажу обертового елемента на приводному валу (рис. 3.6) містить конічну розрізну втулку 2, що охоплює її приводний елемент – шків 1, затискні гайки 4, чотири стяжних болтових

з'єднання 5 і шпонку 6. Причому слід зазначити, що для передачі крутного моменту розробленим з'єднанням може використовуватися як шпонка, так і, в разі її відсутності або поломки паза вала, натяг в даному з'єднанні.



1 – обід шківів; 2 – конічна розрізна втулка; 3 – приводний вал; 4 – затискні гайки; 5 – стяжне болтове з'єднання; 6 – шпонка

Рисунок 3.6 – Схема пропонованого модернізованого з'єднання

В даному з'єднанні конічна розрізна втулка, що має наскрізну проточку, яка виконується з урахуванням ширини шпонки, фіксується на валу нерухомо натягом, який здійснюється затягуванням за допомогою гайки. Натяг створюється за рахунок напресування охоплюючого конуса приводного елемента – шківів на охопленій конус конічної втулки. Далі стяжними болтовими з'єднаннями, за допомогою отворів на тильній

шайбоподібній стороні в конічній розрізній втулці 2 і отворах в приводному елементі 1, стягують конічну розрізну втулку і приводний елемент.

Стяжні болтові з'єднання розташовані під кутом  $90^\circ$  до кожного з отворів, так як даний кут дозволяє надійно фіксувати конічну розрізну втулку і приводний елемент при мінімальному і оптимальній кількості стяжних болтових з'єднань, а також дотримати симетрію в знімній ступиці, що не створює ексцентриситет при обертанні знімної маточини. Далі на конічну розрізну втулку встановлюють стопорне кільце і потім гайкою його фіксують із зібраною в єдине ціле конічною розрізною втулкою і приводним елементом.

Працездатність даного з'єднання найчастіше порушується в результаті ослаблення деталей в посадці. Виявляють ослаблення за тими ж ознаками і шляхом тих же перевірок, що і ослаблення деталей пресового з'єднання. Аналогічно з дотриманням тих же умов ведеться в разі потреби і роз'єднання деталей. Зусилля, необхідне для роз'єднання, залежить від величини конуса спряжених поверхонь. У міру збільшення конуса сила, яка потрібна для розпресування, зменшується. Як правило, з технологічних міркувань кут конуса в з'єднанні виконується малим. За існуючими рекомендаціями, для різних видів конічних з'єднань величина конусоподібності  $K$  повинна знаходитись в наступних діапазонах: для з'єднання з натягом  $K = 1:8 \dots 1:50$ .

Для геометричної характеристики конічних з'єднань вводиться параметр конусоподібності  $K$  [30], що дорівнює:

$$K = \frac{d_{K_2} - d_{K_1}}{l} = 2 \operatorname{tg} \gamma, \quad (3.2)$$

де  $\gamma$  – половина центрального кута конуса, рад.;  $d_{K_1}$  і  $d_{K_2}$  – мінімальний і максимальний діаметри конічної втулки (рис. 3.7);  $l$  – довжина контакту, м.

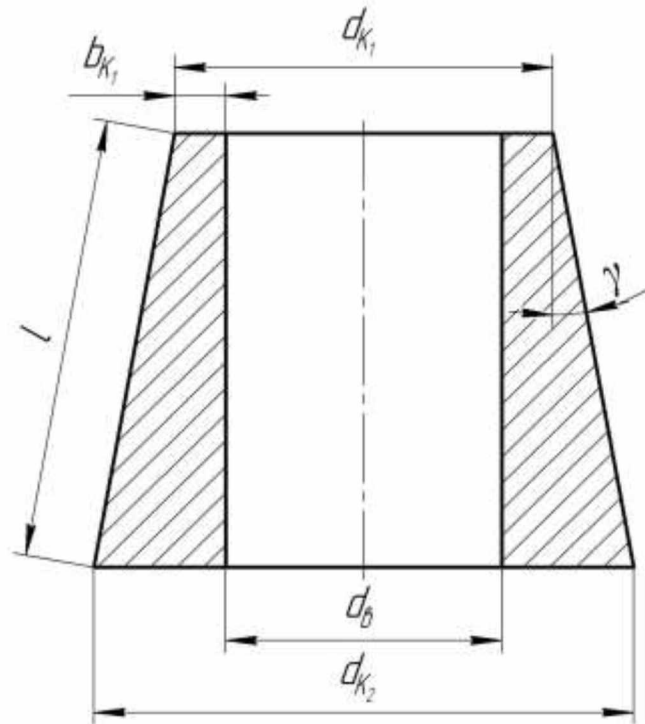
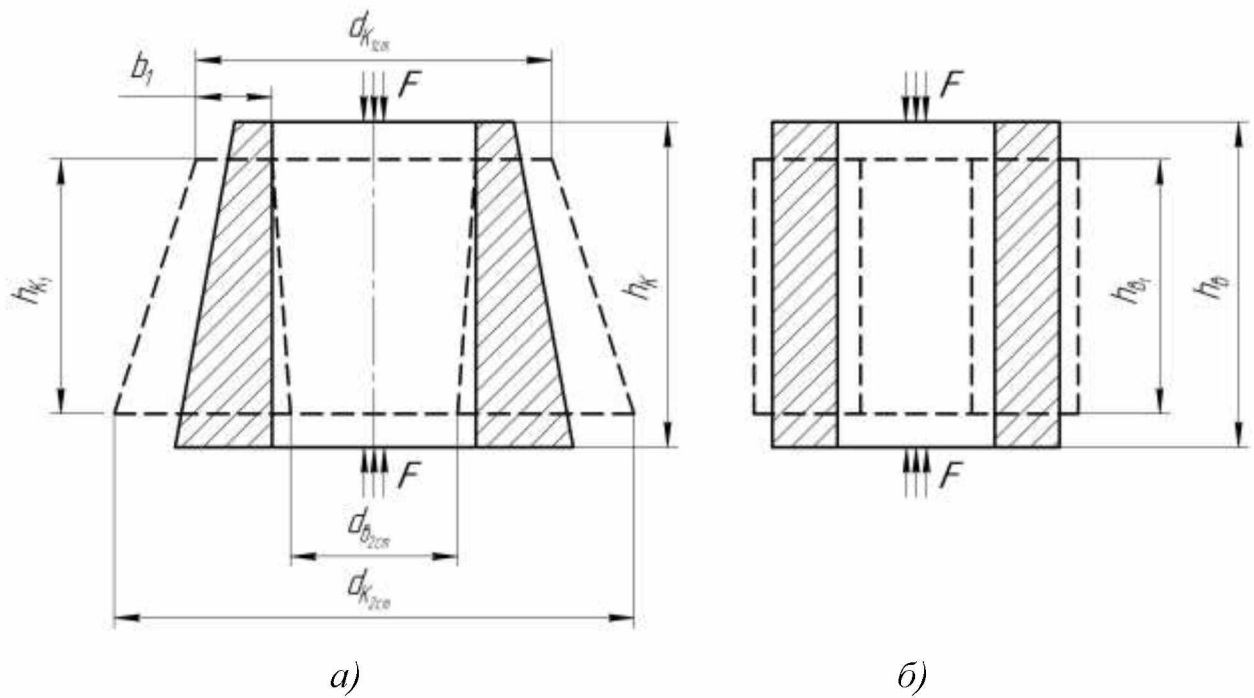


Рисунок 3.7 – Схема конічної втулки

Необхідно відзначити, що під дією сил стиснення  $F$  конічна втулка змінює свої геометричні параметри, так висота  $h_K$  зменшується до деякої величини  $h_{K1}$ . Аналогічно відбувається і з мінімальним і максимальним діаметрами конічної втулки, причому зміна розмірів відбувається нелінійно, в порівнянні з осадкою циліндричних втулок (рис. 3.8). Так мінімальний діаметр конусної втулки деформується менше, ніж великий.

