

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

НА ТЕМУ:

«ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПОКРАЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА
ДОВГОВІЧНОСТІ ШКІВІВ КЛИНОПАСОВИХ ПЕРЕДАЧ У
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИНАХ»

Виконав:

здобувач освітнього ступеня «Магістр»
освітньо-професійної програми
«Агроінженерія» спеціальності
208 «Агроінженерія» денної форми
навчання

ВЕЛИЧКО Василь Ігорович

Керівник:

канд. техн. наук, доцент

ОЛЕНЮК Олександр Анатолійович

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів ____.

Шкала ECTS ____.

« ____ » _____ 20 ____ р.

Допускається до захисту:

« ____ » _____ 20 ____ р.

Гарант освітньо-професійної програми «Агроінженерія»
спеціальності 208 «Агроінженерія», канд. техн. наук, доцент,

ДУГАНЕЦЬ Василь Іванович

м. Кам'янець-Подільський, 2025

ЗМІСТ

Завдання на виконання дипломної роботи.....	4
Анотація.....	6
Реферат	7
ВСТУП.....	8
1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ОБКАТУВАННЯ РОЛИКАМИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ СКЛАДНИХ ПОВЕРХОНЬ.....	13
1.1. Види підвищення якості складних поверхонь методом обкатування..	13
1.2. Обґрунтування теми та формулювання задачі досліджень.....	21
2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІЦНЕННЯ ШКІВІВ КЛИНОПАСОВИХ ПЕРЕДАЧ	25
2.1. Практика використання клинопасових передач	25
2.2. Основні вимоги при експлуатації клинопасових передач і процес їх зношування	27
2.3. Кінематика процесу та параметри роботи клинопасових передач	35
2.4. Застосування зміцнюючих технологій для підвищення надійності і довговічності приводних ременів.....	40
3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	45
3.1. Обґрунтування вибору технологічних параметрів	45
3.2. Методика розрахунку та моделювання процесу обкатування.....	46
4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНОГО РІШЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІЦНЕННЯ ШКІВІВ КЛИНОПАСОВИХ ПЕРЕДАЧ.....	56
4.1. Будова, робота і основне регулювання пристрою для обкатування роликом шківів клинопасових передач.....	56
4.2. Вимоги, які ставляться до розробки	58

4.3. Дослідження залежності площі обкатаної поверхні та глибини обкатування від конструктивних і кінематичних параметрів пристрою	58
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	73
5.1. Паспортизація робочого місця при обкатуванні роликом шківів клинопасових передач	73
5.2. Розробка комплексу організаційних та технічних заходів з охорони праці та пожежної безпеки	75
5.3. Розрахунок заземлення робочого електрообладнання майстерні	77
5.4. Розробка карти контролю показників безпеки пристрою для обкатування роликом шківів клинопасових передач	79
5.5. Заходи безпеки в умовах надзвичайних ситуацій	81
6. РОЗРОБКА БІЗНЕС-ПЛАНУ	84
6.1. Резюме	84
6.2. Продукція	85
6.3. Виробничий план.....	85
6.4. Фінансовий план.....	91
6.5. Визначення точки беззбитковості.....	94
6.6. Ризики та шляхи їх зниження.....	95
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	97
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	99
ДОДАТОК А Способи обкатування роликами складних поверхонь	102
ДОДАТОК Б Операційний графік інвестиційного періоду	105
ДОДАТОК В Сортамент шківів, що можна обробляти з допомогою пристрою для обкатування роликами	107
ДОДАТОК Г Копії друкованих статей	109
ДОДАТОК Д Матеріали комп'ютерної презентації	110

**ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

Кафедра технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін
Освітній ступінь «Магістр»
Спеціальність 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Завідувач кафедри,
доцент _____ **Василь ДУГАНЕЦЬ**
„__” _____ 20__ р.

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Здобувачу **ВЕЛИЧКУ Василю Ігоровичу**

1. Тема роботи: «Дослідження методів покращення надійності та довговічності шківів клинопасових передач у сільськогосподарських машинах»

2. Керівник роботи **ОЛЕНЮК Олександр Анатолійович**, доцент
Затверджено наказом по закладу вищої освіти «Подільський державний університет» від «04» квітня 2025 року, № 355с

Строк подання здобувачем закінченої роботи «24» листопада 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Завдання на дипломну роботу;
2. Науково-технічна література;
3. Результати наукових досліджень.

4. Зміст пояснювальної записки:

Вступ

1. Аналіз сучасного стану застосування методів обкатування роликками для підвищення якості складних поверхонь
2. Теоретичні передумови технології зміцнення шківів клинопасових передач
3. Методика експериментальних досліджень
4. Результати експериментальних досліджень та обґрунтування конструктивного рішення технології зміцнення шківів клинопасових передач
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях
6. Розробка бізнес-плану

Загальні висновки по роботі

Перелік використаних джерел

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

1. Тема кваліфікаційної роботи, прізвище автора і керівника
2. Актуальність теми роботи та проблема дослідження
3. Об'єкт, предмет та методи досліджень
4. Мета і задачі кваліфікаційної роботи магістра
5. Практичне значення одержаних результатів
6. Пасові передачі

7. Кінематика процесу роботи клинопасових передач
8. Зміцнюючі технології для підвищення надійності і довговічності привідних ременів
9. Моделювання процесу обкатування
10. Пристрій для обкатування роликом шківів клинопасових передач
11. Будова пристрою для обкатування роликом шківів клинопасових передач
12. Залежності площі та глибини обкатування від конструктивних і кінематичних параметрів
13. Показники ефективності реалізації проекту
- 14-15. Загальні висновки по роботі

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Консультант з нормоконтролю	ДЕВІН В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання «04» квітня 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділів дипломної роботи	Строк виконання розділів роботи		Підпис керівника
		планово	фактично	
	Вступ	15.04.25	15.04.25	
1	Аналіз сучасного стану застосування методів обкатування роликками для підвищення якості складних поверхонь	12.05.25	12.05.25	
2	Теоретичні передумови технології зміцнення шківів клинопасових передач	05.06.25	05.06.25	
3	Методика експериментальних досліджень	30.06.25	30.06.25	
4	Результати експериментальних досліджень та обґрунтування конструктивного рішення технології зміцнення шківів клинопасових передач	18.09.25	18.09.25	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	15.10.25	15.10.25	
6	Розробка бізнес-плану	31.10.25	31.10.25	
	Загальні висновки по роботі	06.11.25	06.11.25	
	Перелік використаних джерел	18.11.25	18.11.25	
	Додатки	24.11.25	24.11.25	

Здобувач

Василь ВЕЛИЧКО

Керівник

Олександр ОЛЕНЮК

АНОТАЦІЯ

У роботі досліджено технологію зміцнення конічних поверхонь шківів клинопасових передач методом обкатування роликками, що спрямована на підвищення їхньої зносостійкості та довговічності. Проведено аналітичний огляд сучасних методів обробки та розроблено експериментальну методику для визначення оптимальних параметрів обкатування. В результаті дослідження створено конструкцію універсального пристрою для обкатування, який може бути застосований для різних типів шківів, забезпечуючи високу якість обробки та зниження трудомісткості процесу. Отримані результати мають практичне значення для підприємств, що експлуатують клинопасові передачі, дозволяючи знизити витрати на обслуговування обладнання та підвищити його надійність.

THE SUMMARY

In this work, a technology for strengthening the conical surfaces of pulleys in V-belt drives through roller burnishing was researched, aiming to improve their wear resistance and durability. An analytical review of modern processing methods was conducted, and an experimental methodology was developed to determine the optimal parameters for burnishing. As a result of the study, a design for a universal burnishing device was created, which can be applied to various types of pulleys, ensuring high processing quality and reducing process labor intensity. The obtained results are practically significant for enterprises operating V-belt drives, as they allow for reduced maintenance costs and increased equipment reliability.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра складається з пояснювальної записки, виконаної машинописним способом на 98 аркушах формату А4, яка вміщує 6 розділів, 10 таблиць, 16 рисунків, 31 найменування використаних джерел і презентаційного матеріалу на 15 аркушах.

Метою дипломної роботи є вивчення сучасних методів зміцнення та підвищення довговічності робочих поверхонь складних деталей, таких як шківни клинопасових передач, за допомогою технології обкатування роликками.

У процесі виконання дипломної роботи застосовано методи дослідження, що охоплюють аналіз сучасних технологій обкатування роликками, теоретичний розгляд впливу обкатування на фізико-механічні властивості поверхонь, експериментальні вимірювання параметрів обробки та аналітичний підхід до розрахунків. Цей комплекс дослідницьких методів дозволяє визначити оптимальні режими процесу обкатування конічних поверхонь шківів клинопасових передач, що підвищують їхню зносостійкість та міцність.

Результати дослідження вказують на доцільність використання запропонованого пристрою для обкатування, який забезпечує ефективне зміцнення поверхонь і зменшує витрати на технічне обслуговування. Новизна роботи полягає в розробці універсальної конструкції пристрою, здатного працювати з різними типами шківів, та визначенні оптимальних параметрів обкатування для забезпечення якісної обробки. Результати мають практичне значення для підприємств, що експлуатують клинопасові передачі, оскільки впровадження нової технології зміцнення шківів дозволяє знизити витрати на ремонт та збільшити надійність обладнання.

Ключові слова: ОБКАТУВАННЯ РОЛИКАМИ, КОНІЧНІ ПОВЕРХНІ, ШКІВИ КЛИНОПАСОВИХ ПЕРЕДАЧ, ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХОНЬ.

ВСТУП

Актуальність теми. Однією з причин кризового стану сучасного сільського господарства України є погіршення його технічного оснащення. Зниження якісних і кількісних показників машино-тракторного парку призвело до різкого збільшення навантаження на техніку і зниження її надійності. Важливим резервом підвищення якості ремонту тракторів, автомобілів і сільськогосподарських машин, економії матеріальних та інших ресурсів є застосування прогресивних технологічних процесів відновлення деталей, що забезпечують підвищення ресурсу відремонтованих машин.

Щорічно через несправності та зносу простоює від 10 до 40% машин і устаткування. Застосування прогресивних технологій при ремонті зношених деталей в 4 - 6 разів скорочує кількість операцій в порівнянні з їх виготовленням, в 20 - 30 разів знижує витрату матеріалів, а собівартість відновлення і зміцнення багатьох деталей становить 60 - 80% від собівартості виготовлення нових, що вкрай важливо в умовах економії сировини, паливно-енергетичних, матеріальних і трудових ресурсів.

Ефективність роботи сільськогосподарської техніки залежить, головним чином, від її надійності – здатності виконувати задані функції з мінімальними витратами праці і матеріальних засобів протягом тривалого часу. Простої техніки, викликані усуненням відмов, призводять до затягування агротехнічних термінів проведення польових робіт, в результаті чого втрачається до 15 - 30% урожаю сільськогосподарських культур. При наявності в нашій країні величезних посівних площ навіть невелике зниження показників надійності приносить значні збитки сільському господарству. Запізнення з посівом ярих культур (наприклад, у випадку відмови техніки) на 5 днів веде до зниження врожаю на 3,3 ц/га.

Працездатність і ресурс сільськогосподарських машин в значній мірі визначаються інтенсивністю зношування третьових деталей. Досвід експлуатації свідчить, що 80 - 90% деталей машин виходять з ладу через знос.

Відомо, що правильно вибравши матеріал і покриття трибоспряжень, можна значно підвищити зносостійкість і довговічність вузлів тертя при експлуатації. Оптимізація обробки поверхонь вузлів тертя мобільних сільськогосподарських машин представляє найбільш перспективний і економічний шлях підвищення їх працездатності і ресурсу. Одним із методів підвищення довговічності шківів клиноремінних передач мобільної сільськогосподарської техніки є застосування поверхневим пластичним деформуванням обкатуванням роликками.

Встановлено, що від фінішної обробки деталей залежить не тільки первісна, припрацювальна, але й наступна інтенсивність зношування при експлуатації.

Однією з головних переваг обкатування роликками є порівняльна простота і універсальність способу, що дозволяє використовувати даний метод як у великому машинобудівному підприємстві з масовим виробництвом, так і в невеликому автотранспортному підприємстві.

Обкатування роликками забезпечує підвищення зносостійкості деталей в 1,5 - 2 рази, антифрикційних і протизадирних властивостей тертьових поверхонь, а тобто є ефективним методом підвищення довговічності деталей машин.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами досліджень. Робота виконувалась у відповідності з переліком пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок затверджених Постановою Кабінету Міністрів України.

Мета і завдання досліджень. Мета досліджень полягала у вивченні сучасних методів зміцнення та підвищення довговічності робочих поверхонь складних деталей, таких як шківни клинопасових передач, за допомогою технології обкатування роликками. Це дослідження спрямоване на вдосконалення технологічних процесів, зменшення зношування поверхонь і покращення експлуатаційних характеристик машин та механізмів, що використовуються в сільському господарстві і промисловості.

Для досягнення мети дослідження необхідно виконати такі завдання:

1. Проаналізувати сучасний стан використання методів обкатування роликками та вимоги до експлуатації шківів клиноремінних передач.
2. Провести теоретичне дослідження впливу поверхневого пластичного деформування конічних поверхонь деталей за допомогою методу обкатування роликками.
3. Дослідити фізичне моделювання процесу обкатування конічних поверхонь з урахуванням параметрів контакту роликів з оброблюваною поверхнею та величини ковзання в зоні контакту.
4. Розробити оригінальну конструкцію пристрою для обкатування роликком шківів клинопасових передач.
5. Виконати експериментальні дослідження, використовуючи планування експерименту, для визначення конструктивних і кінематичних параметрів пристрою.
6. Запропонувати заходи з охорони праці для забезпечення встановлених нормативів безпеки та гігієни праці, а також визначити дії в надзвичайних ситуаціях.
7. Розробити бізнес-план для впровадження розробленої технології.

Таким чином, дані дослідження спрямовані на покращення показників зносостійкості та міцності поверхневих шарів деталей, що дозволяє забезпечити їхню довговічність та надійність в експлуатації

Об'єкт дослідження – технологічний процес обкатування роликками конічних поверхонь шківів клинопасових передач з метою підвищення їх зносостійкості та міцності.

Предмет дослідження – параметри та умови обкатування роликками конічних поверхонь шківів клинопасових передач, що впливають на якість зміцнення поверхні та довговічність деталей.

Методи досліджень. Методи досліджень, використані в роботі, включають комплекс аналітичних, експериментальних та теоретичних підходів для досягнення поставлених завдань. Аналітичні методи були

застосовані для оцінки сучасного стану методів обкатування роликками та їх впливу на властивості поверхневого шару шківів. Це дозволило визначити основні вимоги до якості обробки та виявити технологічні параметри, які найбільше впливають на процес обкатування.

Експериментальні методи включали фізичне моделювання процесу обкатування конічних поверхонь, зокрема, оцінку контакту роликів з обкатуваною поверхнею та дослідження величини ковзання в зоні контакту. Планування експерименту дозволило розробити конструкцію пристрою для обкатування шківів, підібрати оптимальні кінематичні та конструктивні параметри пристрою, а також дослідити вплив різних режимів обкатування на фізико-механічні властивості поверхневого шару.

Теоретичні методи базувалися на аналізі і математичному моделюванні процесу пластичного деформування поверхні шківів. Було застосовано моделі, що дозволили визначити вплив зусиль обкатування, швидкості обертання та інших параметрів на якість зміцнення поверхні. Використання теоретичних розрахунків дозволило отримати аналітичні залежності, що допомогли оцінити ефективність запропонованих технологічних рішень.