У вивчених літературних джерелах [15, 21, 29] рішення навіть осесиметричної задачі про напружено-деформаційний стан усіченого конуса з циліндричним осьовим отвором не виявлено. Визначення напружено-деформованого стану конічної втулки (рис. 3.9) в загальному випадку являє собою контактну тривимірну задачу теорії пружності, вирішення якої можливе тільки чисельними методами, методом кінцевого елемента.



а) усіченого конуса з циліндричним отвором; б) циліндра з циліндричним отвором

Рисунок 3.8 – Схема зміни геометричних розмірів при стисканні в елементі у вигляді

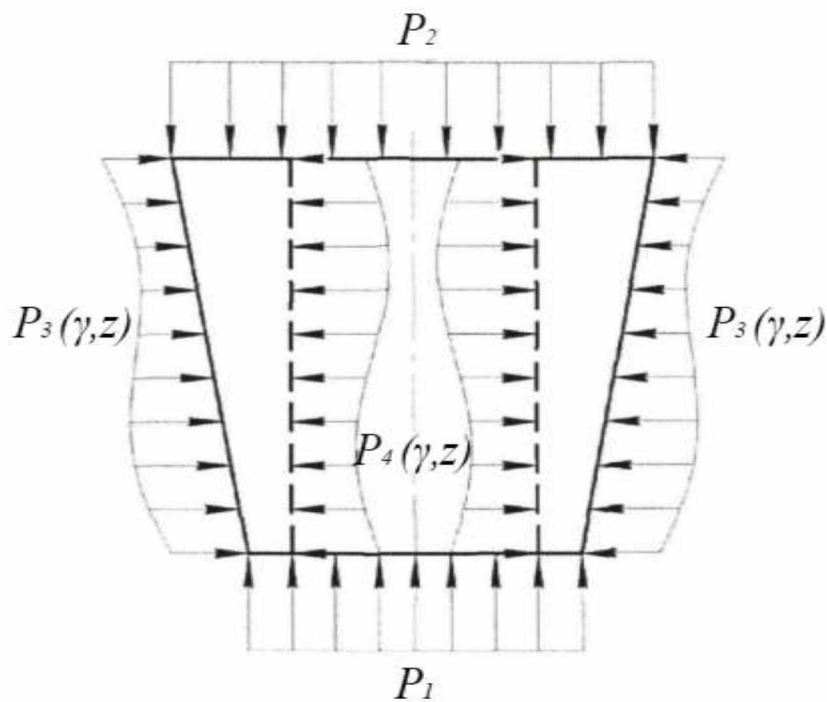


Рисунок 3.9 – Схема дії напружень на усічений конус з циліндричним отвором

При зтягуванні з'єднання виникає рівномірний розподіл зовнішнього навантаження по малому і великому діаметру конуса  $P_1$  і  $P_2$ , а також  $P_3, (\gamma, z)$ ,  $P_4, (\gamma, z)$  – контактні напруження, що з'являються між ободом шківів і втулкою і втулкою і валом, відповідно, за рахунок величини і характеру поперечних переміщень на бічних поверхнях втулки при її стисканні.

Навантаження  $P_1$  і  $P_2$  вважаються заданими, що виникають при зтягуванні з'єднання силою  $F_{зам}$ . Сила стиснення представляється у вигляді рівномірно розподілених навантажень на ділянках  $A_1$  і  $A_2$  – відповідно, площі торців малого та великого діаметру конуса:  $A_1 = \pi \cdot (r_1^2 - r_0^2)$ ;  $A_2 = \pi \cdot (r_2^2 - r_0^2)$ , при цьому умова рівноваги виглядає:

$$F_{зам} = A_1 \cdot P_1 = A_2 \cdot P_2. \quad (3.2)$$

#### **3.4. Аналіз результатів мікрометражу і фізико-механічних властивостей деталей шпонкових з'єднань**

В сучасних зернозбиральних комбайнах найбільш поширеними є шпонкові з'єднання з діаметрами 30...65 мм, в яких застосовують шпонки з розмірами 8x7x40, 12x8x45, 14x9x125 і 18x11x200 [20]. Деталі в шпонкових з'єднаннях одночасно пов'язані з трьома посадкам: «вал – маточина», «паз вала – шпонка» і «паз маточини – шпонка». Причому у всіх трьох видах посадок технічними умовами заводу виробника передбачений зазор, що безпосередньо впливає на працездатність з'єднання в цілому.

За результатами дослідження якості виготовлення нових шпонок, загальною кількістю 50 шт. кожного типорозміру, представленого вище, у яких відповідно до ГОСТ 23360-78 для номінального з'єднання поле допуску ширини шпонки дорівнює  $h9$ , встановлено, що її розсіювання збігається з законом нормального розподілу (рис. 3.10).