Застосування комплексного підходу дало змогу об'єктивно дослідити процес обкатування роликками, розробити нову технологію зміцнення та підтвердити її ефективність, а також розробити практичні рекомендації щодо її застосування у промисловості.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці технології зміцнення конічних поверхонь шківів клинопасових передач методом обкатування роликками, що дозволяє підвищити їхню зносостійкість, міцність та довговічність. Запропонована технологія забезпечує зниження зношування поверхонь деталей, що підвищує надійність роботи обладнання і зменшує витрати на ремонт та технічне обслуговування.

Розроблений пристрій для обкатування роликком є універсальним і може застосовуватись для обробки різних типів шківів, що дозволяє знизити

трудомісткість процесу обкатування і скоротити час на обробку. Отримані результати також можуть використовуватись для оптимізації параметрів обкатування, що сприяє покращенню якості поверхні і підвищенню продуктивності виробничого процесу.

Окрім того, запропонована технологія має економічний ефект завдяки зниженню частоти заміни та ремонту шківів, що є важливим для підприємств, які використовують обладнання з клинопасовими передачами у важких умовах експлуатації. Впровадження цієї технології сприятиме підвищенню конкурентоспроможності підприємств за рахунок скорочення витрат і підвищення якості продукції.

Апробація результатів роботи. За матеріалами роботи опубліковано статтю у збірнику наукових праць Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих науковців.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ОБКАТУВАННЯ РОЛИКАМИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ СКЛАДНИХ ПОВЕРХОНЬ

1.1 Види підвищення якості складних поверхонь методом обкатування

Найбільш відповідальними вузлами механізмів сільськогосподарських машин та іншого промислового устаткування є складні поверхні: гвинтові поверхні, евольвентні поверхні зубів зубчатих коліс, бічні поверхні канавок під ущільнення, робочі поверхні струмків шківів клиноремінних передач, поверхні хвилястих кристалізаторів та ін. В даний час проблема підвищення довговічності складних поверхонь, що працюють в умовах абразивного зносу і великої запиленості залишається вельми гострою.

Значною мірою проблема підвищення зносостійкості гвинтових пар і зубчатих передач може бути вирішена за рахунок підвищення якості поверхні гвинтів і черв'яків. Велика глибина профілю різьб і черв'яків при порівняно незначній ширині його западини створює труднощі при чистовому нарізуванні їх по всій глибині профілю. Низька вібростійкість системи верстат-різець-деталь не дозволяє одержати необхідну шорсткість поверхні, відповідну параметру $R_a = 0,16 - 0,25$ мкм за ГОСТ 9378-93. Найчастіше досягається шорсткість з параметром $R_z = 10 - 40$ мкм. [2]

Для отримання потрібної кресленням шорсткості гвинтової поверхні різьблення і черв'яки піддаються поверхневій пластичній деформації за допомогою накочення або обкатування роликками. Різьби метричні і трапецеїдальні з кроком не більше 8 мм і черв'яків з модулем $m < 3$ мм накочуються роликками, які мають профіль накочуваного різьблення, без попереднього нарізування їх різцями. [3]

Для обробки після попереднього нарізування різцем більших різьб, але з невеликої по відношенню до ширини западини завглибшки профілю з кроком $P = 8 - 16$ мм і черв'яків з модулем $m = 35$ мм з метою забезпечення

інтенсивної деформації металу поверхневого шару при порівняно невеликих зусиллях обкатування (56 кН), допустимих на середніх металоріжучих верстатах, застосовано спосіб обкатування огинанням конічним консольним роликом (дод. А, спосіб 1). Наявність прямолінійної утворюючої у ролика і можливості зміни кутового положення осі ролика на величину кута огинання в межах $\pm 30'$ дозволяють, наприклад, при обробці ходових гвинтів із сталі 40 з трапецеїдальним різьбленням 150x16 із зусиллям 5,5 кН при швидкості обертання гвинта 35 м/хв (швидкість обкатування) за п'ять-шість проходів по одній стороні витка при початковій шорсткості, відповідній параметру $R_z = 10 - 40$ мкм, одержати поверхню з шорсткістю $R_a = 0,32 - 0,63$ мкм. При обкатуванні трапецеїдальних різьб з кроком $P > 16$ мм, черв'яків з модулем $m > 6$ мм і наполегливих різьб ($P > 10$ мм) з більшою відносною глибиною западини ролика з прямолінійною утворюючою застосовувати не можна із-за недостатньої їх довговічності. [4]

Також застосовують менш продуктивний спосіб обкатування огинанням роликом криволінійного профілю (дод. А, спосіб 2). Застосування ролика з опуклим профілем дозволяє зменшити довжину контакту ролика з деталлю, при цьому для обробки поверхні витка різьблення потрібно значне число проходів (від 10 до 30, залежно від глибини профілю різьблення). Подача за профілем різьблення забезпечується зміною кутового положення ролика при повороті шарнірного паралелограма за рахунок подачі верхніх санчат супорта верстата перед кожним проходом ролика. Шорсткість поверхні після обкатування відповідає параметру $R_a = 0,16 - 0,63$ мкм, швидкість обкатування складає 3540 м/хв.

З метою підвищення продуктивності обробки трапецеїдальних різьб з симетричним профілем ($P = 20 - 40$ мм) і черв'яків $m = 630$ мм застосовують продуктивніший багатороликовий пристрій (дод. А, спосіб 3). Елемент, що деформує – інструмент багатороликового пристрою, виконаний у вигляді двох зубчатих дисків, зуби яких є пальцьовими роликами, що вільно обертаються. Нижній диск через втулку сполучений з нижнім торцем пружини, верхній -

через черв'ячну передачу і регулювальний упор - з верхнім її торцем. При настройці пристрою ролики, що належать різним дискам, вводяться в сусідні западини профілю обкатуємого різьблення. При обертанні черв'яка пружина закручується на розрахунковий кут для створення оптимального зусилля обкатування. При обертанні деталі в центрах токарного верстата ролики котяться по поверхні витків різьблення і обертають диски. Проте, при нерухомому супорті верстата, на якому закріплений пристрій, деформація поверхні витка кожним роликом обмежується одним і тим же спіральним слідом. Для обкатування всієї поверхні супорту повідомляють подовжню подачу. [5]

При обкатуванні гвинтів великого діаметру, що мають малий кут підйому лінії витка, осі роликів повинні бути розташовані в площинах, паралельних осьовому перетину деталі. В цьому випадку при розрахунку профілю роликів і режимів обробки застосовують залежності для рейкового зачеплення. При обробці різьб малого діаметру і відповідно з великими кутами підйому лінії витка осі роликів перетинаються в центрі поперечного перетину обкатуємої деталі. В цьому випадку профіль роликів і режими обробки розраховують за спеціальною методикою, з використанням теорій черв'ячного зачеплення.

Із-за великої складності, як слід, високої вартості такий пристрій доцільно застосовувати тільки при обробці великих партій деталей. При цьому забезпечується висока стійкість обкатуємих роликів, завдяки тому, що в роботі знаходиться одночасно лише одна їх пара і забезпечується рівномірне завантаження різних ділянок їх профілю. [6,7]

Для обробки стандартних наполегливих різьб з кроком $P = 20 - 32$ мм, що мають ширину западини, рівну товщині витка різьблення, але при цьому і значну глибину профілю, обкатування описаним пристроєм непридатне, оскільки неможливо вписати двохоликовий вузел в западину різьблення. В цьому випадку, коли вищі вимоги по шорсткості поверхні пред'являються, в основному, до наполегливої сторони профілю різьблення, рекомендується

пристрій для обкатування голчатим роликом, що самовстановлюється, діаметральні розміри якого разом з конічним пальцем, на який він спирається, дорівнюють ширині западини різьблення (дод. А, спосіб 4).

Трапецеїдальні різьблення з кроком 10 - 20 мм і діаметром до 300 мм у багатосерійному виробництві за один прохід можна обкатувати за допомогою пристрою, показаного в додатку А, спосіб 5. Консольні ролики встановлені симетрично на підшипниках в ексцентричних отворах втулок з ексцентриситетом e і зміщені щодо один одного. Втулки змонтовані на підшипниках кочення у важелях роз'ємної обойми. Важелі зафіксовані на осях кулачком через штоки, і стягнуті між собою пружиною через шпильку, повзун і штифт. До втулок для створення необхідного зусилля на роликах закріплені важелі, сполучені через штифти з силовим механізмом, що включає тягу і пружини, що встановлені в стакан і упираються в гайки. При цьому кожні два ролики, розташовані в одному перетині, підібрані до різних сторін профілю різьблення для урівноваження зусилля пружини у важелях.

Пристрій встановлюється в супорті токарного верстата і працює таким чином. Поворотом кулачка на 90^0 мала вісь його поперечного перетину поєднується з віссю штоків. При цьому нижній важіль за рахунок власної ваги, а верхній важіль за рахунок зусилля пружини розводяться на кут, достатній для того, щоб відстань між торцями передніх роликів перевищила зовнішній діаметр обкатуємої деталі. Переміщенням супорта верстата пристрій встановлюється в робоче положення щодо оброблюваної. Поворотом кулачка здійснюється торкання роликів з гвинтовою поверхнею з деяким натягом, заздалегідь виставлених щодо обкатуваного профілю. Втулки з роликами повертаються зусиллям контакту ролика з деталлю. При цьому важелі, повертаючись разом з втулками через штифти і тягу, стискають пружини і утворюють зазори між стаканами і гайками. Зусилля пружин прикладаються до роликів. При обертанні обкатуємої деталі пристрій переміщається разом з супортом верстата на величину кроку гвинтової поверхні за кожен оборот деталі. Всі ролики одночасно обкатуються по гвинтовій поверхні,

деформуючи її по всій глибині профілю. Оптимальне зусилля обкатування на кожному ролику забезпечується регулюванням пружин з урахуванням кривизни ролика і гвинтової поверхні в точці їх контакту.

Для чистової обробки евольвентної поверхні зубів великомодульних шестерень модулем 12 мм з числом зубів $Z = 26$ створено пристрій, що дозволяє обкатувати зуби роликами на зубодолбильних верстатах (дод. А, спосіб 6). Два конічні ролики малого діаметру утворюють собою западину зубодолбильної рейки і підтискаються до оброблюваного колеса пакетом тарілчастих пружин. Обкатування кожного зуба завершується (як і чистове нарізування) за 50 рух. ходів повзуна. Обкатані зуби мали шорсткість $R_a = 0,16 - 0,32$ мкм за наявності окремих рисок завглибшки до 0,015 мм в місцях особливо грубих складок. Для зубчатих коліс модулем більше 12 мм створення пристрою подібного типу спрощується, що обумовлено збільшенням розмірів западини між зубами. [8]

Для отримання регулярного мікрорельєфу на робочих поверхнях зубчатих коліс, рейок, гвинтів розроблений пристрій для обкатування кульками, показаний додатку А, спосіб 7. Деформуючий інструмент виконаний у вигляді пальцевої фрези з робочою ділянкою, на зовнішній поверхні якої створені гвинтові канавки напівкруглого профілю. У канавці встановлені щільно один до одного кульки одного діаметру (d_k) і утримуються в ній за допомогою сепаратора, закріпленого до корпусу. Гвинтова канавка замикається каналом, в якому щільно один до одного встановлені кульки. Деформуючий інструмент встановлюється хвостовиком в шпіндель металообробного верстата. Гвинтова канавка утворена з кроком $P = (1,3 - 1,5)d_k$. Пристрій підтискається до оброблюваної деталі. При обертанні шпінделя металообробного верстата деформуючий інструмент обертається із швидкістю $V_{об}$. При цьому кульки, частина яких у будь-який момент притиснута до оброблюваної поверхні деталі, прокатуються між поверхнями деталі й канавки і утворюють на обкатуємій поверхні регулярний мікрорельєф. Відпрацьовані кульки повертаються у початковий виток канавки

через поворотний канал. Регулювання параметрів мікрорельєфу на обкатуємій поверхні здійснюється варіюванням подачі обкатування на кожен оборот інструменту, підбором діаметру кульок і кроку гвинтової канавки.

Для обкатування бічних поверхонь канавок для торцевих ущільнень конічними роликками малого діаметру розроблений пристрій, показаний додатку А, спосіб 8. Пристрій складається з корпусу, в розточування якого запресована вісь. На вісі встановлені на окремих голчатих підшипниках дві шайби. У тороїдальні канавки шайб поміщені кульки. До корпусу гвинтами закріплені сепаратори, в пазах яких встановлені деформуючі ролики малого діаметру.

Разом з супортом верстата пристрій вводиться роликками в канавку і підтискається з необхідним зусиллям. При обертанні деталі правий і лівий ролики обертаються з різними окружними швидкостями. Обидві опорні шайби, обертаючись з різними швидкостями, прокатуються один щодо одного за рахунок вільного прокатування кульок між ними. Рівномірність прилягання роликів до бічних поверхонь канавки забезпечується за рахунок розвороту шайб щодо кульок. Після здійснення трьох-чотирьох оборотів деталі бічні стінки канавки будуть продеформовані по всій глибині профілю.

Обкатування за способом огинання консольним роликом застосовується при чистовій обробці бічних стінок струмків шківів клиноремених передач. Аналіз експлуатації клиноремених передач в період прироблення поверхні бічних стінок струмків шківів при початковій шорсткості їх поверхні, відповідної параметру $R_z = 20 - 40$ мкм, показує, що в цей час має місце інтенсивний знос поверхні ременів і робочої поверхні шківів. Після закінчення стадії прироблення шорсткість поверхні струмків відповідає параметру $R_a = 0,16 - 0,32$ мкм. Таку шорсткість поверхні на бічних стінках струмків не вдається одержати при обробці полірувальними різцями на токарних і карусельних верстатах із-за низької вібростійкої системи верстат-інструмент-деталь.

З метою зменшення зносу ременів і поверхні струмків шківів в процесі експлуатації за рахунок зниження шорсткості і створення наклепу робочого поверхневого шару при чистовій обробці бічних стінок струмків на шківях застосований процес обкатування огинанням роликками. Струмки з кроком 28,6 мм і завглибшки 25,4 мм обкатувалися консольним роликом за способом огинання за допомогою пристрою, показаного в додатку А, спосіб 9. Консольний ролик встановлений в підшипники важеля, що повертається на вісі щодо корпусу. Нижній кінець важеля за допомогою зубчатого зачеплення сполучений з сектором, до якого за допомогою шліцьового валика приєднаний кулачок, крайні положення якого визначаються напологливими гвинтами. З одним з кінців сектора шарнірно пов'язаний поршень, вставлений в розточування циліндра. Зусилля на поршні створюється за допомогою пружини і регулюється гайкою. У тілі поршня є клапан і отвір, що калібрується, площа перетину якого регулюється замочним штоком. Обкатуючий ролик підводиться до оброблюваної поверхні деталі і підтискається до неї під дією пружини через поршень, сектор і важіль. При обертанні деталі корпусу пристрою разом з супортом верстата задається рух подачі уздовж вісі деталі справа наліво при обкатуванні правої сторони струмка, і зліва направо – при обкатуванні лівої сторони. За рахунок повороту важеля утворююча ролика огинає профіль обкатуємої деталі, здійснюється подача обкатування. При повороті важеля сектор, що знаходиться в зачепленні з важелем, повертається і, поступово стискаючи пружину, переміщає поршень щодо циліндра. Рідина, залита в циліндр, переливається через клапан справа наліво і дозволяє важелю вільно відхилитися в процесі обкатування, а при відведенні ролика від деталі перешкоджає швидкому поверненню важеля в початкове положення. Важіль поволі повертається у міру перетікання рідини з лівої порожнини в праву через калібрувальний отвір. Для обкатування лівої сторони профілю струмка поршень перекидається в нижню виїмку сектора.