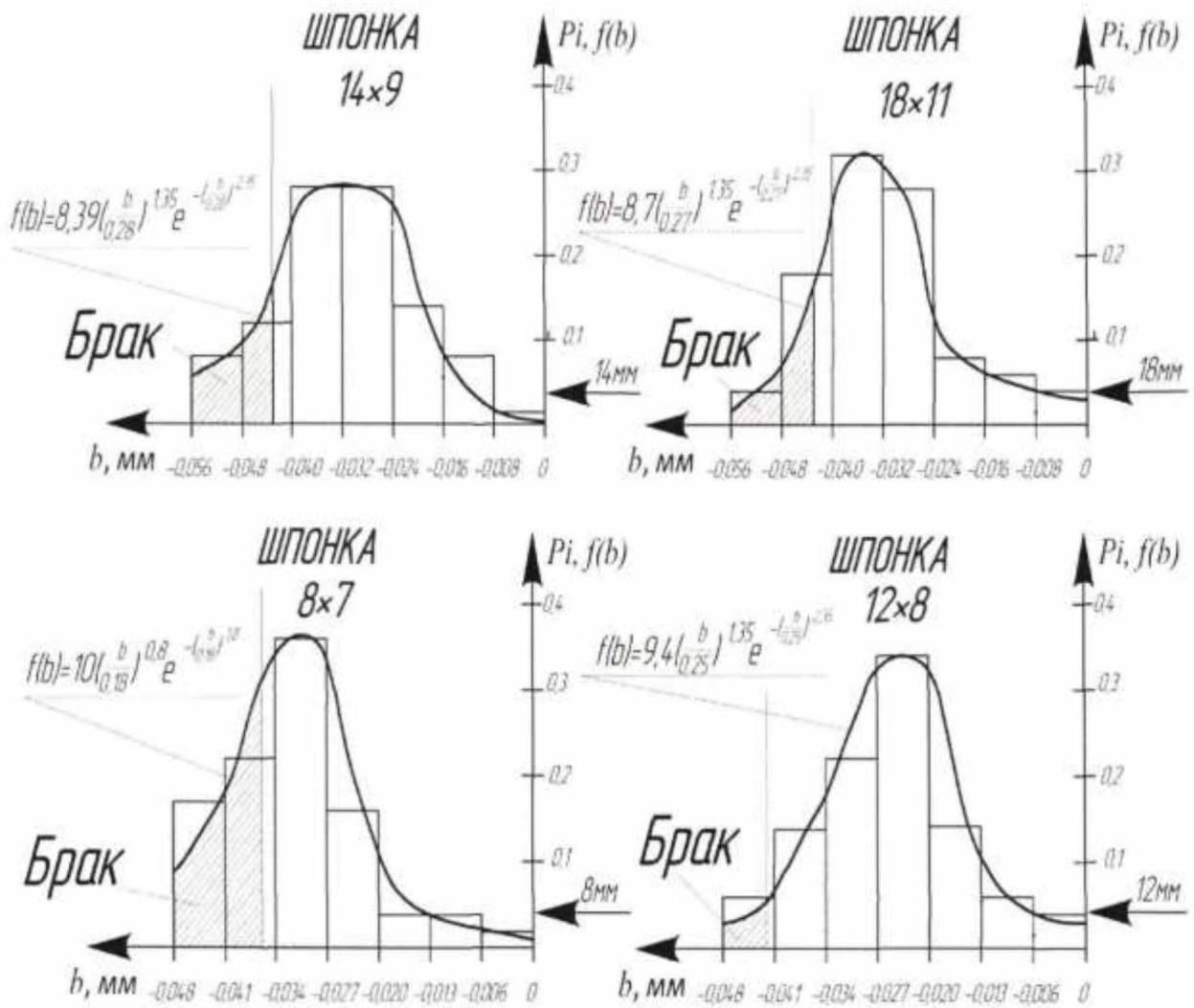


Рисунок 3.10 – Результати вимірювань шпонкових з'єднань по ширині шпонки

Результати проведеного вимірювання деталей шпонкових з'єднань показували, що до 15% деталей мають розміри, що не відповідають технічним умовам по ширині шпонки.

Але слід зазначити, що такі параметри як твердість і шорсткість перебувала в заданих межах рівних 218...220 НВ і 12...12,5 Ra, згідно ГОСТ 23360-78.

У свою чергу, мікрометраж діаметральних розмірів деталей сполучення «вал-втулка» показав, що при їх складанні явно існує можливість утворення зазору в даному з'єднанні, в якому характерна посадка H7/k6.

Проведеними дослідженнями встановлено, що розсіювання розмірів вала і маточини шківів, а також зазорів і натягів підпорядковується закону нормального розподілу і допуск деталей дорівнює величині поля розсіювання.

Теоретична ймовірність отримання зазорів в з'єднанні «вал-втулка»  $\varnothing 50$  відбійного бітера комбайна «ДОН-1500» (незаштрихована площа по кривій розподілу) становить 69,15 %, а експериментальна отримана на основі мікрометражу 76,23 %. В цьому випадку ймовірнісний натяг дорівнює 30,85 % і 23,77 % відповідно. Досліджений ймовірнісний натяг –16 мкм і зазор +26 є практично граничними. Слід зазначити явно виражену наявність браку в з'єднанні «вал-втулка»  $\varnothing 50$  відбійного бітера комбайна «ДОН-1500».

### 3.5. Результати експлуатаційних випробувань

Експлуатаційні випробування по визначенню ресурсу трьох стандартних шпонкових з'єднань і трьох запропонованих модернізованих, що встановлюються на комбайни з однаковим напрацюванням і маркою «ДОН-1500Б», проводилися в рядових умовах експлуатації в західній частині Полтавської області. Випробування проводилися до досягнення граничного стану кожним з'єднанням, при якому подальша передача крутного моменту і експлуатація неможливі. Показники експлуатаційних випробувань з'єднань представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Показники експлуатаційних випробувань з'єднань

№ з'єднання	Вид з'єднання	Середнє значення ресурсу, год.
1	Стандартне шпонкове з'єднання	59
2		71
3		86
4	Запропоноване модернізоване з'єднання	203
5		224
6		231

Таким чином, застосування пропонованих модернізованих з'єднань забезпечує підвищення ресурсу в 2,36 ... 3,91 рази в порівнянні зі звичайними шпонковими і самого комбайна, будучи його складовим елементом конструкції.

### 3.6. Аналіз часу відновлення працездатності нерухомих з'єднань

Загальний час відновлення працездатності комбайна визначається наявністю матеріальних і трудових ресурсів, станом ремонтної бази, оперативної організацією технічного обслуговування, ремонту і усунення відмов для конкретного сільськогосподарського підприємства. Тому були розглянуті різні варіанти усунення відмов, на прикладі заднього контрпривода комбайна «ДОН-1500Б». Номер деталей з'єднання згідно загального каталогу: приводний шків РСМ-10.01.34.140, вал РСМ-10.01.34.060. В даному з'єднанні є три види посадки:

- «шків контрприводу-вал»  $\varnothing 40 \begin{pmatrix} +0,062 \\ -0,062 \end{pmatrix}$ , технічними умовами передбачено зазор в з'єднанні «ступиця-вал»  $0 \dots +124$  мкм;
- «паз вала-шпонка»  $12 \begin{pmatrix} -0,043 \\ -0,043 \end{pmatrix}$ ,  $-43 \dots +43$  мкм;
- «паз ступиці-шпонка»  $12 \begin{pmatrix} +0,021 \\ -0,021 \\ -0,043 \end{pmatrix}$ ,  $-21 \dots +64$  мкм.

Через умови роботи і призначених посадок найбільш вираженим дефектом є знос внутрішнього посадочного діаметра ступиці, шпонкових пазів і шпонки.

Для відновлення працездатності даного з'єднання, в залежності від стану матеріально-технічної бази підприємства, наявності технологічного оснащення, забезпеченості запасними частинами і пристосуваннями, застосовуються такі способи усунення відмов [16, 25].

Перший спосіб включає в себе заміну всіх пошкоджених деталей на нові. Даний спосіб доцільно застосовувати при плановому ремонті зернозбирального комбайна до настання збиральних робіт, так як він передбачає значний час на проведення розбирально-складальних операцій. Але в разі виникнення відмови в період збирання вказаний спосіб раціонально застосовувати при наявності запасних частин в господарстві або якщо час їх доставки нетривалий.

Другий спосіб – це заміна тільки зношених шківів і шпонки на нові. Це можливо в разі, якщо посадочні розміри вала знаходяться в допустимих межах. Даний спосіб найбільш широко застосовується на практиці, особливо в період збиральних робіт, коли потрібне швидке повернення комбайна до виконання обмолоту культур. Але при цьому слід зазначити, що при такій заміні не забезпечується повне усунення причин зносу деталей шпонкового з'єднання і виходу з ладу. Хоча посадочне місце на валу і знаходиться в допустимих межах, але воно зношене, і з'єднання вала з новою ступицею шківів починає роботу при збільшеному зазорі. Це може призвести до відмови даного з'єднання в період збирання цього ж року.

Третій спосіб передбачає відновлення працездатності за рахунок ремонту деталей з'єднань, що вийшли з ладу. Воно включає фрезерування паза в протилежній частині вала і шківів під номінальний розмір і подальше складання з'єднання, із заміною шпонки на нову. Даний спосіб відновлення може бути ефективним для зниження простою збиральної техніки, якщо відмовлені елементи відсутні, а їх доставка пов'язана зі значним часом (наприклад, для імпоротної техніки). Причому ступінь відновлення точності відмовленого з'єднання буде недостатня, як і в другому способі. Це пов'язано із забезпеченістю і ступенем зносу металорізального обладнання майстерні, рівнем кваліфікації слюсарів ремонтників, верстатників, зварювальників та інших.

З цього випливає, що якщо у сільськогосподарських виробників є можливість придбання і швидкої поставки відказаних елементів шпонкового

з'єднання, то більш доцільним є заміна всіх деталей на нові. При цьому будуть відновлені норми точності з'єднання приводу, які встановлені нормативно-технологічною документацією. Причому слід зазначити, що хоча вони і відновлюють працездатність, але не усувають основні причини виходу з ладу деталей даного з'єднання.

Так як ці способи малоефективні, можливим рішенням проблеми є застосування нових конструкцій. Сутність їх полягає в наступному: виготовлення з пошкоджених шківів ремонтних самозатягуючих знімних маточин – 4 спосіб, і фрезерування паза у вигляді «ластівчин хвіст» – 5 спосіб.

На підставі раніше проведених досліджень встановлено можливість зниження коливань шпонкового з'єднання за рахунок усунення зазору між маточиною шківа і валом, але при цьому зберігається умова багаторазового розбирання-збирання з'єднання, що призведе до зниження економічних витрат. Цей спосіб передбачає установку самозатягуючих знімних маточин і заміну зношеної частини шківа на етапі ремонту, тому в період збирання на комбайні вже буде встановлений шків з даної маточиною.

Порівняльний аналіз даних способів представлений в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Порівняльний аналіз способів відновлення працездатності нерухомих з'єднань

Операції	Час на проведення операції, хв.				
	1 спосіб	2 спосіб	3 спосіб	4 спосіб	5 спосіб
Тоо	5	5	5	5	5
Тпио	2	2	2	2	2
Тврс	52	10	52	10	10
Тдре	30 (150*)	30 (150*)	30	10	30
Тдрм	–	–	141	–	–
Твує	56	11	56	11	11
Тврр	10	10	10	10	10
Твсп	7	7	7	7	7
ТВПМ	3	2	4	2	2
<b>Σ</b>	<b>165 (285*)</b>	<b>78 (198*)</b>	<b>307</b>	<b>47</b>	<b>77</b>

\* – з урахуванням доставки запасної частини з найближчої фірми по продажу запчастин.

Аналіз способів відновлення працездатності показує, що пропонувані технічні рішення забезпечать зниження загального часу проведення відновлювальних робіт до 47 і 77 хвилин, що в 2,5...3,5 рази менше існуючих.

### **Висновок**

1. На підставі аналізу схеми роботи шпонкового з'єднання запропоновані рекомендації щодо вдосконалення розрахунку на зминання призматичних шпонок шляхом введення в нього змінного показника, що враховує взаємодію зазорів і кутів з'єднання в кожній точці руху.

2. Теоретично обгрунтовані способи підвищення працездатності зернозбиральних комбайнів застосуванням вдосконалених конструкцій для передачі крутних моментів приводами.

3. Проведений мікрометраж деталей шпонкових з'єднань, що надходять в якості запасних частин, показав в 70...90% випадків наявність зазорів в з'єднанні «вал-втулка», що негативно впливає на працездатність приводів.

4. Дослідженнями встановлено, що найбільш раціональним способом відновлення працездатності шпонкових з'єднань є застосування розробленого ремонтного комплекту, що дозволяє знизити час усунення відмови в 1,5...3 рази і підвищити його ресурс в 2,36...3,91 рази.

## 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.).

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 зацікавлені у реалізації проектних рішень або експлуатують відповідний об'єкт.

Інші екологічні експертизи можуть здійснюватися за ініціативою зацікавлених 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.

Об'єктом даної екологічної експертизи є досліджувана технологія відновлення шпонкових з'єднань механічних приводів зернозбиральних комбайнів.

При ремонті і відновленні деталей зернозбиральних комбайнів основними факторами, що впливають на оточуюче середовище є:

- металевий пил, що утворюється при обробці деталей на токарних, шліфувальних, хонінгувальних верстатах;
- різноманітні хімічні речовини та їх розчини, що використовуються при відновленні деталей шляхом нанесення покриттів;
- ПММ та продукти їх згорання, що утворюються під час обкатки двигунів;
- шум та вібрація при роботі металообробних верстатів, обкатувальних стендів та ін.

Проведений мікрометраж деталей шпонкових з'єднань, що надходять в якості запасних частин, показав в 70...90% випадків наявність зазорів в з'єднанні «вал-втулка», що негативно впливає на працездатність приводів.

Дослідженнями встановлено, що найбільш раціональним способом відновлення працездатності шпонкових з'єднань є застосування розробленого ремонтного комплексу, що дозволяє знизити час усунення відмови в 1,5...3 рази і підвищити його ресурс в 2,36...3,91 рази, що сприяє зменшенню забруднення навколишнього середовища при їх відновленні

## **4.2. Охорона праці та безпека з надзвичайної ситуації**

### **4.2.1. Актуальність проблеми безпеки людини у виробничому середовищі та при надзвичайних ситуаціях.**

Охорона праці в нашій країні охоплює заходи по подальшому полегшенні умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів охорони праці, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників. Вона тісно пов'язана з умовами праці.

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в умовах сільського виробництва – важливе завдання, вирішення якого забезпечить нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і оздоровленню умов праці, широкому впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

Кожна людина і, безперечно, людина з вищою освітою повинна усвідомлювати важливість питань уникнення ризиків у житті та праці.

Україна в освітньому плані приєдналася до Європейської програми навчання з ризиків FORM-OSE. Безпека життя та праці сьогодні формується як меганаука, без якої людство приречене на значні втрати.

Умови праці – це складне об'єктивне суспільне явище, що формується в процесі трудової діяльності під впливом взаємопов'язаних факторів соціально-економічного характеру, які впливають на здоров'я, працездатність людини, на її відношення до праці та ступінь задоволення від неї, на ефективність праці та інші економічні результати виробництва. Вони характеризуються оціночними показниками мікроклімату, наявністю в робочій зоні шкідливих та небезпечних виробничих факторів, психофізичним та естетичними елементами діяльності працівників господарства.

Охорона життя та здоров'я громадян у процесі їх трудової діяльності, створення безпечних та нешкідливих умов праці є одним з найважливіших державних завдань. Успішне вирішення цього завдання значною мірою залежить від належної підготовки фахівців усіх освітньо-кваліфікаційних рівнів з питань охорони праці.

З часу виникнення людської цивілізації кожна людина дбала про власну безпеку та безпеку своїх близьких так само, як і людству доводилось дбати про безпеку свого існування. Людська цивілізація досягає все більшої могутності, а проблема безпеки її існування стає все більш гострою. Актуальність проблеми охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях в світі значно зросла на початку третього тисячоліття. Сьогодні ця проблема стала пріоритетною для світової цивілізації.

#### **4.2.2. Аналіз формування травмонебезпечних ситуацій**

Всяке порушення аналітичної цілості організму або його функцій внаслідок дії на людину, дії будь-якого небезпечного фактора визначається як травма.

Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо на виробництві показав, що їх можна поділити на групи, які:

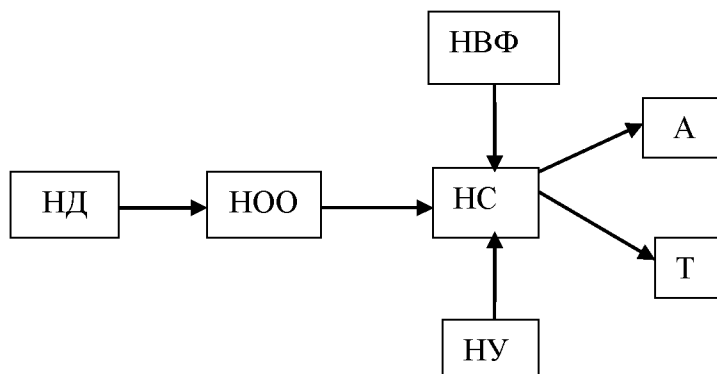
- характеризують стан або рівень безпеки виробничого обладнання або певного робочого місця, конструктивні недоліки конкретного вузла чи машини;
- спонукають працюючого допускати помилки у процесі роботи, низька кваліфікація працюючого та рівень знань з охорони праці;
- створюють можливість проникнення працюючого у небезпечну зону в наслідок відсутності відповідного контролю за дотриманням правил з охорони праці, та інші.

Якщо внаслідок аварії технічної системи виникли травми у людей, то сам випадок травми необхідно розглянути як подію, що є наслідком аварії.

Це стосується тих систем, у яких підсистемами одночасно є машина і людина. Якщо при функціонуванні таких систем з ладу вийшла машина, раптово припинивши свої функції внаслідок руйнування окремих деталей або самої машини, і це привело до значного матеріального збитку, то таке випадкове явище необхідно назвати аварією.

Усі явища, що формують небезпечну ситуацію, мають повну достовірність виникнення, а це означає, що небезпечні умови (НУ), небезпечні дії (НД), небезпечні обставини (НОО) і наслідки таких ситуацій: аварія (А), травма (Т) і сприятлива подія належить до випадкових явищ.

Оскільки при функціонуванні людино-машинних систем такі явища як травми, аварії мають дуже близькі механізми формування та виникнення, у подальшому ці явища будуть описуватись паралельно (рис.4.1).



НВФ – небезпечний виробничий фактор; НУ – небезпечні умови; НД – небезпечні дії; НО – небезпечні обставини; НС – небезпечна ситуація; А – аварія; Т – травма

Рисунок 4.1 – Блок-схема формування та виникнення травмонебезпечних аварійних ситуацій

Ступенева логіко-імітаційна модель виникнення нещасного випадку наведена на рис. 4.2.

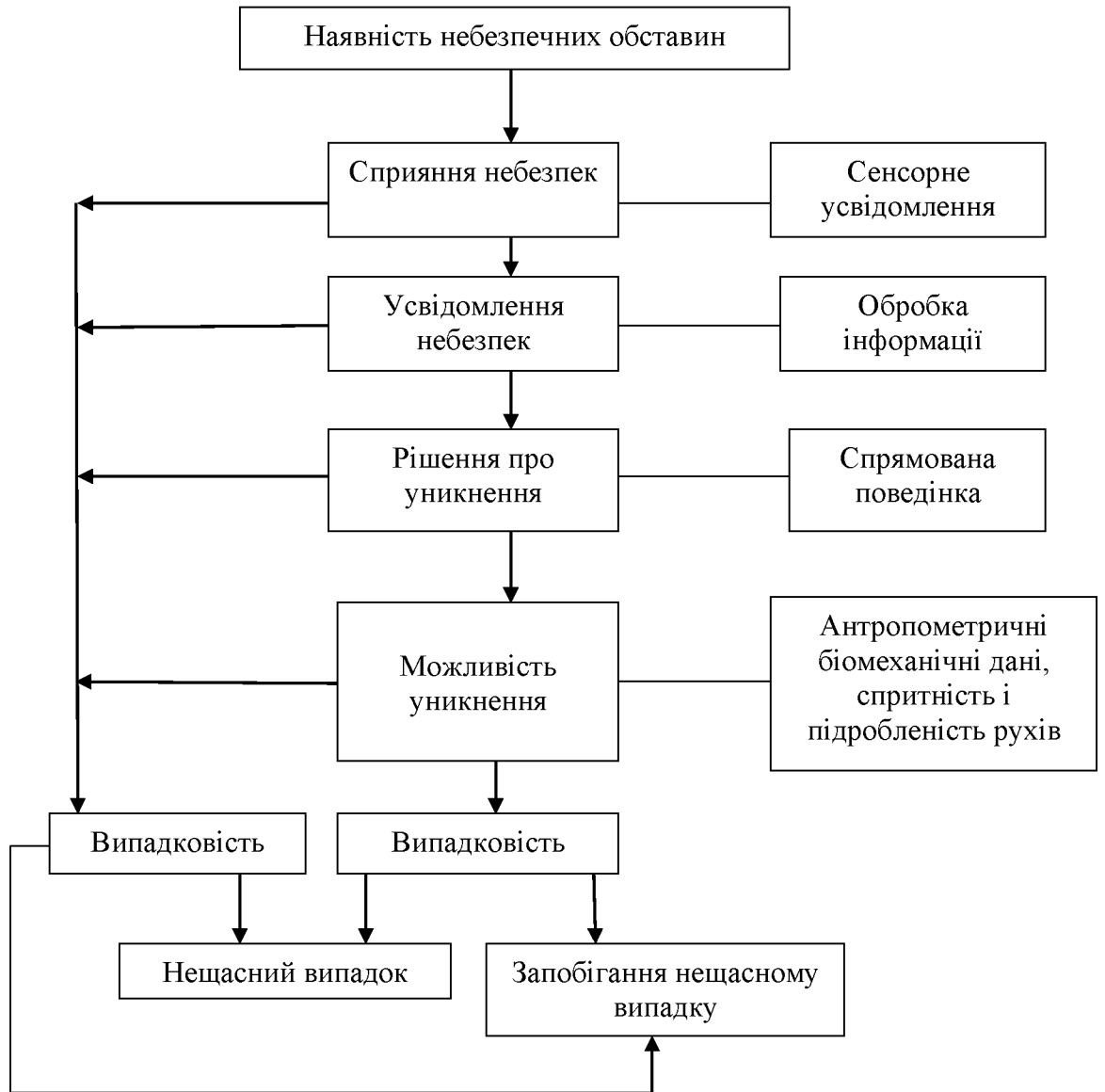


Рисунок 4.2 – Ступенева логіко-імітаційна модель виникнення нещасного випадку

Схема поетапного аналізу умов виникнення і розвитку аварій наведена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Схема постадійного аналізу умов виникнення і розвитку аварій

Найменування стадії розвитку аварійної ситуації (аварії)	Основні принципи аналізу умов виникнення (переходу на іншу стадію) аварійної ситуації (аварії) та її наслідків	Способи і засоби попередження, локалізації аварії
Виникнення пожежі	Оцінка й аналіз: можливих масштабів пожежі (площа, кількість горючих продуктів, склад продуктів згорання, в т. ч. неповного); наявності й ефективності засобів гасіння пожежі; вміння персоналу діяти при ліквідації осередка займання; оперативності й оснащення ДПЧ; наявності і характеристик джерел запалювання	Виключення джерел запалювання; оснащення ефективними засобами гасіння пожежі, засобами сигналізації і зв'язку; дії персоналу і спецпідрозділів щодо рятування людей, гасіння пожежі
Травмування людей	Аналіз кількісних енергетичних характеристик пожежі (енергія випромінювання) та вибуху; наявності і кількості людей в зоні можливого ураження	Рациональне планування промислового майданчика. Розміщення поза межами зони можливого впливу пожежі будівель адміністративного, побутового призначення
Знос, утомленість матеріалу апарата	Перевірка вивченості корозійних властивостей застосовуваних речовин; наявності даних щодо швидкості корозії і зносу; відповідності матеріалу устаткування (трубопроводів), захисного покриття, ущільнювальних матеріалів. Наявності умов для механічного ушкодження устаткування	Застосування обладнання підвищеної надійності, ефективного захисного покриття і захисних пристроїв
Вихід параметрів за критичні значення	Перевірка вивченості властивостей застосовуваних речовин; їх аналіз; виявлення особливо небезпечних речовин; виявлення параметрів, які визначають небезпечність технологічних процесів і їх критичні значення; оцінка достатності оснащення засобами, які виключають вихід параметрів за припустимі межі, їх ефективність, надійність	Дооснащення технологічних процесів засобами контролю, управління й протиаварійного захисту, підвищення їх надійності й ефективності; удосконалення технологічних процесів
Підвищена вібрація	Перевірка надійності й вірності кріплення апаратів, машин, трубопроводів, співосності з'єднань обертових пристроїв	Своєчасне проведення планово-запобіжних ремонтів