Подача супорта верстата при обкатуванні шківів складає 1 мм/об деталі, що при профільному радіусі ролика $r_p = 160$ мм відповідає подачі ролика по

утворюючий струмка 2,1 мм/об. Швидкість обкатування складає 50 м/хв. Оптимальне зусилля на ролику, що обирається у зв'язку із змінним діаметром ролика при твердості матеріалу деталі 140 НВ, змінюється в процесі огинання профілю струмка від 3 до 7 кН. Шорсткість поверхні перед обкатуванням відповідає параметру $R_z = 20$ мкм, після обкатування параметру $R_a = 0,16 - 0,32$ мкм.

Струмок канатного барабана є різьбленням увігнутого кругового профілю. Поверхню струмків крупних барабанів обробляють з шорсткістю $R_z = 10 - 40$ мкм. Отримання необхідної якості поверхні нерідко утруднене, особливо на карусельних верстатах, у зв'язку з виникненням вібрацій при нарізуванні струмків різцями кругового профілю. У додатку А, спосіб 10, показаний пристрій, що дозволяє обкатувати як кільця, так і гвинтові поверхні кругового профілю. Робочими роликками в ньому служать голчаті ролики діаметром 5 мм, що спираються на циліндровий валик, що приводиться в обертання електродвигуном ($N = 1,5$ кВт; $n = 1400$ об/хв). Пристрій закріплюється в різцетримачі карусельного верстата, вводиться роликками в струмок і подається з кроком нарізки струмка на кожний оберт деталі. Обертання деталі з частотою 0,37 об/хв при цьому грає роль руху кругової подачі, що становить 0,8 мм на один ролик за кожний оберт сепаратора. Обкатування виконується за три повздовжні проходи, причому перед кожним проходом пристрій зміщується уздовж вісі деталі на 0,5 мм для створення необхідного натягу. Шорсткість обкатоної поверхні відповідає параметру $R_a = 0,16 - 0,32$ мкм. [4, 7]

Хвилястий профіль кристалізаторів, сприяючий рівномірному охолодженню при усадці злитку, застосовується на обладнанні безперервного розливання сталі вертикального типу. Профіль стрижуть різцем, що обертається, методом огинання. Шорсткість поверхні після стругання відповідає параметру $R_z = 10 - 40$ мкм, тому кристалізатор піддають обкатуванню за допомогою десятироликового пристрою, показаного в додатку А, спосіб 11. Комплект роликів, що послідовно прокатуються по кожному

кроку хвилеподібної поверхні за один подвійний хід столу, огинає профіль в межах одного кроку. Ролики мають конічну форму з прямолінійною утворюючою; їх використовують для обкатування хвиль з круговим профілем постійної кривизни. Для обкатування складніших хвилястих профілів застосовують ролики з невеликою негативною кривизною. Після обкатування шорсткість хвилястої поверхні мідних кристалізаторів відповідає параметру $R_a = 0,08 - 0,32$ мкм.

1.2 Обґрунтування теми та формулювання задачі досліджень

У будь-якої машини, незалежно від того, працює вона, простоє чи транспортується, змінюються фізико-механічні і геометричні параметри деталей. Одночасно знижуються техніко-економічні показники конструкції в цілому і настає момент, коли подальша її експлуатація неможлива або стає економічно недоцільною. Тому у процесі експлуатації машина потребує технічного обслуговування з метою пі Отримання її технічного стану, а також ремонту для відновлення цих якостей, коли експлуатація стає неможливою.

Проте, коли машина (або інша техніка) вийшла з ладу, то це ще не означає, що всі деталі та спряження втратили свої якості, оскільки деталі виготовлені з матеріалів із різними фізико-механічними властивостями і мають різну інтенсивність зношування; застосування системи допусків на розміри, похибка форми та шорсткість поверхонь, показники термічної обробки та інші параметри обумовлюють випадковість сприятливих та несприятливих поєднань цих параметрів у спряженнях і, як результат, - різні строки служби; неоднакова напруженість роботи деталей та вузлів; строки служби елементів окремих екземплярів машин мають значні розходження внаслідок різноманітних умов роботи.

Відомо, що при нормальній інтенсивності використання основні агрегати тракторів виробляють закладений конструкцією ресурс через 3 - 4 роки при розрахунковому строку служби 10 років і більше. Створювати ж

техніку, яка не потребуватиме ремонту весь період експлуатації, економічно не виправдано, та і досягти цього у недалекому майбутньому неможливо.

Як показують дослідження та практика, з одного боку, ремонту сільськогосподарської техніки уникнути технічно неможливо, а з другого - він є економічно доцільний. Адже більшість зношених деталей має високу залишкову вартість: при їх відновленні витрачається у 20 - 30 разів менше металу і матеріалів, ніж при виготовленні нових. Наприклад, понад 90 % деталей, віднесених до категорії повністю непридатних до подальшої роботи, мають знос всього 0,1 - 0,3 мм по діаметру, тобто втратили менше 0,5 - 0,1 % маси, і після відновлення 65 - 75 % їх загальної кількості практично можна використати вдруге.

Ефективне виконання усіх видів ремонтних робіт і технічного обслуговування сільськогосподарської техніки із застосуванням прогресивних технологій може бути забезпечене широко розвинутою системою наукових, виробничих та інших структур. Тому необхідно створювати та постійно удосконалювати ремонтно-обслуговуючу базу сільського господарства.

При конструюванні і виробництві машин закладаються певні експлуатаційні показники, які забезпечують виконання машиною заданих функцій, тобто задаються функціональні, а також інші її якісні властивості, які оцінюються відповідними параметрами. До функціональних параметрів можна віднести, наприклад, тягове зусилля трактора, потужність двигуна, питому витрату палива; для сільськогосподарських машин - глибину оранки, рівномірність висіву тощо.

У процесі експлуатації машини на її елементи (спряження і деталі) діють шкідливі явища і руйнівні процеси, які призводять до погіршення функціональних властивостей, змінюючи їх технічний стан. Рівень технічного стану машини характеризує її здатність (або нездатність) виконувати задані функції і оцінюється співставленням фактичних значень параметрів із заданими у технічній документації.

Руйнівні процеси пов'язані з робочим процесом, який виконує машина, зовнішнім середовищем, природою матеріалу тощо.

До основних видів руйнівних процесів можна віднести: тертя і зношування деталей, пластичне деформування, явище втомлюваності, корозію.

Тому, метою роботи є розробка високоефективної технології зміцнення обкатуванням роликів деталей зі складним робочим профілем, у т. ч. шківів клиноремінних передач, що буде сприяти підвищенню продуктивності обробки і якості виготовлених та експлуатуючих деталей.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Провести аналіз сучасного стану застосування методів обкатування роликів і вимоги до використання шківів клиноремінних передач.

2. Теоретично дослідити вплив поверхневого пластичного деформування конічних поверхонь деталей обкатуванням роликів за допомогою методу обкатування.

3. Провести дослідження фізичного моделювання процесу обкатування конічних поверхонь з урахуванням параметрів у контакті роликів з обкатуваною поверхнею та величини ковзання в контакті.

4. Розробити оригінальну конструкцію пристрою для обкатування роликів шківів клинопасових передач.

5. Провести експериментальні дослідження за допомогою планування експерименту з метою визначення конструктивних і кінематичних параметрів пристрою.

6. Розробити заходи з охорони праці щодо досягнення встановлених нормативів безпеки, гігієни праці, а також запропонувати дії у надзвичайних ситуаціях.

7. Розробити бізнес – план, із застосуванням розробленої технології.

Висновки до першого розділу

У першому розділі було здійснено ґрунтовний аналіз сучасного стану застосування методів обкатування роликками для підвищення якості обробки складних поверхонь деталей. Особлива увага приділена різьбовим та конічним поверхням, що застосовуються у сільськогосподарських машинах та іншому промисловому обладнанні. Методи обкатування, зокрема, накочення роликками, дозволяють суттєво підвищити якість поверхні за рахунок зменшення шорсткості та збільшення зносостійкості деталей, що є важливим фактором в умовах абразивного зносу та запиленості.

Розглянуті методи продемонстрували ефективність у забезпеченні необхідних технічних параметрів, таких як шорсткість і тривалість служби деталей. Крім того, було проаналізовано різні конструкції роликкових пристроїв для обкатування, що дозволяють обробляти як малі, так і великі профілі різьблення. Це дає можливість застосовувати технології обкатування в серійному виробництві, підвищуючи його ефективність та знижуючи витрати на виготовлення нових деталей.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІЦНЕННЯ ШКІВІВ КЛИНОПАСОВИХ ПЕРЕДАЧ

2.1 Практика використання клинопасових передач

Передача механічної енергії, здійснювана гнучким зв'язком за рахунок тертя між ременем і шківом, називається ремінною. Ремінна передача складається з ведучого і веденого шківів, розташованих на деякій відстані один від одного і огинає приводним ременем (рис. 2.1). Чим більше напруга, кут обхвату шківа ременем і коефіцієнт тертя, тим більше що передається навантаження. В залежності від форми поперечного перерізу ремня передачі бувають: плоскопасові (рис. 2.2, I), клинопасові (рис. 2.2, II) і круглоремні (рис. 2.2, III). Найбільшого поширення в машинобудуванні отримали плоскі і клиновидні ремені. Плоскі ремені відчують мінімальне напруження згину на шківах, клиновидні завдяки клинові впливу зі шківом характеризуються підвищеною тяговою здатністю. Круглі ремені застосовують в невеликих машинах, наприклад в машинах швейної та харчової промисловості, настільних верстатах та приладах. [9, 10]

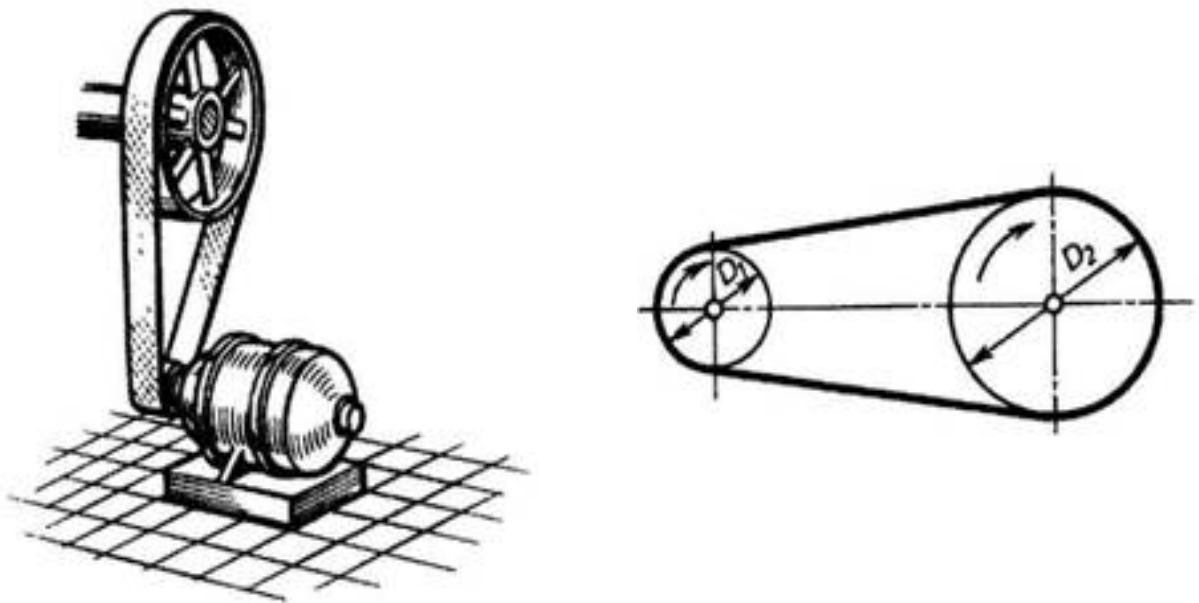


Рисунок 2.1 - Пасова передача

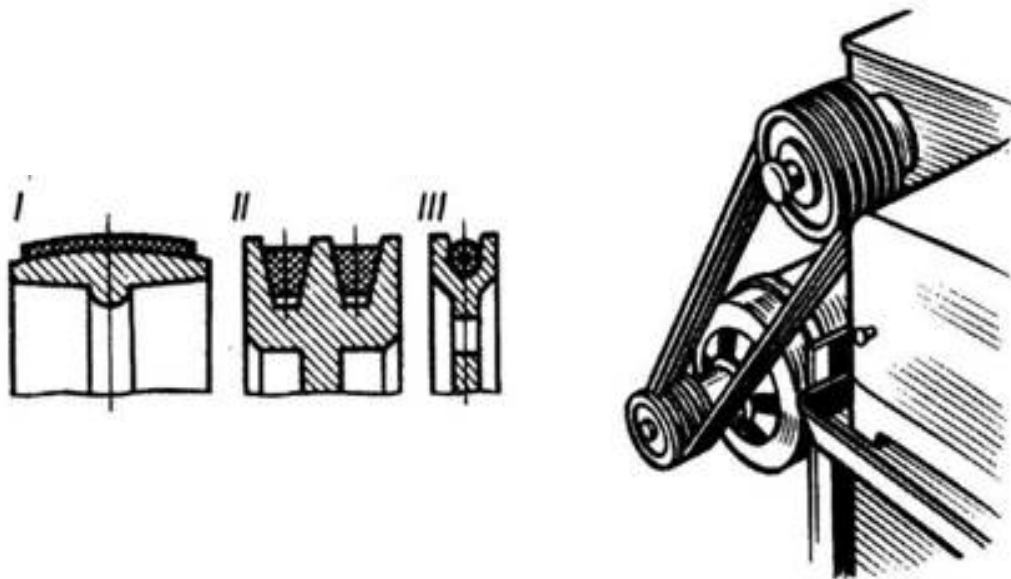


Рисунок 2.2 - Види пасових передач

До переваг ремінних передач відносяться: можливість передачі обертального руху на великі відстані (до 15 м): простота конструкції і мала вартість; плавність ходу і безударність роботи; легкість догляду і обслуговування.

Однак ремінні передачі громіздкі, недовговічні в швидкохідних механізмах, не дозволяють отримувати постійного передаточного відношення через прослизання ременя, створюють підвищені навантаження на вали і опори (підшипники), так як сумарне натягнення гілок ременя значно більше окружної сили передачі. Крім того, під час експлуатації ремінної передачі не виключена можливість зіскакування і обриву ременя, тому ці передачі потребують постійному нагляду.

У клинопасової передачі гнучкий зв'язок здійснюється приводним ременем трапецевидного перетину з кутом профілю рівному 40° (в недеформованому стані). У порівнянні з плоским ременем клиноподібний ремінь передає великі тягові зусилля, але передача з таким ременем має знижений ККД. [10-12]

Клинопасові передачі доцільно використовувати при великих передавальних відношеннях, малих міжосьових відстанях і вертикальному

розташуванні осей валів. Швидкість ременів клинопасової передачі не повинна перевищувати 30 м/с. В іншому випадку клиновидні ремені будуть вібрувати.

Клиновидні ремені для приводів загального призначення стандартизовані ДСТУ ISO 4184:2010.

При монтажі клинопасової передачі особливу увагу звертають на правильність III установки клиновидного ременя в канавці ободу шківів (рис. 2.3).