#### **4.2.3. Висновки щодо підвищення стану охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуацій**

У розділі охорони праці магістерської роботи представлений аналіз загальних питань охорони праці, розглянуто основні шкідливі фактори, що виникають в під час технологічного процесу та їх вплив на організм людини, запропоновано заходи для забезпечення нормальних умов праці:

- 1) для забезпечення безпеки обладнання запропоновані захисні і огорожувальні пристрої;
- 2) для виключення ураження електричним струмом необхідно застосування заземлюючих пристроїв;
- 3) для захисту від небезпечних хімічних речовин – використання спеціального захисного одягу;
- 4) для зменшення запиленості – використання вентиляції, для зменшення шуму і вібрацій – звукоізолюючі засоби;

#### **4.3. Техніко-економічна оцінка працездатності зернозбирального комбайну обладнаного запропонованим нерухомим з'єднанням**

Розрахунок економічної ефективності проводився для нерухомих з'єднань зернозбирального комбайну «ДОН-1500». Порівнювалась ефективність застосування запропонованої зйомної ступиці і типового шпонкового з'єднання.

Методика економічної оцінки велась у відповідності зі спеціалізованою літературою [33].

Собівартість відновлення деталі визначали як суму виробничих та зовнішньовиробничих витрат:

$$C_B = C_{\text{вир}} + C_{\text{з.вир.}}, \quad (4.1)$$

де  $C_{вир}$  – виробничі витрати, грн.;  $C_{з.вир}$  – зовнішньовиробничі витрати, грн.

Виробничі витрати розраховували по рівнянню:

$$C_{вир} = C_m + C_{осв.} + C_m, \quad (4.2)$$

де  $C_m$  – затрати безпосередньо на відновлення (технологічна собівартість), грн.;  $C_{осв}$  – затрати на підготовку та освоєння виробництва, грн.;  $C_m$  – затрати на матеріали, грн.

$$C_m = C_{ост} + \sum_{i=1}^s (q_i C_i), \quad (4.3)$$

де  $C_{ост}$  – залишкова вартість зношеної деталі, грн.;  $s$  – кількість найменувань матеріалів для відновлення деталей;  $q_i$  – норма витрат  $i$ -го матеріалу, кг;  $C_i$  – ціна 1 кг  $i$ -го матеріалу, грн./кг.

Залишкова вартість зношеної деталі визначалась із співвідношення:

$$C_{ост} = m \cdot C_m \cdot K_{мз}, \quad (4.4)$$

де  $m$  – маса зношеної деталі, кг;  $C_m$  – ціна металолому, грн./кг;  $K_{мз}$  – коефіцієнт транспортно-заготівельних витрат ( $K_{мз} = 1,2$ ).

$$C_{ост} = 1,6 \cdot 40 \cdot 1,2 = 76,8 \text{ грн.}$$

Тоді  $C_m = 76,8 + 65 = 141,8 \text{ грн.}$

Витрати на підготовку та освоєння виробництва, що ідуть на одну деталь, визначаються за формулою:

$$C_{осв} = \frac{Z_{осв}}{N_{Г}} \cdot t_{нс}, \quad (4.5)$$

де  $Z_{осв}$  – абсолютна величина затрат на освоєння виробництва, грн.;  $N_{Г}$  – річна програма,  $N_{Г} = 200$  шт./рік;  $t_{нс}$  – тривалість періоду списання затрат,  $t_{нс} = 5$  років [33].

$$C_{осв} = \frac{19100}{200} \cdot 5 = 477,5 \text{ грн.}$$

Розрахунок технологічної собівартості базується на визначенні витрат по кожному елементу та проводиться за формулою:

$$C_T = Z_o + Z_e + A_{отч} + S_{ин} + S_e + S_p + S_{иши}, \quad (4.6)$$

де  $Z_o$  – заробітна плата основних виробничих робітників, грн.;  $Z_e$  – заробітна плата допоміжних робітників, грн.;  $A_{отч}$  – амортизаційні відрахування на обладнання, грн.;  $S_{ин}$  – затрати на інструмент, грн.;  $S_e$  – затрати на енергію, грн.;  $S_p$  – затрати на ремонт та обслуговування обладнання, грн.;  $S_{иши}$  – інші затрати, грн.

при почасовій оплаті праці, затрати на заробітну плату основних виробничих робітників складуть [37]:

$$Z_o = U_{ссп} \cdot t_{тех} \cdot (1 + \alpha_{дн}) \cdot (1 + \beta_{отсц}), \quad (4.7)$$

де  $U_{ссп}$  – середня тарифна ставка основних виробничих працівників в даному технологічному процесі, грн./год.;  $t_{тех}$  – трудомісткість технологічного процесу, год.;  $\alpha_{дн}$  – коефіцієнт, що враховує додаткову плату;  $\beta_{отсц}$  – коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальні потреби.

$$Z_o = 41,6 \cdot 0,34 \cdot (1 + 1) \cdot (1 + 1) = 14,14 \text{ грн.}$$

Розрахунок фонду заробітної плати допоміжних працівників ведеться таким самим чином, як і основних [37]:

$$Z_e = \sum_i^n U_{ni} \cdot P_i \cdot F_p \cdot (1 + \alpha_{дн}) \cdot (1 + \beta_{отсц}), \quad (4.8)$$

де  $n$  – число тарифних розрядів допоміжних робітників;  $U_{ni}$  – годинна тарифна ставка допоміжного працівника, грн./год.;  $P_i$  – кількість допоміжних робітників відповідного розряду;  $F_p$  – фонд робочого часу, год.

$$Z_e = 18 \cdot 1 \cdot 1984 \cdot (1 + 0,4) \cdot (1 + 0,342) = 67096 \text{ грн.}$$

Заробітна плата наладчика, віднесена до одиниці продукції:

$$Z_{ен} = \frac{Z_e \cdot t_{шт} \cdot m}{60 \cdot k_{он} \cdot F_D}, \quad (4.9)$$

де  $t_{шт}$  – норма штучного часу на виконання операції, хв.;  $m$  – число змін роботи верстату;  $k_{он}$  – число верстатів, що обслуговуються наладчиком за зміну;  $F_D$  – дійсний фонд часу на роботу обладнання, год.

$$Z_{en} = \frac{67096 \cdot 3,2 \cdot 2}{60 \cdot 2 \cdot 4015} = 0,9 \text{ грн.}$$

Амортизаційні витрати на обладнання розраховуються за формулою [38]:

$$A_{om} = \sum \frac{K_i \cdot H_a \cdot t_o}{100 \cdot F_d \cdot 60}, \quad (4.10)$$

де  $K_i$  – початкова вартість обладнання на  $i$ -ої операції, грн.;  $H_a$  – річна норма амортизаційних відрахувань на обладнання;  $t_o$  – основний час  $i$ -ої операції, год.

$$A_{om} = \frac{1875900 \cdot 16,67 \cdot 0,34}{100 \cdot 4015 \cdot 60} = 0,44 \text{ грн.}$$

Затрати на інструмент залежать від його типу (ріжучий, вимірювальний, допоміжний та ін.). для ріжучого інструменту:

$$S_{in} = \frac{300 \cdot 10,8 \cdot 0,05}{30 \cdot 1} + \frac{80 \cdot 4,3 \cdot 0,2}{30 \cdot (20 + 1)} = 5,4 \text{ грн.}$$

Затрати на технологічну електроенергію:

$$S_e = \frac{7,10 \cdot 0,8 \cdot 1,05}{0,85} \cdot \left( \frac{5,5 \cdot 10,8}{60} \cdot 1,05 + \frac{5,5 \cdot 4,3}{60} \cdot 1,05 \right) = 10,17 \text{ грн.}$$

Затрати на обслуговування та ремонт обладнання:

$$S_p = \frac{736,4 \cdot 41 + 190,6 \cdot 31}{4015 \cdot 60} \cdot 15,1 = 2,26 \text{ грн.}$$

Інші загальновиробничі витрати:

$$S_{inu} = Z_o \cdot k_{on}. \quad (4.11)$$

$$S_{inu} = 14,14 \cdot 0,25 = 3,54 \text{ грн.}$$

Підставивши значення усіх складових затрат у формулу (4.6) одержимо:

$$C_T = 14,14 + 0,9 + 0,44 + 5,4 + 10,17 + 2,26 + 3,54 = 36,85 \text{ грн.}$$

Визначимо виробничі витрати:

$$C_{вир} = 36,85 + 477,5 + 141,8 = 656 \text{ грн.}$$

Зовнішньовиробничі витрати  $C_{з.вир} = 249,1$  грн. включають в себе витрати на збирання ремонтного фонду, реалізацію готової продукції, транспортування, розбирально-складальні роботи та простій техніки [33, 37, 38].

Знаючи виробничі та зовнішньо виробничі витрати знайдемо собівартість відновлення деталі:

$$C_B = 656 + 249,1 = 905,1 \text{ грн.}$$

Одержані розрахунковим шляхом економічні показники розробленої технології відновлення нерухомих з'єднань виконані виходячи з цін на 2017 рік.

Порівняльний аналіз способів відновлення нерухомих з'єднань приведених в 3 розділі, представлено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Порівняльний економічний аналіз способів відновлення роботоздатності нерухомих з'єднань

Складові часу відновлення роботоздатності	1 спосіб Заміна шківів і шпонки			2 спосіб Установка пропонованої ремонтної самозакримної знімної ступиці при модернізації шківів		
	Час операції, хв.	Витрати, грн.	Загальні фінансові втрати, грн.	Час операції, хв.	Витрати, грн.	Загальні фінансові втрати, грн.
$T_{oo}$	5	–	15,93	5	–	15,93
$T_{тuo}$	2	–	6,35	2	–	6,35
$T_{врс}$	10	–	32,4	10	–	32,4
$T_{dre}$	30 (150*)	150 (2854**)	249,1 (3412*)	10 (30 <sup>a</sup> )	– (150 <sup>a</sup> )	32,4 (249,1 <sup>a</sup> )
$T_{дрм}$	–	–	–	– (60 <sup>a</sup> )	– (656 <sup>a</sup> )	– (905,1 <sup>a</sup> )
$T_{вye}$	11	–	35,55	11	–	35,55
$T_{врс}$	10	–	32,4	10	–	32,4
$T_{всп}$	7	–	22,37	7	–	22,37
$T_{впм}$	2	27	115,65	2	27	115,65
<b>Σ</b>	<b>78 (198*)</b>	<b>177 (2881**)</b>	<b>509,75 (3672,65*)</b>	<b>47 (137<sup>a</sup>)</b>	<b>27 (833<sup>a</sup>)</b>	<b>293,05 (1414,8<sup>a</sup>)</b>

\* – з урахуванням доставки запасної частини з найближчої фірми по продажу запчастин;  
 \*\* – вартість деталей взята по середньому прейскуранту цін на 2017 рік; <sup>a</sup> – з урахуванням виготовлення деталей.

Економічний ефект від впровадження однієї запропонованої знімної ступиці на зернозбиральний комбайн при незмінних річних експлуатаційних затратах дорівнює:

$$E = 571 \cdot 1,05 - 181,1 + \frac{0 - 0,15(905,1 - 2854)}{0,005 + 0,15} = 2305 \text{ грн.}$$

Строк окупності:

$$T = \frac{K_1 - K_2}{E}. \quad (4.12)$$

$$T = \frac{2854 - 905,1}{2305} = 0,85 \text{ року.}$$

Визначення питомих затрат на використання стандартного і запропонованого нерухомих з'єднань проведемо для комбайна ДОН-1500Б при сезонному навантаженні в 150 год.

В табл. 4.3 представлені результати техніко-економічної оцінки стандартного і пропонованого нерухомих з'єднань.

Таблиця 4.3 – Техніко-економічна оцінка стандартного і пропонованого нерухомих з'єднань

Показники	Стандартне шпонкове з'єднання	Пропоноване нерухоме з'єднання	Відношення показників пропонованого нерухомого до стандартного шпонкового з'єднання
Ціна, грн.	2854	905,1	0,32
Середній ресурс, год.	74,9	224	3,16
Питомі затрати на 1 з'єднання, грн./год.	38,1	4,04	0,11
Економічний ефект, грн.		2305	
Строк окупності, рік		0,85	

## **Висновки**

1. Таким чином, використання в приводах зернозбирального комбайну при його сезонному навантаженні 150 год., пропонованої конструкції дозволяє знизити питомі затрати на 89% і вартість більш чим в 3 рази у порівнянні зі стандартними зразками.

2. Очікуваний економічний ефекти від використання в задньому контрприводі РСМ.-10.01.34.140 зернозбирального комбайну однієї пропонованої знімної ступиці складає 2305 грн. і строк окупності капітальних вкладень дорівнює 0,85, які можуть відрізнятися в залежності від типу приводу.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На підставі аналізу схеми роботи шпонкового з'єднання запропоновані рекомендації щодо вдосконалення розрахунку на зминання призматичних шпонок шляхом введення в нього змінного показника, що враховує взаємодію зазорів і кутів з'єднання в кожній точці руху.

2. Теоретично обґрунтовані способи підвищення працездатності зернозбиральних комбайнів застосуванням вдосконалених конструкцій для передачі крутних моментів приводами, а саме шпонкові з'єднання, спосіб з'єднання з натягом деталей вал-втулка і знімна ступиця для монтажу обертового елемента на приводному валу. Найбільш прийнятним технічним рішенням є розробка ремонтного комплекту на основі знімної ступиці, що дозволяє усунути основні причини виходу з ладу, забезпечує підвищення довговічності, стабілізацію передачі крутного моменту і зниження часу відновлення працездатності зернозбирального комбайна.

3. Проведений мікрометраж деталей шпонкових з'єднань, що надходять в якості запасних частин, показав в 70 ... 90% випадків наявність зазорів в сполученні «вал-втулка», що негативно впливає на працездатність приводів.