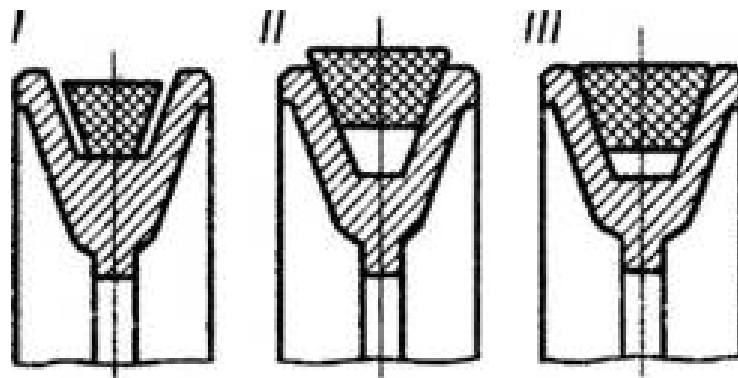


Рисунок 2.3 - Правильність установки клинового ременя

2.2 Основні вимоги при експлуатації клинопасових передач і процес їх зношування

Найчастішою причиною позапланових простоїв механізмів з ремінними передачами є перекіс шківів. Перекіс викликає підвищений знос шківів і ременя приводу, збільшує рівень шуму і вібрацій. Все це може привести до раптового відмови механізму. Іншим побічним ефектом підвищеної вібрації є передчасний вихід з ладу підшипників.

Регулювання «на око» або по лінійці є найбільш поширеним методом вивірки. Ці методи «проб і помилок» є неточними і займають дуже багато часу.

Допомогти у вирішенні цих проблем може новітнє пристосування ТМЕВ 2 з серії точних лазерних приладів SKF для вивірки ремінних передач (рис. 2.4).

Точне вирівнювання шківів і ременя дозволяють: знизити знос шківів і ременя; знизити тертя і, відповідно, втрати енергії; знизити вібрацію і шум; підвищити довговічність підшипників; підвищити безпеку; підвищити час безвідмовної роботи механізмів; знизити витрати на ремонт і простий механізмів. [12]



Рисунок 2.4 - Лазерний прилад SKF для вивірки ремінних передач

Пристосування SKF для регулювання співвісності шківів TMEB 2, вирівнює шків, використовуючи головний їх елемент - канавку (струмок). Для закріплення пристосування в канавці шківа використовуються V-подібна напрямна і потужний магніт. Установка пристосування дуже проста, він має всього два компоненти: блок з лазером-випромінювачем і блок з приймачем випромінювання. Приймач має спеціальну площадку, що відбиває промінь лазера в трьох площинах. Це дає можливість визначити величину перекосу і його вигляд: горизонтальний, вертикальний, паралельний перекіс або комбінація всіх трьох. Озброєний цією точною інформацією оператор може легко виконувати необхідні регулювання до тих пір, поки випромінюється промінь лазера не співпаде з відбитим.

Висока точність сучасних лазерних технологій: регулювання з використанням канавок шківів, а не їх торців дозволяє вирівнювати шківів різної товщини або з різними торцями і, навіть, робити регулювання механізмів, в яких неможливо опертися на торці шківів (рис. 2.5).

Ніяких «проб і помилок». Промінь лазера показує вид перекосу, і регулювання здійснюється легко і точно. Універсальність і зручність використання: потужні магніти забезпечують швидку і точну установку; простота використання, навчання не потрібно; спрощується одночасна регулювання натягнення і перекосу; V-подібні напрямні застосовні до широкого кола шківів для V-образних ременів.

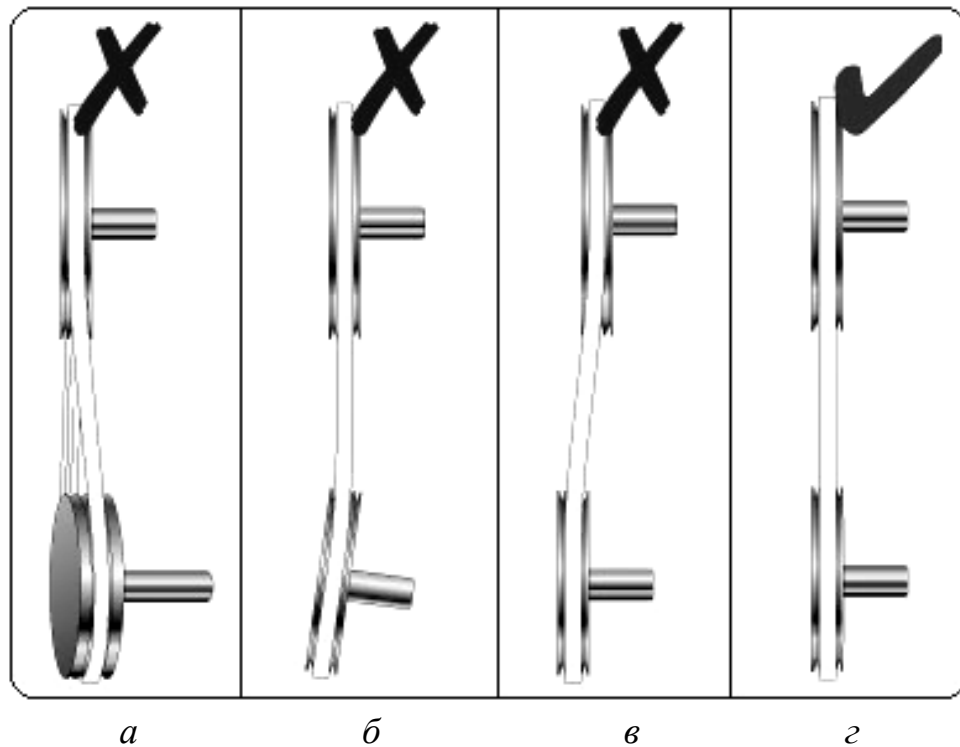


Рисунок 2.5 - Можливі варіанти неправильної установки клинопасових передач: *a* – вертикальний перекіс; *б* – горизонтальний перекіс; *в* – паралельний перекіс; *г* – правильне положення

У вигляді доповнення є спеціальний перехідник дозволяє регулювати пасові передачі з багаструминними шківками, а, також, ланцюгові передачі. Гранична відстань між блоками вимірювання в 6 м (20 футів) дозволяє налаштувати різні механізми.

Мінімально допустимі діаметри шківів, як правило, вказуються в нормативній документації на ремені і призначаються з умови забезпечення заданого ресурсу ременів, обумовленого в нормативній документації на відповідний тип ременів.

Величина робочого діаметру шківів, з яким входить у контакт ремінь, впливає на напруги, що розвиваються в ремені при вигині на шківі. Ці напруги є одним з компонентів силового циклічного впливу на ремінь, який приводить в остаточному підсумку до його руйнування. Якщо простежити величини деформацій найбільш навантажених волокон клинових ременів при їх вигині на шківі мінімального діаметра, то можна звернути увагу, що в міру збільшення поперечного перерізу клинових ременів величина допустимих деформацій вигину зменшується. Деформації обчислюються за відомою формулою.

Деформації для клинових пасів змінюються в міру збільшення поперечного перерізу ременів в межах від 4,5 до 1,6%. Це пов'язано з особливістю внутрішньої будови полімерних матеріалів, до яких відноситься гума, яка є одним з основних матеріалів ременя. Деформація гуми по фазі відстає від прикладеної до неї напруги, що обумовлює гістерезисні втрати енергії деформації. [13]

Різниця між енергією, витраченої на навантаження полімеру і виділяється енергії розвантаження є втраченою енергією, яка перетворюється в тепло і витрачається на нагрів маси ременя. Збільшення поперечного перерізу й маси ременів викликає зростання тепловиділень, а поверхня ременів, через яку виділяється тепло, збільшується повільніше ніж маса, тому в кінцевому підсумку температура ременів під час роботи зростає при збільшенні їх перетину. Разом з тим, відомо, що довговічність матеріалів убуває із зростанням робочої температури.

Таким чином, мінімально допустимий діаметр шківів пов'язаний з допустимою величиною деформації згину ременя і числом циклів деформацій в хвилину. Звідси прийнята поширена рекомендація вибирати мінімально допустимі діаметри шківів для плоских ременів по співвідношенню діаметра шківів до товщини ременя для заданої частоти обертання шківів.

Допустимі величини деформацій залежать від конструкції і матеріалу ременя. Ремені на основі кордшнура можуть працювати на шківів меншого

діаметру, ніж кордтканеві. Вплив матеріалів, з яких виготовлений ремінь, на допустимі величини деформації згину стає ясним, якщо врахувати, що деформації пов'язані з напругою через характеристику матеріалу, якої в найбільш простому випадку є модуль пружності E .

У загальному вигляді зв'язок напружень з деформацією в гумі описується спадкової теорією пружності, яка враховує передісторію навантаження і релаксацію напружень або повзучість (розвиток деформації в часі).

Вплив матеріалу на величину допустимих напружень вигину можна простежити на ременях, виготовлених на основі орієнтованої поліамідної плівки. За даними каталогу фірми «Хабасіт» (Швейцарія) допустимі величини деформацій вигину для ременів з одним із видів покриття, призначених для нормальних умов експлуатації, знаходяться в межах від 5%.

Таким чином, для зниження впливу згинальних деформацій необхідно діаметр мінімального шківів передачі приймати можливо великим, особливо у випадку швидкохідних передач і передач, що працюють у важких умовах. У деяких випадках при правильно обраних діаметрах шківів в швидкохідних передачах з плоскими ременями при швидкостях більш 40 м/хв спостерігається підвищене ковзання. Останнє пов'язано з виникненням повітряної подушки між ремнем і шківом, що супроводжується підвищеним шумом. Усунення повітряної подушки можливо шляхом нанесення на поверхню шківів поздовжніх канавок, що забезпечують вихід повітря, яке захоплюється ремнем при його роботі. [11, 14]

Стандартами допускається застосування шківів менших діаметрів, ніж припустимо для даного типу ремня. Зазвичай це пов'язано з обмеженими габаритами передач, що характерно для приводів сільськогосподарських машин. Проте зменшення діаметру шківів неминуче веде до істотного зниження ресурсу.

Сила тертя в ремінних передачах є одним з визначальних показників якості передачі, тобто властивості матеріалів поверхні ремня і шківів мають

вирішальний вплив на тягову здатність передачі. Звідси виникає ряд вимог до цих поверхнях.

Чистота обробки робочих поверхонь шківів повинна бути по можливості найвищою. Зазвичай шорсткість обробки робочої поверхні шківів призначається на рівні 3,2 - 2,0 по ГОСТ 9378-93 і міжнародному стандарту ISO 254, що досягається чистовою обробкою на металорізальних верстатах. Більш груба обробка, велика шорсткість поверхні шківів не покращує умови тертя, як це можна було б припустити, так як в цьому випадку площа поверхні зіткнення ремня зі шківом набагато менше. Крім того, при більш грубій обробці різко підвищується знос поверхонь ремня і шківа. Спрацювання робочої поверхні шківів особливо несприятливо позначається на роботі клинопасової передачі, ремінь якої в результаті зносу поверхні шківа змінює своє положення в канавці шківа (переходить на менший діаметр). Внаслідок випучування робочої поверхні клинового ремня при його згині, появи «бочкоподібності» по відповідній кривизні виробляється поверхню шківа, що призводить до інтенсивного зносу самого ремня.

Інтенсивний знос поверхні ремня має місце і через дефекти поверхні шківів (забоїн, раковин). Однак шківви, мали дефекти поверхні, можуть експлуатуватися після ремонту за допомогою зварювання, пайки міддю, закладення епоксидними композиціями з подальшою зачисткою до вище вказаної чистоти.

Поверхня ремня також повинна бути гладкою, що забезпечується відповідною чистотою обробки поверхні прес-форм. Різко знижується тягова здатність (аж до повної відмови передачі) при наявності на поверхні шківа або ремня навіть слідів мастила або інших забруднень, що знижують силу тертя між ремнем і шківом. До числа забруднень можна також віднести різні антикорозійні покриття, в тому числі і шар фарби. При попаданні паливно-мастильних матеріалів на ремінну передачу, внаслідок підвищення ковзання, різко підвищується температура ремня, що знижує його довговічність. Крім того, контакт поверхні ремня з паливно-мастильних матеріалами викликає

набухання шарів гуми, навіть гуми на основі маслостійкого хлоропренового каучуку. Набухання знижує міцність гум. Попадання мастила на привід в потужних передачах, до яких можна віднести варіаторний привід ходової частини комбайнів, викликає настільки високий розігрів ременів, що в практиці спостерігалися випадки їх самозаймання.

Слід зазначити вплив на довговічність передачі відповідності кутів клина поперечного перерізу клинового ременя кутку клина канавки шківів.

Як згадувалося раніше, при вигині ременя по радіусу, рівному половині розрахункового діаметра шківів, поперечний переріз паса спотворюється, бічні грані витріщає. Теоретично, виходячи з обліку деформацій, що розвиваються у волокнах вигнутого ременя (у волокнах вище нейтральної лінії поперечного перерізу ременя-розтягуючих, нижче нейтральної лінії-стискаючих), бічна поверхня описується кривою другого порядку. Максимальне відмінність кутів між дотичними до бічної поверхні ременя, вулканізованого в пресі на лінійній прес-формі, виникає при його вигині на шківі з мінімально допустимим діаметром і досягає $4 - 5^\circ$. Зміна кута між дотичними на рівні нейтральної лінії перерізу вигнутого ременя по відношенню до кута клина прямолінійних ділянок ременя досягає 8° .

При натягу за рахунок деформації бічних поверхонь ремінь приймає форму, відповідну формі клина канавки шківів, однак при цьому питомий тиск бічних поверхонь ременя на робочу поверхню канавки шківів розподіляється нерівномірно. Ремінь здатний припрацьовуватимь до кута клина канавки шківів. Разом з тим, нерівномірний розподіл тиску викликає нерівномірний знос як поверхонь ременя, так і поверхонь канавки шківів. [14]

Як показує практика, найбільш сприятливі умови для роботи приводу створюються при збігу кута клина канавки шківів і кута між лініями, що стосуються бічній поверхні перетину вигнутого ременя на рівні нейтральної лінії кута клина ременя. Припустимо і навіть сприятливо зменшення кута клина канавки шківів в порівнянні з кутом ременя на $2 - 3^\circ$, що створює заклинює ефект і покращує тягову здатність передачі.

Як показали експерименти, розрахунок зміни кута клина ременя при вигині під різними радіусами за методикою, заснованої на аналізі деформацій волокон поперечного перерізу ременя, дає кілька занижені результати, що пов'язано з особливостями конструкцій ременів, які не враховуються зазначеної методикою.

Найкращі результати при виборі кута клина канавки шківа забезпечуються при експериментальній оцінці зміни кутів клина ременя при вигині його від прямолінійної форми до радіусу шківа мінімально допустимого діаметру.

У всіх випадках істотне відхилення кутів клина канавки шківів від кута клина поперечного перерізу ременя викликає прискорений знос як поверхні канавок шківів, так і робочих поверхонь ременя. Ресурс ременя при роботі на зношеної поверхні канавок знижується майже в два рази. Крім того, зменшення кута клина канавки шківа більш ніж на $2 - 3^\circ$ в порівнянні з кутом клина ременя, вигнутого по радіусу шківа, сприяє надмірному заклинювання ременя, що викликає прискорений знос більшого підстави ременя і відшаровування шару стиску. Збільшення кута клина канавки шківа викликає небезпеку нестійкої роботи ременя і, як наслідок цього, можливість перекидання.

Зміна кута клина ременя при його вигині враховується як вітчизняними стандартами при проектуванні угла клина канавки шківів, так і зарубіжними. Для клинових ременів, залежно від призначуваного розрахункового діаметру шківів, кут канавки уніфікований і приймається рівним 34° , 36° , 38° і 40° .