4. Встановлено, що найбільш раціональним способом відновлення працездатності шпонкових з'єднань є застосування розробленої конструкцію знімної ступиці для монтажу обертового елемента на приводному валу, що дозволяє знизити час усунення відмови в 1,5 ... 3 рази і підвищити ресурс в 2,36...3,91 рази. Річний економічний ефект від використання в задньому контрпривода РСМ.-10.01.34.140 зернозбирального комбайна однієї розробленої знімною маточини становить 2305 грн. і термін окупності капітальних вкладень дорівнює 0,85 року при річній завантаженні комбайна 150 годин.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Концепції Державної цільової програми розвитку аграрного сектору економіки на період до 2020 року» від 30 грудня 2015 року № 1437-р.
2. Дудніков А.А. Методичні рекомендації щодо виконання магістерських робіт за спеціальністю 208 «Агроінженерія» ступеня вищої освіти «Магістр» / А.А. Дудніков, О.В. Горик, В.М. Арндаренко, В.М. Сакало, Т.Г. Лапенко, О.В. Горбенко. – Полтава: ПДАА, 2016. – 42 с.
3. Дудніков А.А. Проектування технологічних процесів сервісних підприємств / А.А. Дудніков, П.В. Писаренко, О.І. Біловод та ін. – Вінниця: Наукова Думка, 2011. – 400с.
4. Адигамов, Н.Ш. Теория и методы расчета повышения надежности сельскохозяйственных уборочных машин с учетом состояния их элементов.: дисс. докт. техн. наук. - Казань, 2006.
5. Аменадзе, Ю.А. Теория упругости / Ю.А. Аменадзе. - М.: Высшая школа, 1981,-216 с.
6. Анилович, В.Я. Анализ и пути совершенствования методов оценки надежности [Текст] / В.Я. Анилович, А.С. Гринченко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 1978, - № 9. - С. 21 - 23.
7. Анурьев, В.И. Справочник конструктора машиностроителя: В 3-х т.Т.1.-7-е изд., перераб. и доп./ В.И. Анурьев. - М.: Машиностроение, 1992.
8. Ачкасов, К.А. Прогрессивные способы ремонта сельскохозяйственной техники. - М.: Колос, 1984. - 356 с.
9. Бабусенко, СМ. Проектирование ремонтных предприятий. - М.: Колос, 1981.-295 с.
10. Бабусенко, СМ. Ремонт тракторов и автомобилей. 3-е изд., перераб. и доп. / СМ. Бабусенко - М.: Агропромиздат, 1987. - 351 с.
11. Балабанов, В.И. Трение, износ, смазка и самоорганизация в машинах. Теория и практика эффективной эксплуатации и ремонта машин:

пособие для автомобилистов / В.И. Балабанов, В.И. Беклемышев, И.И. Махонин. - М.: Изумруд, 2004. - 192 с.

12. Батищев, А.Н. Восстановление деталей сельскохозяйственной техники / А.Н. Батищев, И.Г. Голубев, В.П. Лялякин. - М.: Информагротех, 1985. - 294 с.

13. Батищев, А.Н. Ресурсосберегающие технологии восстановления деталей гальваническими покрытиями: дис. докт. техн. наук в виде научного доклада. - М., 1992. - 53 с.

14. Безсонов, Н.В. Методическое пособие для расчета экономического эффекта от использования изобретения и рационализаторских предложений / Н.В. Безсонов. - М.: ВНИИПИ, 1985, - 104 с.

15. Беленький, Д.М. Оптимальное управление надежностью тракторов и сельхозмашин [Текст] / Д.М. Беленький, Л.Г. Шамраев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2000. - № 7. - С. 7.

16. Белов, В.М. Коэффициент запаса точности как критерий расчета ресурса деталей // Надежность и контроль качества. - 1988. - № 6. - С.32-36

17. Беляев, Н.М. Сопротивление материалов / Н.М. Беляев -М.: Наука, 1976.-608 с.

18. Блехман, И.И. Вибрационное перемещение / И.И. Блехман, Г.Ю. Джанелидзе - М.: Наука, - 1964. - 410 с.

19. Болотин, В.В. Ресурс машин и конструкций / В.В. Болотин. -М.: Машиностроение, 1990, -448 с.

20. Борознин, В.А. Комплексная оценка надежности и эффективности использования самоходных уборочных машин: автореф. дисс. канд. техн. наук. - Волгоград, 1994. - 22 с.

21. Валуев, Н.В. Исследование и прогнозирование ремонтпригодности зерновых комбайнов / Н.В. Валуев // Э-И ВИНТИ Сельскохозяйственные машины. - 1981. - № 45.

22. Гречищев, Е.С. Соединения с натягом: Расчеты, проектирование, изготовление / Гречищев Е.С, Ильяшенко А.А. - М.: Машиностроение, 1981. - 247 с.

23. Гриньков, Ю.В. Основные принципы инженерного расчета упругих колебаний конструкций зерноуборочных комбайнов: автореф. дисс. докт. техн. наук. - Волгоград, 1971.-41 с.

24. Денисов, А.С. Научные основы формирования структуры эксплуатационно-ремонтного цикла автомобилей: автореф. дис. ... докт. тех. наук. - Саратов, 1999. - 43 с.

25. Димитров, В.П. Совершенствование методов технического обслуживания зерноуборочной техники на основе экспертных систем: автореф. дисс. ... докт. техн. наук. - Зерноград, 2002. - 38 с.

26. Дмитриченко, С.С. Современные методы оценки надежности машин. - М.: Машиностроение, 1986. - 56 с.

27. Матвеев Н.М. Дифференциальные уравнения. – М.: Просвещение, 1988. – 256 с.

28. Мазнев Г.Є. Економічне обґрунтування інженерних рішень в сфері АПК / Г.Є. Мазнев, М.М, Турченко, М.Д. Щетінін. – Харків: ХДТУСГ, 2001. – 401 с.

29. Лялякин В.П. Восстановление и упрочнение деталей с.-х. машин / Лялякин В.П. – М.: Машиностроение, 2001. – с.137-141.

30. Самохвалов Я.А., Левицкий М.Я., Григораш В.Д. Справочник техникаконструктора. - Киев: Техника, 1978. - 591 с.

31. Черноиванов В.И. Организация и технология восстановления деталей машин. – М.: Агропромиздат, 1989. – 336 с.

32. Черноиванов, В.И. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве. – Москва-Челябинск.: ГОСНИТИ, ЧГАУ, 2003. –

33. Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских и опытных

конструкторских работ, новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. - М.: Колос, 2007. - 112 с.

34. Писаренко В.М. Екологічні основи раціонального природокористування в аграрному виробництві / В.М. Писаренко, О.М.Куценко – К.:НМК ВО, 1992. – 231с.

35. Федоров М.І. Охорона праці в галузі АПК / М.І. Федоров, Т.Г. Лапенко, О. У. Дрожжана. – Полтава: ТОВ «Видавництво інтерграфіка», 2005. – 297с.

36. Костенко О.М. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях / О.М. Костенко, Т.Г. Лапенко. – Полтава, 2011. – 18с.

37. Мазнев Г.Є. Економічне обґрунтування інженерних рішень в сфері АПК / Г.Є. Мазнев, М.М. Турченко, М.Д. Щетінін – Харків: ХДТУСГ, 2001. – 401с.

38. Конкин Ю.А. Организация и планирование производства на ремонтных предприятиях/ Ю.А. Конкин – М.: Колос, 1982. – 367с.