Слід зазначити, що вище йшла мова про ремені, що не мають зубів в шарі стиснення, які знижують згинальну жорсткість ременів і сприяють охолодженню ременя при роботі. Наявність зубів (пазів) у клинових ременів практично виключає деформацію матеріалу шару стиску при вигині ременя, і кут клина ременя змінюється при вигині дуже мало. Шківи клинопасових варіаторів, у зв'язку з особливостями передачі, зазвичай мають один кут клина між дисками. Кут клина канавки шківів і дисків варіатора вибирають або для

середнього розрахункового діаметру, на якому працює ремінь, або для мінімального, так як режим роботи ременя в останньому випадку найбільш важкий, а крім того, в цьому випадку забезпечується максимальний діапазон зміни частоти обертання веденого вала.

З урахуванням раніше сказаного для варіаторних ременів було б доцільно використовувати шківів із змінним кутом клина по висоті канавки. Такі рекомендації дають автори, що розглядають варіаторні передачі, однак на практиці профільована робоча поверхня варіаторних шківів використовується вкрай рідко через складність їх виготовлення.

2.3 Кінематика процесу та параметри роботи клинопасових передач

Основними критеріями працездатності ремінних передач є: тягова здатність, яка залежить від значення сил тертя між ремнем і шківом, і довговічність ременя, тобто його здатність пручатися втомному руйнуванню (рис. 2.6).

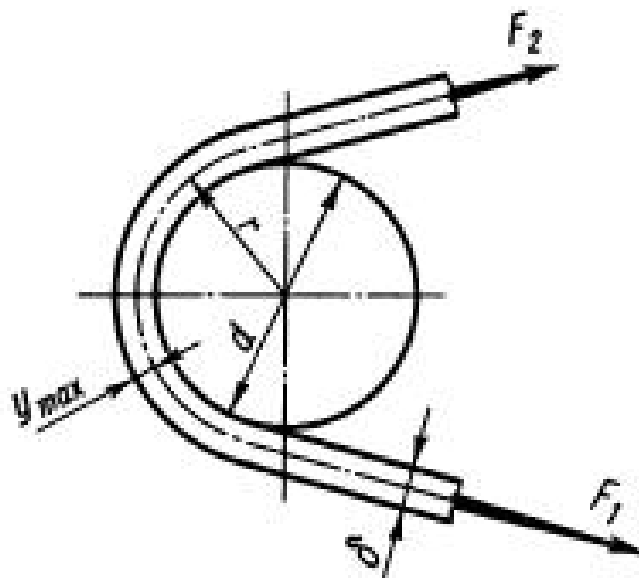


Рисунок 2.6 - Вигин ременя на шківі

Основним розрахунком ремінних передач, що забезпечує необхідну міцність ременів, є розрахунок по тяговій здатності. Розрахунок на довговічність проводиться як перевірочний.

Тягова здатність пасової передачі обумовлюється зчепленням ремня зі шківками. Досліджуючи тягову здатність, будують графіки - криві ковзання та ККД (рис. 2.7); на їх базі розроблено сучасний метод розрахунку ремінних передач.

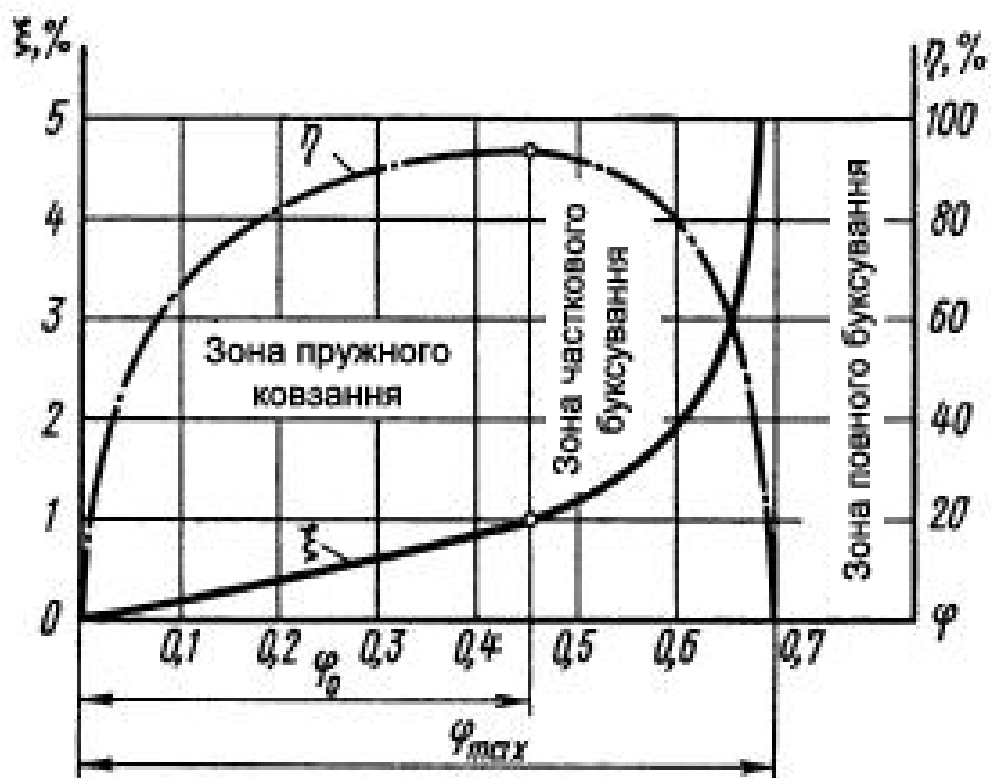


Рисунок 2.7 - Криві ковзання і ККД

В результаті дослідження кривих ковзання, побудованих за дослідними даними, встановлюють зв'язок між корисним навантаженням - окружний силою, або тягою, F_t і попереднім натягом ремня F_o в залежності від коефіцієнта ковзання ξ .

При випробуванні поступово підвищують корисне навантаження F_t при постійному натягу, заміряючи при цьому ковзання та ККД передачі.

При зростанні коефіцієнта тяги від нуля до критичного значення φ_0 спостерігається тільки пружне ковзання. У цій зоні пружні деформації ремня наближено підкоряються закону Гука, тому крива ковзання близька до прямої. При значенні φ_0 окружна сила F_t досягає значення максимальної сили тертя, дуга спокою зникає, а дуга ковзання вісі поширюється на весь кут обхвату (рис. 2.7). [9, 10]

При збільшенні коефіцієнта тяги від φ_0 до ρ_{\max} робота передачі стає нестійкою. До пружному ковзанню додається часткове буксування, яке у міру збільшення φ зростає, ремінь швидко зношується, ККД передачі різко падає. При φ_{\max} настає повне буксування, ведений шків зупиняється, ККД падає до нуля.

Найбільші напруження діють в перерізі, $A-A$ провідної гілки ремня (рис. 2.8).

Складовими цих напружень є: розтягуючі напруження від попереднього натягу, напруження від переданого окружного зусилля k (так зване корисне напруження), напруження від відцентрових сил σ_u і напруження вигину σ_w .

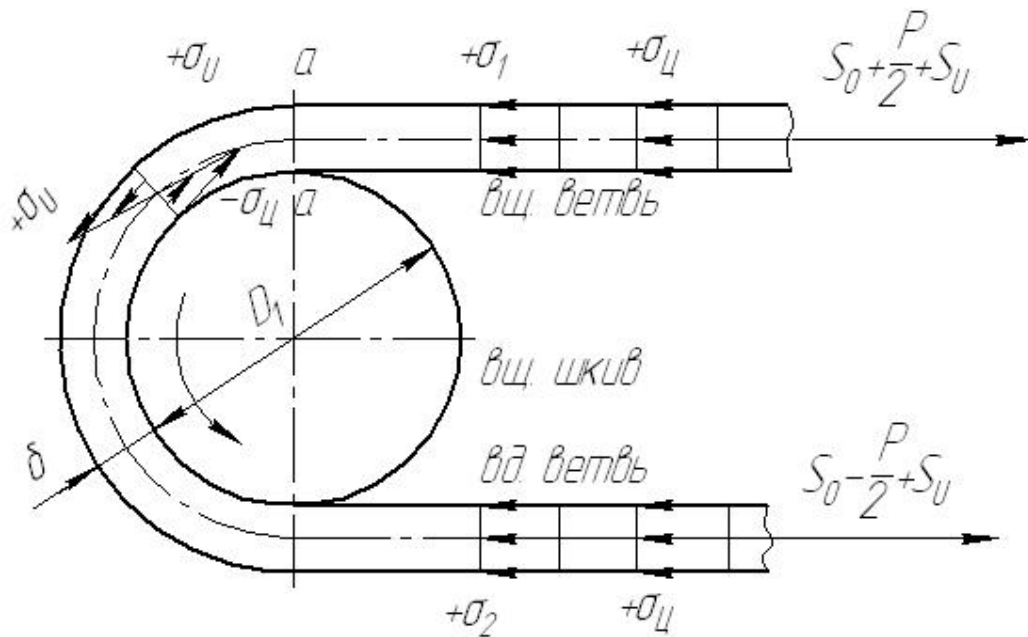


Рисунок 2.8 - Натяг в гілках ремня під час роботи

Напруження від попереднього натягу ремня визначиться:

$$\sigma_o = \frac{S_o}{F}, \quad (2.1)$$

де F - площа поперечного перерізу ремня, см^2 .

Величина σ_o робить істотний вплив на довговічність роботи ремня, тягову здатність передачі і сталість натягу ремня.

З ростом σ_o знижується довговічність ремня, збільшується витяжка, виникає необхідність у більш частих перешивках ремня або регулюваннях натягу.

Напруження σ_o є найважливішим чинником, що визначає тягову здатність передачі.

Для забезпечення оптимальних умов роботи передачі рекомендується приймати: для плоских ременів $\sigma_o = 18 \text{ кгс/см}^2$, а в передачах з самонатяжними пристроями $\sigma_o = 20 \text{ кгс/см}^2$, для клинових пасів $\sigma_o = 12 \div 15 \text{ кгс/см}^2$; для ременів з аніду, капрону $\sigma_o = 30 \div 40 \text{ кгс/см}^2$.

Напруження від переданого окружного зусилля:

$$k = \frac{P}{F}. \quad (2.2)$$

Величина корисного напруження k впливає на довговічність ремня приблизно в тій же мірі, як і σ_o .

Напруження від відцентрових сил:

$$\sigma_u = \frac{\gamma v^2}{10g} = \frac{q v^2}{gF} 10^{10}, \quad (2.3)$$

де v в м/с ; g в м/с^2 ;

γ - щільність ремня, г/см^3 .

Для прогумованих і клинових ременів $\gamma = 1,1 \div 1,2$ г/см; для шкіряних $\gamma = 1,0 \div 1,1$ г/см; для бавовняних $\gamma = 0,9 \div 1,0$ г/см.

Напруження вигину:

$$\sigma_u = E \frac{\delta}{D_{min}}, \quad (2.4)$$

де D_{min} - діаметр меншого шківів;

E - модуль пружності (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 - Модулі пружності E ременів

Найменування ременів	Кожані	Прорезинені і текстильні	Клинові кордтканеві	Клинові кордшнурові	Капронові
кгс/см ²	1500-2500	2000-3500	2500-4000	5000-6000	5000-35000

З метою зменшення габаритів передачі корисно відношення збільшувати, але при цьому істотно зростають напруги вигину, що надають переважне вплив на втомне руйнування та довговічність ременя. Тому на практиці величину відношення $\frac{\delta}{D_{min}}$ обмежують значеннями, вказаними в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Значення φ_k і $\frac{\varphi_{max}}{\varphi_k}$

Ремені	Кожані	Прорезинені	Хлопчатопаперові	Клинові
φ_k	0,6	0,6	0,5	0,7-0,9
$\frac{\varphi_{max}}{\varphi_k}$	1,35-1,5	1,15-1,3	1,25-1,4	1,5-1,6

Найбільше сумарне напруження:

$$\sigma_{max} = \frac{S_1}{F} + \frac{S_u}{F} + \sigma_u = \sigma_o + \frac{k}{2} + \sigma_u + \sigma_u. \quad (2.5)$$

2.4 Застосування зміцнюючих технологій для підвищення надійності і довговічності привідних ременів

Переважає більшість виходів з ладу ременів, а особливо зубчастих ременів пов'язано з деструкцією їх зубів, яка має два принципово різних види - втомне руйнування у формі тріщини, проростає від вершини межзубої западини уздовж підстави зуба і знос зуба ременя за профілем. Боротьба з останнім має стійку тенденцію до прогресу, що реалізується за допомогою оснащення ременів зносостійким тканинним покриттям зубів. Крім сферичного графіту, тканинне покриття перед вулканізацією просочують і іншими антифрикційними складами, наприклад, дисульфідом молібдену, дрібнодисперсними гранулами фторопластів і т. д. Втомне ж тріщиноутворення усувається в основному за рахунок застосування більш стійких каучуків. Так, замість звичайних хлоропренових гум пропонується використовувати уретанові каучуки або високомолекулярні сполуки типу «Десмопан», що призводить до подорожчання ременів в 3 - 10 разів і далеко не завжди ці витрати компенсуються високою довговічністю.

Пропонується новий концептуальний підхід до проблеми підвищення втомної міцності зубів ременів базується на застосуванні традиційних еластомірних, кордних і текстильних матеріалів для конструкції ременів. Він полягає в розробці і оптимізації параметрів ременів з армованими зубами. Оскільки армування зубів вулканізованого ременя практично неможливо, пропонується виконання зубових ременів повинні володіти технологічною реалізацією, тобто поряд з конструкціями необхідно створення відповідних технологій їх виробництва. [13]

Розподіл робочих напружень в обсязі зуба ременя, певне методом кінцевоелементної дискретизації, свідчить про наявність значних зсувних напружень між кордшнура і підставою зуба. Найбільша їх концентрація спостерігається в зоні переходу межзубів западини ременя до бічної грані зуба. Саме в цьому місці локалізуються первинні втомні тріщини. Зниження концентрації напружень в 3...10 разів з перерозподілом зсувних деформацій в ненавантажену область контакту зуба і кордшнура досягається введенням в масив зуба ременя різних армуючих елементів. Розроблений і запатентований ряд конструкцій армованих ременів (рис. 2.9), що відрізняються від стандартного виконання (*a*) наявністю різноманітної арматури, що має вид різьбових стрижнів або втулок (*б*); спіральних пружин (*в*), практично не обтяжують ремінь; парних спіральних пружин (*г*). Найбільш ефективно рівномірність розподілу напружень реалізується в конструкції зі спеціальними пружинами не циліндричною, а фігурного перерізу, подібного профілю зуба ременя (*д*).

Розроблена технологія та оснащення для виготовлення армованих ременів передбачає можливість встановлення пружинної арматури між витками корду після навивки останнього, її фіксацію від зсуву в довулканізаційний період і оберігання від деформацій з боку формоутворюючих елементів оснащення.

Для оперативної оцінки запропонованих варіантів армування проводились ресурсні стендові випробування відповідних зразків ременів по знову розробленою методикою. При її розробці спиралися на основні положення загальноприйнятого емпіричного підходу до дослідження циклічної витривалості зубів зубчастих коліс. Відмінності полягали в обліку характеру навантаження і фізико-механічних властивостей матеріалу зубів ременя. Якщо в нереверсивних зубчастих передачах зуби коліс схильні пульсуючому віднулевому навантаженню, то зусилля на зуби ременя на провідному і відомому шківках протилежні за напрямком і в загальному випадку не рівні за модулю, а фази навантаження на шківках чергуються

періодами релаксації під час знаходження зуба на гілках передачі. Дослідження проводилися як при значеннях коефіцієнта асиметрії циклу $\psi = -1$, що відповідало умовам роботи ременя на шківках з передавальним відношенням 1, так і при ψ , рівних $-0,7$; $-0,5$ і $-0,3$. Незначна теплопровідність еластомеру зубів ременя в порівнянні зі сталевими зубами шестерень зумовлювала вибір частоти навантаження з умови виключення надмірного нагрівання, що спотворює показники механічних властивостей матеріалу зубів. Практично ця частота обмежувалась значенням $12,5$ Гц. Всі об'єкти досліджень виготовлялися з ідентичних матеріалів в однакових технологічних режимах з використанням оснастки одного типорозміру.

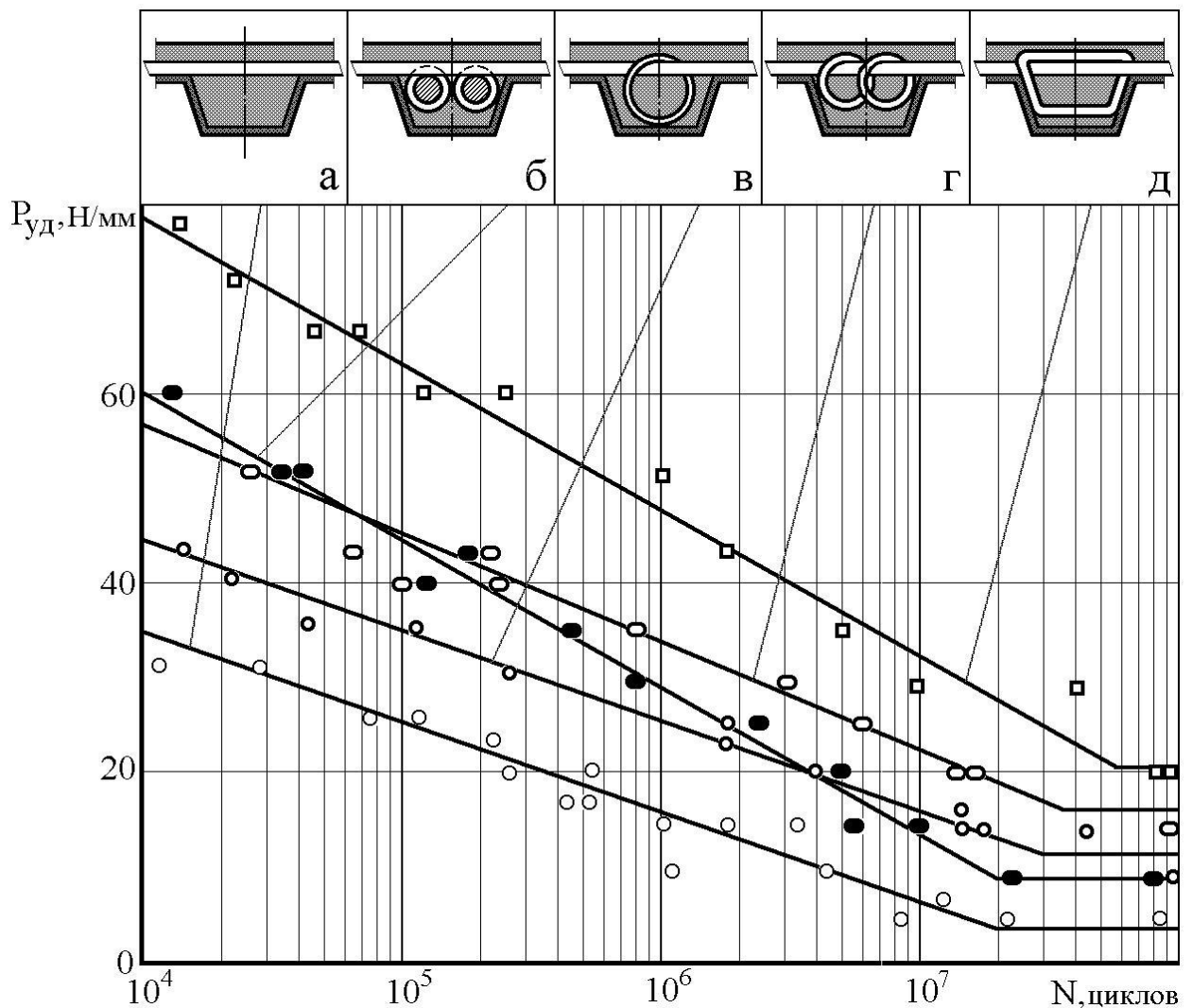


Рисунок 2.9 - Кінетичні діаграми втоми зубів стандартного (а) і армованих (б - д) зубчастих ременів

Експериментальне обладнання являло собою стенд-пульсатор з двухгребневим індентором, між якими з зазорами розміщувався досліджуваний зуб ременя. Наявність подібного індентора моделювали знакозмінні навантаження зуба ременя на дугах обхвату ведучого і веденого шківів, а зазори - фазу вистою зуба під час його знаходження в ненавантаженому стані на гілках передачі. Критерієм відмови був повний відрив зуба від основи ременя. Результати досліджень довговічності ременя з кроком зубців 9,42 мм приведені на рис. 1. По осі ординат відкладені значення не внутрішніх напружень в матеріалі армованого зуба, методика визначення яких практично не розроблена, а питомих зусиль $P_{уд}$, сприйманих ременем одиничної ширини. Таке уявлення залежності довговічності зубців ременя більш наочно, так як параметр $P_{уд}$ є основою для проектного розрахунку зубчатопасових передач. Параметри рівнянь кривих втоми - характеристики нахилу і точки їх перегину визначалися за стандартними методиками з використанням методу найменших квадратів.

Висновки до другого розділу

У другому розділі проведено аналіз теоретичних передумов технології зміцнення шківів клинопасових передач. Було визначено, що важливим фактором для забезпечення надійної та тривалої роботи клинопасових передач є правильна установка та співвісність шківів. Відхилення у розташуванні шківів призводять до підвищеного зносу ременів та деталей передачі, що в свою чергу знижує ефективність роботи механізму та підвищує витрати на технічне обслуговування. Було також розглянуто новітні технології, такі як використання лазерних приладів для точної вивірки шківів, що дозволяє знизити знос і підвищити продуктивність передачі.

Додатково було акцентовано увагу на проблемах зносу клинопасових ременів через вплив напружень, тертя та вібрацій під час роботи. Важливою складовою забезпечення довговічності ременів є застосування зміцнюючих

технологій, таких як використання спеціальних армуючих матеріалів і покриттів. Це дозволяє значно підвищити стійкість ременів до втомного руйнування, зменшити знос та підвищити ефективність роботи клинопасових передач, забезпечуючи їх стабільне функціонування навіть за умов високих навантажень.

3 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Обґрунтування вибору технологічних параметрів

Експериментальні дослідження процесу обкатування конічних поверхонь шківів клинопасових передач є важливою частиною розробки технології зміцнення цих деталей. Для успішного проведення досліджень необхідно врахувати низку факторів, таких як геометрія шківів, матеріали, використовувані для виготовлення, та характеристики обладнання, що застосовується для обкатування. Крім того, важливо визначити оптимальні режими роботи, такі як швидкість обертання деталей, величина зусилля обкатування, кількість проходів ролика та інші параметри, які впливають на результативність процесу.

Основною метою експерименту є оцінка впливу обкатування роликками на фізико-механічні властивості поверхні шківів, зокрема на їх зносостійкість, міцність та довговічність. Для цього потрібно обрати матеріали, з яких виготовляються шківви, що будуть експериментально досліджені. Вибір матеріалу є критичним, оскільки він визначає початкові властивості деталі та її здатність до зміцнення при обкатуванні. В даному випадку рекомендовано використовувати сталі 40Х та 34ХН1М, що відрізняються високою міцністю і твердістю, а також є широко застосовуваними у важкому машинобудуванні.

Наступним кроком є вибір обладнання для проведення експерименту. Для обкатування шківів використовуються спеціальні пристрої з циліндричними та голчатими роликками, які забезпечують потрібний тиск на поверхню деталі. Важливою умовою є можливість регулювання кута нахилу ролика та величини зусилля, що дозволяє адаптувати процес до різних типів шківів та умов експлуатації. Також необхідно врахувати такі параметри, як шорсткість поверхні перед обкатуванням, яка має відповідати вимогам до якості обробки (наприклад, $R_z = 10-40$ мкм), та кількість проходів ролика, що забезпечує рівномірність деформації поверхневого шару.

Під час проведення експерименту важливо контролювати основні показники процесу обкатування, такі як ширина смужки обкатої поверхні, величина деформації та якість одержаної поверхні після обкатування. Для цього необхідно проводити заміри та порівнювати їх із розрахунковими даними, щоб оцінити відповідність результатів експерименту теоретичним припущенням. Важливим аспектом є вибір відповідних методів вимірювання та аналізу, що дозволить отримати точні й достовірні результати.

Ще одним важливим фактором є аналіз впливу обкатування на мікроструктуру матеріалу. Поверхнева пластична деформація, спричинена обкатуванням, призводить до змін у кристалічній решітці матеріалу, що підвищує його зносостійкість і міцність. Для оцінки цих змін необхідно застосовувати методи мікроструктурного аналізу, такі як металографічні дослідження та мікротвердометрія. Результати таких досліджень допоможуть визначити ступінь зміцнення поверхневого шару та оптимальні параметри процесу обкатування.

Таким чином, експериментальні дослідження процесу обкатування шківів мають на меті знайти оптимальні режими обробки, що забезпечать максимальне зміцнення поверхневого шару без погіршення геометричних параметрів деталі. Це дозволить підвищити надійність і довговічність шківів клинопасових передач, що є критичним для тривалої та безперебійної роботи машин у важких умовах експлуатації.

3.2 Методика розрахунку та моделювання процесу обкатування

Для розрахунку розмірів западини і кутів профілю шківа в площині роликів, зсунутий з осьового перерізу шківа на величину h , радіусів кривизни в зоні деформації можна використовувати залежності [15]. Заклавши в них $\gamma = 0$, $q' = 0$, одержимо:

$$x_2 = \rho \cos \phi$$

$$y_2 = \rho \sin \phi \cos \lambda_p + [(\rho - m') \operatorname{tg} \alpha + p\phi] \sin \lambda_p + h \frac{\cos(\lambda - \lambda_p)}{\cos \lambda} \quad (3.1)$$

$$z_2 = -\rho \sin \phi \sin \lambda_p + [(\rho - m') \operatorname{tg} \alpha + p\phi] \cos \lambda_p + h \frac{\sin(\lambda - \lambda_p)}{\cos \lambda}$$

$$\psi(\rho, \phi) = \rho \sin \phi \cos \lambda_p + [(\rho - m') \operatorname{tg} \alpha + p\phi] \sin \lambda_p + h \frac{\cos(\lambda - \lambda_p)}{\cos \lambda} = 0 \quad (3.2)$$

$$\sin \phi = \frac{\sin \beta - \sin \alpha \sin \lambda_p}{\cos \alpha \cos \lambda_p} \quad (3.3)$$

$$h = \frac{-\cos \lambda \left\{ \frac{D_{cp}}{2} \sin \phi_1 \cos \lambda_p + \left[\left(\frac{D_{cp}}{2} - m_1 \right) \operatorname{tg} \alpha_1 + p\phi_1 \right] \sin \lambda_p \right\}}{\cos(\lambda - \lambda_p)} \quad (3.4)$$

$$B' = B \cos \lambda_p + \frac{D_{cp}}{2} \sin \lambda_p (\sin \phi_1 - \sin \phi_2) + \frac{P_\epsilon}{2\pi} \cos \lambda_p (\phi_1 - \phi_2) \quad (3.5)$$

$$\operatorname{ctg} \alpha' = \frac{(\cos \lambda_p + \sin \lambda_p \operatorname{tg} \alpha \sin \phi) [p\phi \sin \lambda_p - m' \operatorname{tg} \alpha \sin \lambda_p + h \frac{\cos(\lambda - \lambda_p)}{\cos \lambda}] - p \sin \lambda_p (\cos \lambda_p \sin \phi + \operatorname{tg} \alpha \sin \lambda_p) \cos \phi}{p \sin \phi (\cos \lambda_p \sin \phi + \operatorname{tg} \alpha \sin \lambda_p) + \operatorname{tg} \alpha [p\phi \sin \lambda_p - m' \operatorname{tg} \alpha \sin \lambda_p + h \frac{\cos(\lambda - \lambda_p)}{\cos \lambda}] \cos \phi} \quad (3.6)$$

$$\frac{d\rho}{d\phi} = -\frac{\rho \cos \lambda_p \cos \phi + p \sin \lambda_p}{\sin \phi \cos \lambda_p + \operatorname{tg} \alpha \sin \lambda_p} \quad (3.7)$$

Для розрахунку геометричних параметрів конічних поверхонь в зоні деформації у разі обкатування шківів використовують залежності при $\lambda = \lambda_p = 0$. Номенклатура шківів, які можуть обкатуватися циліндровими роликками з прямолінійною утворюючою, обмежується граничною величиною кривизни конічної поверхні в площині роликів. Обкатування конічних

поверхонь з позитивною кривизною в площині роликів моделювалося обкатуванням конусів. При обкатуванні визначають максимальну ширину деформованої смужки. Якщо ця ширина, помножена на коефіцієнт уточнення (відношення довжин контакту ролика з конічною поверхнею і поверхнею моделі при рівній величині втискування ролика (K_y)), визначений розрахунками. При обкатуванні моделей зберігаються кривизна обкатуваної поверхні в площині роликів і величини відносного ковзання в контактні роликів з деталлю μ_p в напрямках, паралельному і перпендикулярному вісі ролика. Кут $\varphi = \varphi_1$ в рівнянні (3.7) для лівої сторони западини розраховуються по (3.5) при $\beta = -6^\circ$, а кут $\varphi = \varphi_2$ для правої сторони западини визначається рішенням системи рівнянь (3.2) і (3.3) при $\alpha = \alpha_1$, $\lambda = \lambda_p = 0$. Кут $\beta = \beta_2$ для правої сторони западини розраховується по (3.3) при $\varphi = \varphi_2$, $\alpha = \alpha_2$. [16-18]

Радіус кривизни R_k поверхні конуса, прийнятого як модель правої сторони западини профілю в площині роликів, одержаній поворотом на кут β осьового перетину конуса навколо перпендикуляра до його утворюючої, визначається з урахуванням формули Ейлера [18]:

$$R_k = \frac{r_{cp}}{\sin \alpha_k \sin^2 \beta} \quad (3.8)$$

де r_{cp} - середній радіус конуса;

α_k - кут при підставі конуса.

Відносне ковзання при обкатуванні в напрямі, перпендикулярному вісі ролика:

- при обкатуванні конічної поверхні:

$$\mu_p = \frac{v_{max}}{v_{cp} \frac{\omega_p \left(\frac{D_{cp}}{2} + \frac{l_p}{2} \cos \beta \cos \alpha \right) l_p \cos \alpha \cos \beta}{\omega_p \frac{D_{cp}}{2}} \frac{D_{cp}}{D_{cp}}} \quad (3.9)$$

- при обкатуванні конуса:

$$\mu_k = \frac{v_{\max}}{v_{cp}} = \frac{\omega_k \left(r_{cp} + \frac{l_k}{2} \cos \beta \cos \alpha_k \right)}{\omega_k r_{cp}} = 1 + \frac{l_k \cos \beta \cos \alpha_k}{2 r_{cp}} \quad (3.10)$$

Якщо $\mu_p = \mu_k$; $l_p = l_k$, то одержимо:

$$r_{cp} = \frac{D_{cp} \cos \alpha_k}{2 \cos \alpha} \quad (3.11)$$

Кут конуса α_k з обліком (3.10) і (3.11) при $R_k = 1/K_k$ визначається з рівняння:

$$\alpha_k = \arctg \left[\frac{D_{cp} K_k}{2 \cos \alpha \sin^2 \beta} \right] \quad (3.12)$$

З рішення геометричної задачі перетину циліндра з конічною поверхнею визначимо довжину контакту ролика з поверхнею макету, відношення цих значень рівне коефіцієнту уточнення $K_y = l_p/l_k$.

Запишемо рівняння конічної поверхні в системі координат $x_3y_3z_3$ (рис 3.1), де y_3 - вісь ролика. Для правої сторони западини при $\alpha = \alpha_2$, $m' = m$ з урахуванням (3.1) маємо:

$$\begin{aligned} x_3 &= \rho \cos \phi \cos \alpha'_2 - \rho \sin \phi \sin \lambda_p \sin \alpha'_2 - [(\rho - m_2) \operatorname{tg} \alpha_2 - p\phi] \times \\ &\quad \times \cos \lambda_p \sin \alpha'_2 - m'_2 \cos \alpha'_2 + \frac{h \sin(\lambda - \lambda_p) \sin \alpha'_2}{\cos \lambda} \\ y_3 &= \rho \sin \phi \cos \lambda_p - [(\rho - m_2) \operatorname{tg} \alpha_2 - p\phi] \sin \lambda_p + \frac{h \cos(\lambda - \lambda_p)}{\cos \lambda} \quad (3.13) \\ z_3 &= -\rho \cos \phi \sin \alpha'_2 - \rho \sin \phi \sin \lambda_p \cos \alpha'_2 - [(\rho - m_2) \operatorname{tg} \alpha_2 - p\phi] \times \\ &\quad \times \cos \lambda_p \cos \alpha'_2 + m'_2 \sin \alpha_2 + \frac{h \sin(\lambda - \lambda_p) \cos \alpha'_2}{\cos \lambda} \end{aligned}$$

де α'_2 - визначається з формули (3.5) враховуючи залежності (3.2) при значеннях $\rho = D_{cp}/2, \alpha = \alpha_2, r_p = D_p/2$.

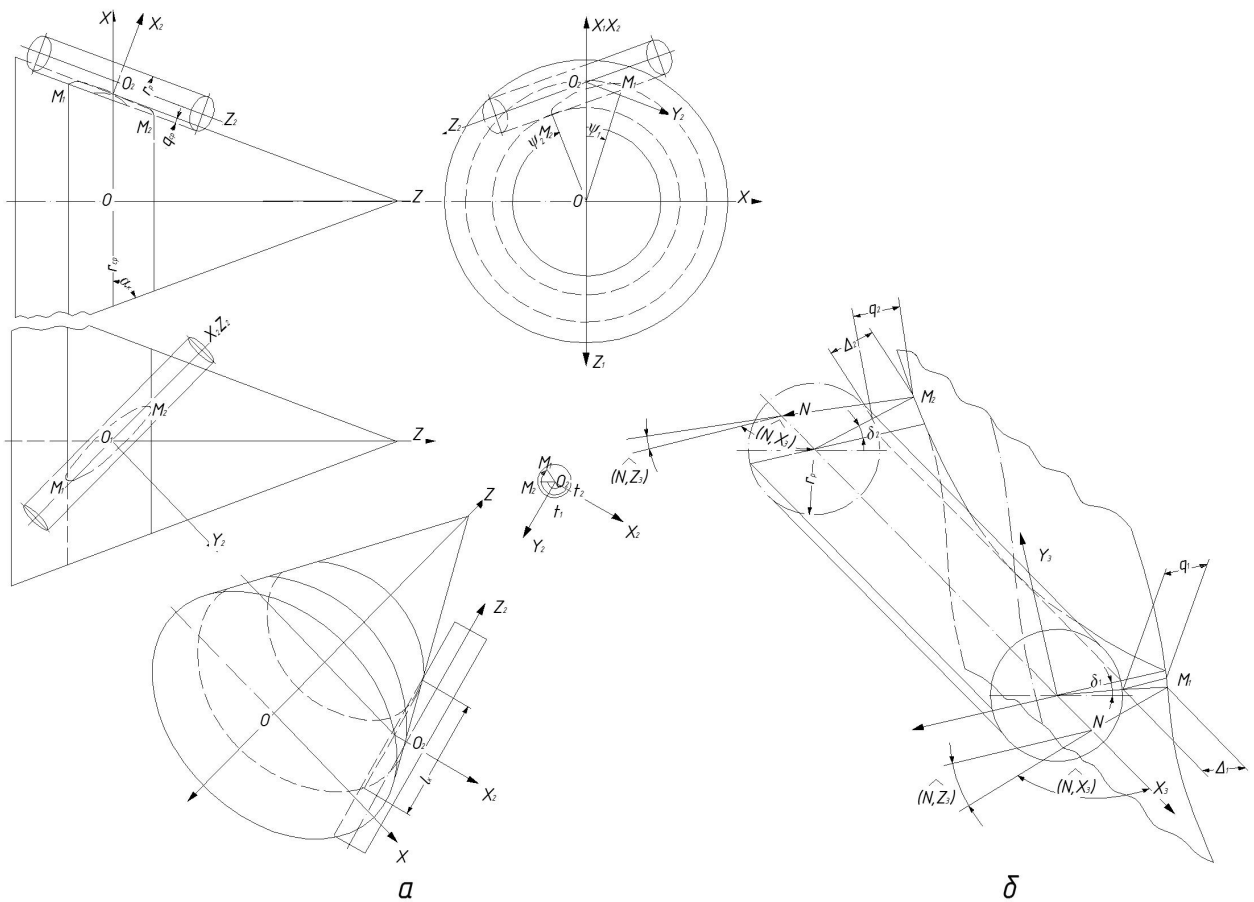


Рисунок 3.1 - Схеми розрахунку моделювання обкатування конусів (а) та глибини вдавлювання ролика в конічну поверхню (б)

Відстані Δ_1 і Δ_2 між точками M_1, M_2 конічної поверхні і поверхнею ролика при точковому контакті ролика з поверхнею на середньому діаметрі профілю визначаються з виразу:

$$\Delta = \left| \frac{z_3 \sin(N, \hat{x}_3)}{\cos(N, \hat{z}_3)} \right| - r_p \quad (3.14)$$

де (N, \hat{x}_3) і (N, \hat{z}_3) - кути відповідно між осями x_3z_3 і нормаллю N до конічної поверхні, що проходить через крапки M_1 і M_2 і вісь x_3 .

Втискування ролика у напрямі вісі z_3 до моменту торкання поверхні ролика точок M_1, M_2 конічної поверхні знаходиться по формулі:

$$q_{cp} = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta_1}{\cos \delta_1} + \frac{\Delta_2}{\cos \delta_2} \right) \quad (3.15)$$

де кути δ_1 і δ_2 визначаються рівністю $tg \delta_i = y_3/z_3$.

Координати $x_3 y_3 z_3$ точок M_1, M_2 розраховуються по формулах (3.13) відповідно при $\beta = D_n/2$ і $\rho = D_e/2$. Значення кута ϕ в (3.13) визначаються рівнянням нормалі N до конічної поверхні, що проходить через вісь x_3 :

$$\frac{X - x_3}{\cos(N, x_3)} = \frac{Y - y_3}{\cos(N, y_3)} = \frac{Z - z_3}{\cos(N, z_3)} \quad (3.16)$$

де X, Y, Z - координати нормалі,

x_3, y_3, z_3 - координати точок M_1, M_2 конічної поверхні.

З обліком (3.13) відповідно до [19] визначаються співвідношенням:

$$\begin{aligned} \cos(N, x_3) &= K [\sin \phi (-\rho \sin \lambda_p \sin \alpha'_2 tg \alpha_2 + p \cos \alpha'_2) + \\ &+ \cos \phi (p \sin \lambda_p \sin \alpha'_2 + \rho \cos \alpha'_2 tg \alpha_2) + \rho \cos \lambda_p \sin \alpha'_2]; \\ \cos(N, y_3) &= K [\rho (\sin \lambda_p + \sin \phi \cos \lambda_p tg \alpha_2) - \cos \phi p \cos \lambda_p]; \\ \cos(N, z_3) &= K [\sin \phi (-\rho \cos \alpha'_2 \sin \lambda_p tg \alpha_2 - p \sin \alpha'_2) + \\ &+ \cos \phi (-\rho \sin \alpha'_2 tg \alpha_2 + p \cos \alpha'_2 \sin \lambda_p) + \rho \cos \lambda_p \cos \alpha'_2] \end{aligned} \quad (3.17)$$

де K - нормуючий множник $K = 1/\sqrt{\rho^2 \sin^2 \alpha_2 + p^2}$.

В точках перетину нормалі з віссю x_3 значення $y_3 = 0, z_3 = 0$. З урахуванням цього остаточно одержимо:

$$\begin{aligned} &\rho \sin \phi \cos \lambda_p - [(\rho - m') tg \alpha_2 - p \phi] \sin \lambda_p + h \frac{\cos(\lambda - \lambda_p)}{\cos \lambda} + \\ &+ \rho \cos \phi \sin \alpha'_2 + \rho \sin \phi \sin \lambda_p \cos \alpha'_2 + [(\rho - m') tg \alpha_2 - \end{aligned}$$

$$\frac{-p\phi] \cos \lambda_p \cos \alpha'_2 - m'_2 \sin \alpha'_2 - \frac{h \sin(\lambda - \lambda_p) \cos \alpha'_2}{\cos \lambda}}{\rho(\sin \lambda_p + \sin \phi \cos \lambda_p \operatorname{tg} \alpha_2) - \cos \phi p \cos \lambda_p -} = 0$$

$$- \sin \phi (\rho \cos \alpha'_2 \operatorname{tg} \alpha_2 + p \sin \alpha'_2) -$$

$$- \cos \phi (\rho \sin \alpha'_2 \operatorname{tg} \alpha_2 - p \cos \alpha_2 \sin \lambda_p) + \rho \cos \lambda_p \cos \alpha'_2 \quad (3.18)$$

Після перетворення маємо:

$$\sin \phi \{ \phi [a_2 \rho + b_2] + c_2 \rho^2 + d \rho + e \} + \cos \phi \{ \phi [f d + q_2] +$$

$$+ i \rho^2 + l_2 \rho + j \} + \omega \rho = 0 \quad (3.19)$$

де $a_2 = -p \operatorname{tg} \alpha_2 \cos \alpha'_2$; $b_2 = -p^2 \sin \lambda_p \sin \alpha'_2$; $c_2 = \sec^2 \alpha_2 \cos \alpha'_2$;

$$d = -m'_2 \operatorname{tg}^2 \alpha_2 \cos \alpha'_2 - h \operatorname{tg} \alpha_2 \operatorname{tg} \lambda \cos \alpha'_2 + p \operatorname{tg} \alpha_2 \sin \lambda_p \sin \alpha'_2 -$$

$$- m'_2 \operatorname{tg} \alpha_2 \cos \lambda_p \sin \alpha'_2;$$

$$e = -p \left(m'_2 \operatorname{tg} \alpha_2 \sin \lambda_p \sin \alpha'_2 + \frac{h \cos(\lambda - \lambda_p) \sin \alpha'_2}{\cos \lambda} \right);$$

$$f = -p \operatorname{tg} \alpha_2 \sin \lambda_p \sin \alpha'_2;$$

$$q_2 = p^2 \cos \alpha'_2;$$

$$i = \sec^2 \alpha_2 \sin \lambda_p \sin \alpha'_2;$$

$$l_2 = -m'_2 \operatorname{tg}^2 \alpha_2 \sin \lambda_p \sin \alpha'_2 - h \operatorname{tg} \alpha_2 \sin \alpha'_2 \frac{\cos(\lambda - \lambda_p)}{\cos \lambda}$$

$$- p \operatorname{tg} \alpha_2 \cos \alpha^2;$$

$$j = p(m'_2 \operatorname{tg} \alpha_2 \cos \alpha'_2 + h \operatorname{tg} \lambda \cos \alpha'_2 + m'_2 \cos \lambda_p \sin \alpha'_2);$$

$$\omega = -p \cos \lambda_p \sin \alpha'_2 + h \cos \alpha'_2 - m'_2 \sin \lambda_p \sin \alpha'_2.$$

Довжина контакту ролика втиснення в конічну поверхню знаходиться з рівняння:

$$l_p = x_{3H} - x_{3B} \quad (3.20)$$

де x_{3H} , x_{3B} - абсциси крапок, M_1 і M_2 .

Визначимо довжину контакту ролика з конусною моделлю для випадку втискування ролика в поверхню конуса на величину q_{cp} . Запишемо рівняння конуса в системі координат $x_1y_1z_1$ де вісь конуса $z = (r_{cp} - r)tg\alpha_k$; $x = r \cos \psi$; $y = r \sin \psi$ (r, ψ - криволінійні координати). Рівняння поверхні конуса в системі координат, пов'язаній з віссю ролика:

$$\begin{aligned} x_2 &= \sin \alpha_k (r \cos \psi - r_{cp}) - r_p + q_{cp}; \\ y_2 &= -\sin \beta [-r(\cos \psi \cos \alpha_k + \sin \psi ctg\beta + \sin \alpha_k tg\alpha_k) + r_{cp} \cos \alpha_k]; \\ z_2 &= \cos \beta [-r(\cos \psi \cos \alpha_k - \sin \psi tg\beta + \sin \alpha_k tg\alpha_k) + r_{cp} \cos \alpha_k]. \end{aligned} \quad (3.21)$$

Рівняння циліндра в системі координат $x_2y_2z_2$:

$$x_2 = r_p \cos t; y_2 = r_p \sin t; z_2 = A \quad (3.22)$$

Виключивши параметр при сумісному рішенні рівнянь поверхні конуса і циліндра, одержимо:

$$z = \cos \beta \left[\frac{b_1 \pm \sqrt{b_1^2 - 4ac_1}}{2a_1} (\cos \psi \cos \alpha_k - \sin \psi tg\beta + \sin \alpha_k tg\alpha_k + r_{cp} \cos \alpha_k) \right] \quad (3.23)$$

де $a_1 = \sin^2 \beta (\cos \psi \cos \alpha_k + \sin \psi ctg\beta + \sin \alpha_k tg\alpha_k)^2 + \sin \alpha_k \cos^2 \psi$;

$$b_1 = -2[r_{cp} \sin^2 \beta \cos \alpha_k (\cos \psi \cos \alpha_k + \sin \psi ctg\beta + \sin \alpha_k tg\alpha_k) + \cos \psi \sin \alpha_k (\sin \alpha_k r_{cp} - q_{cp} + r_p)];$$

$$c_1 = \sin^2 \beta r_{cp}^2 \cos^2 \alpha_k - r_p^2 + (r_{cp} \sin \alpha_k - d_{cp} + r_p)^2.$$

Довжина контакту ролика з конусом визначається з рівняння:

$$l_k = z_{2min} z_{2max} \quad (3.24)$$

Максимум і мінімум функції знаходять з рівняння (3.20) чисельним методом.

Значення r_r приймають обчисленими при $\alpha_k = \alpha_r 60^\circ$.

Конічні моделі необхідно обкатувати голчатими роликками на токарному верстаті ТВ-50 пристроєм з гідравлічною схемою вантаження. Головка з голчатим роликом повинна бути виконана з можливістю повороту навколо вісі пристрою на кут β . Кут повороту заміряється маятниковим кутоміром. При вантаженні ролик, завдяки повороту головки на цапфах, самовстановлюється по обкатуваній поверхні. [16, 17]

Обкатуванню піддаються усічені конуси, причому кромка їх верхньої підстави моделює поверхню шківів. Матеріал моделей - покращувані сталі 40Х і 34ХН1М твердістю 286 - 320НВ, широко вживані у важкому машинобудуванні. Під обкатування моделі обточують полірувальними різцями з прямолінійною ріжучою кромкою. Шорсткість поверхні перед обкатуванням має досягати $R_z = 10 \dots 40$ мкм. Кожну модель обкатують з декількома значеннями зусилля, верхню межу якого визначають по появі лущення металу на обкатуваній поверхні при п'ятому проході. На обкатаних конусах заміряють ширину b_k смужки обкатаної поверхні. За наслідками експериментів, порівнюючи величини $b_k K_y$ з шириною рівної 21,5 мм, визначають, що сторона може успішно обкатуватися голчатими роликками. [19]

Висновки до третього розділу

В результаті зміцнення поверхневих шарів при поверхневій деформації можна забезпечити поліпшення фізико-механічних властивостей металу унаслідок структурних перетворень, подрібнення зерен, а також формування в поверхневому шарі залишкової напруги стискування, зрушень, що виникають за рахунок розвитку, в кристалічній решітці. Експлуатаційні властивості деталей визначаються обома цими чинниками. До цього слід додати і поліпшення якості поверхні, що виражається в зменшенні висоти

нерівностей, пологішій їх конфігурації, що знижує коефіцієнт концентрації напруги і призводить до підвищення втомної міцності деталей. Наявність концентраторів напружень (галтелі, канавки, западини) на обкатаній деталі значно впливає на підвищення міцності і довговічності деталей.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНОГО РІШЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІЦНЕННЯ ШКІВІВ КЛИНОПАСОВИХ ПЕРЕДАЧ

4.1 БУДОВА, РОБОТА І ОСНОВНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ОБКАТУВАННЯ РОЛИКОМ ШКІВІВ КЛИНОПАСОВИХ ПЕРЕДАЧ

На основі теоретичного аналізу було зроблено висновок, що пристрої для обкатування клинопасових передач, які застосовуються в виробництві, при обробці шківів не повністю прокатують профіль шківу. З метою уникнення цього ефекту було розроблено пристрій, який має гольчаті ролики (рис. 4.1).

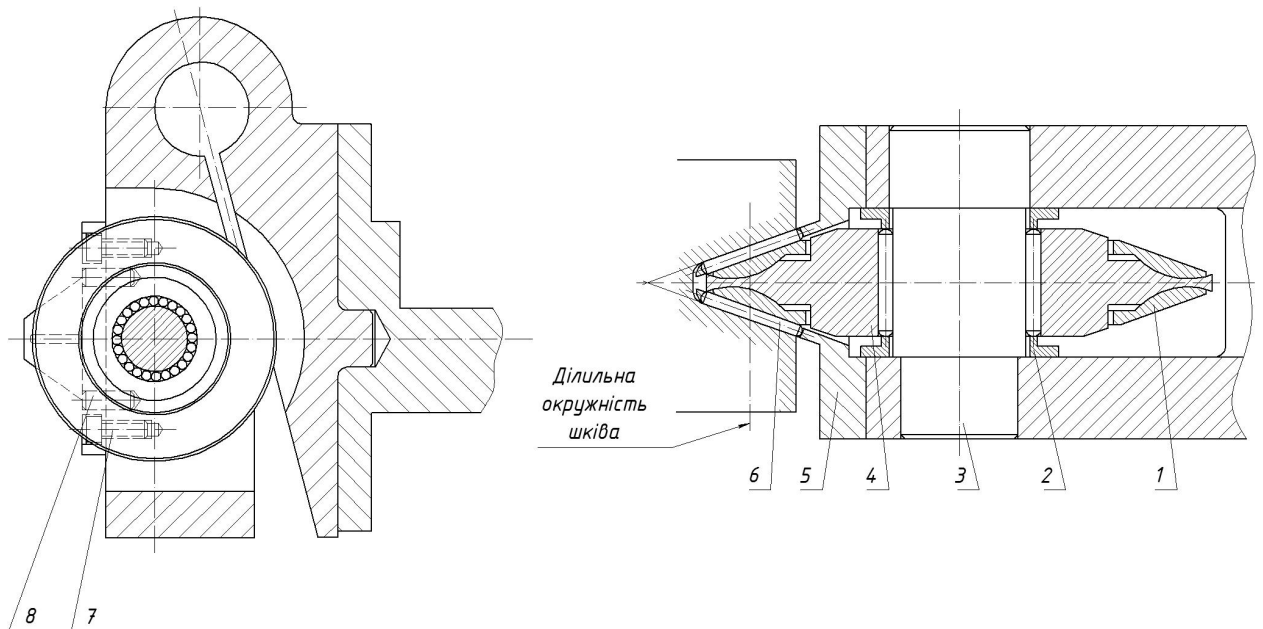


Рисунок 4.1 - Загальна будова пристрою для обкатування роликом шківів
клинопасових передач

Пристрій складається з двох роликів, які закріплені в сепараторі, ролики опираються на тороподібну шайбу встановлену на підшипники кочення, яка, під час роботи, обертається навколо валу котрий, в свою чергу, закріплений у прижимному пристрої, що безпосередньо встановлюється в різцетримач (рис. 4.2).

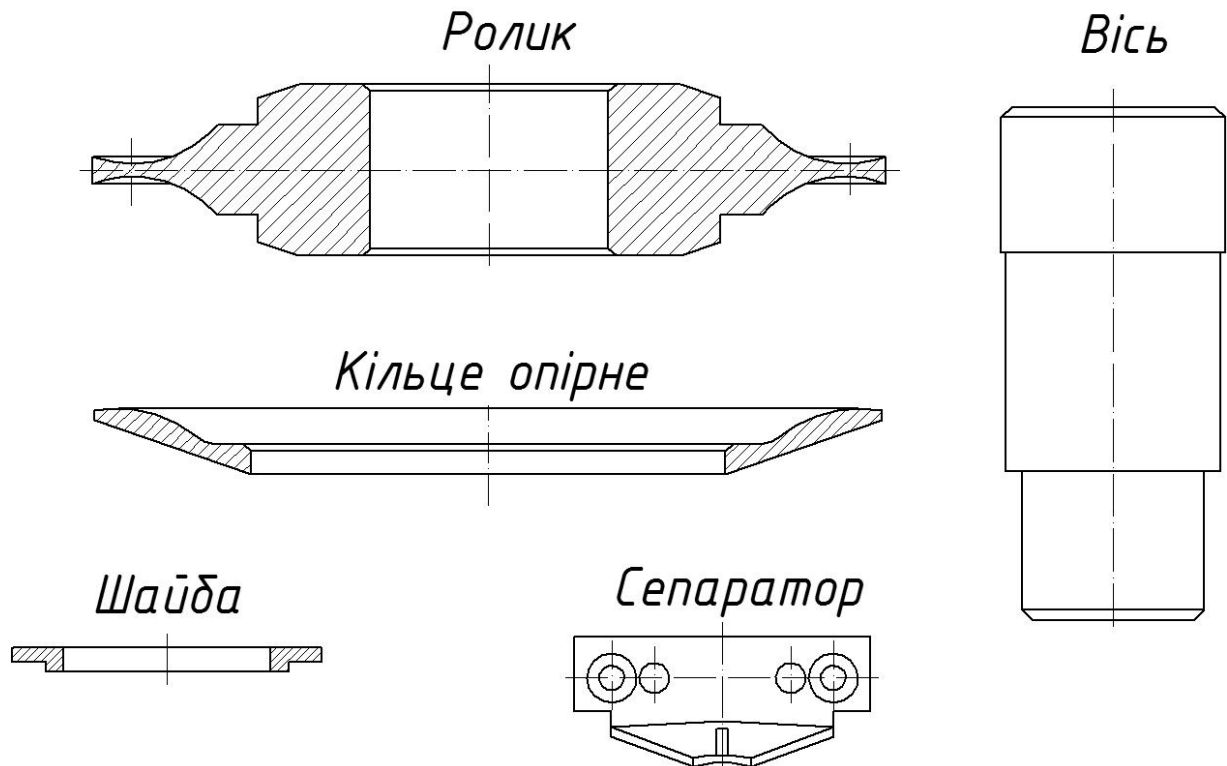


Рисунок 4.2 - Детальна будова пристрою для обкатування роликом шківів клинопасових передач

Технологічний процес обкатування шківу клинопасової передачі здійснюється за рахунок притискання робочої поверхні пристрою (роликів) до поверхні, що обкатується. Пристрій закріплений в різцетримачі токарного верстата, а шків клинопасової передачі безпосередньо в патроні. Під час обкатування необхідно виконати умови які забезпечують необхідну глибину, та площу обкатоної поверхні, це здійснюється за рахунок підбору оптимальних режимів роботи таких як: зусилля, що передається на ролики; швидкість обертання заготовки; подача столу; часу обкатування або кількості проходів.

За критерії оптимізації приймемо полосу обкатоної поверхні ПО, та глибину обкатування ГО. При цьому ПО прямуватимемо до 100%, а ГО до 2 мм, так як для цієї деталі така глибина обробки буде оптимальною, збільшення глибини призведе за собою відшелушування обкатоного шару. [20]

4.2 Вимоги, які ставляться до розробки

Конструкція пристрою для обкатування роликів шківів клинопасових передач голчастими роликами повинна відповідати таким вимогам:

- простота у виготовленні;
- надійність в роботі;
- використовувати деталі з конічним профілем;
- пристрій повинен знижувати витрати праці при обкатуванні конічних поверхонь;
- величина тертя в опорах кочення ролика після зборки вузла перевіряється обертанням ролика за допомогою металевої пластини, при притисненні її до ролика та переміщенні (ролик повинний легко повертатися на опорах без проковзування);
- відповідати вимогам пожежної і електробезпеки;
- простота і зручність у обслуговуванні;
- швидкість проведення відновлення конічних поверхонь за допомогою даного пристрою;
- можливість використання при проведенні поточних і капітальних ремонтах;
- не спричиняти шкідливий вплив на оточуюче середовище.

4.3 Дослідження залежності площі обкатаної поверхні та глибини обкатування від конструктивних і кінематичних параметрів пристрою

Була проведена оцінка залежності показників якості виконання технологічного процесу обкатки від: лівої поверхні шківа, мм (X_1); правої поверхні шківа, мм (X_2); зусилля обкатування, кН (X_3); швидкості обертання шпинделю, об/хв (X_4); які в найбільшій мірі впливають на якість обкатування.

Повторність проведення дослідів по кожному з критеріїв оптимізації складала три рази. По кожному рядку плану розраховувалося середнє значення ГО, ПО. Дослідження проводилися на металевих зразках маючих форму зрізаного конусу. [20-22]

Результати експериментальних досліджень приведені в табл. 4.2, 4.3, їх статистична і математична обробка проведені в програмі Excel. Після статистичної обробки експериментальних даних на ПЕОМ отримані математичні моделі, що адекватно описують технологічний процес. Рівняння регресії мають вигляд:

- для глибини обкатування:

$$\begin{aligned}
 GO = & 1,4297 - 0,1065 X_1 - 0,0261 X_2 + 0,03426 X_3 - 0,0022 X_4 - \\
 & - 0,079166 X_1 X_2 + 0,07875 X_1 X_3 - 0,0796 X_1 X_4 + 0,0317 X_2 X_3 + 0,0183 X_2 X_4 + \\
 & + 0,02346 X_3 X_4 + 0,1451 X_1^2 + 0,0484 X_2^2 - 0,3049 X_3^2 + 0,16675 X_4^2
 \end{aligned} \quad (4.1)$$

- для поверхні обкатування:

$$\begin{aligned}
 PO = & 87,8819 + 1,81482 X_1 + 0,91667 X_2 - 1,5833 X_3 - 1,833348 X_4 - \\
 & - 1,3125 X_1 X_2 + 1,4375 X_1 X_3 + 1,35417 X_1 X_4 + 1,875 X_2 X_3 + 1,9583 X_2 X_4 - \\
 & - 2,58333 X_3 X_4 - 1,5622 X_1^2 - 0,6456 X_2^2 + 0,52109 X_3^2 - 0,7289 X_4^2
 \end{aligned} \quad (4.2)$$

Таблиця 4.1 - Таблиця кодування результатів випробування

Показник	-1	0	1
X ₁ - Ліва поверхня шківа, мм	120	130	140
X ₂ - Права поверхня шківа, мм	-450	-470	-490
X ₃ - Зусилля обкатування, кН	2	2,5	3
X ₄ - Швидкості обертання шпинделю, об/хв	100	150	200
Рівень подачі столу, мм/хв	100		

Таблиця 4.2 - Матриця планування експерименту для глибини обкатування (ГО), мм

№	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3
1	1	1	1	1	2	1,8	0,9
2	1	1	1	-1	0,56	0,6	1,3
3	1	1	-1	1	0,89	0,56	1,25
4	1	1	-1	-1	1,56	1,6	1,65
5	1	-1	1	1	2,3	1,8	1,98
6	1	-1	1	-1	0,89	1,75	2,06
7	1	-1	-1	1	0,75	0,98	0,6
8	1	-1	-1	-1	1,6	2,05	1,4
9	-1	1	1	1	2,05	1,9	2,05
10	-1	1	1	-1	0,98	1,56	2,3
11	-1	1	-1	1	1,6	0,96	1,65
12	-1	1	-1	-1	0,8	2,06	1,5
13	-1	-1	1	1	1,6	2,3	0,9
14	-1	-1	1	-1	1,95	0,5	0,8
15	-1	-1	-1	1	1,65	2,4	1,5
16	-1	-1	-1	-1	1,5	1,6	2,4
17	1	0	0	0	2,09	1	1,6
18	-1	0	0	0	1,9	2,3	0,56
19	0	1	0	0	2,5	2,2	0,62
20	0	-1	0	0	0,6	2,25	0,7
21	0	0	1	0	0,83	0,56	1,75
22	0	0	-1	0	1,05	1,6	0,96
23	0	0	0	1	1,25	0,98	1,8
24	0	0	0	-1	2,3	1,25	2

Таблиця 4.3 - Матриця планування експерименту для полоси обкатаної поверхні (ПО), мм

№	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3
1	1	1	1	1	80,5	91,5	90
2	1	1	1	-1	86	81	86,5
3	1	1	-1	1	91	86	88
4	1	1	-1	-1	91,5	85	86,5
5	1	-1	1	1	82	87	81
6	1	-1	1	-1	95	91	92,5
7	1	-1	-1	1	89	89	85
8	1	-1	-1	-1	86	89	87
9	-1	1	1	1	84	87	83
10	-1	1	1	-1	92,5	85	91
11	-1	1	-1	1	83	83	89
12	-1	1	-1	-1	81	82	90,5
13	-1	-1	1	1	5	91	87
14	-1	-1	1	-1	86	82	92
15	-1	-1	-1	1	88	92,5	91
16	-1	-1	-1	-1	86,5	94	83
17	1	0	0	0	91	86	87
18	-1	0	0	0	84	83,5	86,5
19	0	1	0	0	92	81	92
20	0	-1	0	0	93	85	80,5
21	0	0	1	0	93	86	87
22	0	0	-1	0	92,5	87	85
23	0	0	0	1	86	89	86,5
24	0	0	0	-1	85	89,5	87

Аналіз отриманих після статистичної обробки рівнянь регресії звичайно проводиться із закодованими величинами чинників. Дослідження поведінки критеріїв оптимізації в залежності від зміни незалежних чинників будемо проводити з використанням методу двомірних перетинів [23]. Побудова двомірних перетинів функції відгуку виконувалася в наступній послідовності:

- визначалися значущі чинники в найменшій мірі впливаючи на критерії оптимізації;

- чинники в найменшій міри що впливають на технологічний процес прирівнювалися до нуля, причому число значущих чинників не повинне перевищувати двох; в іншому випадку дослідження поверхні відгуку на двомірній площині неможливе;

- взявши часні похідні по кожному з двох чинників, що залишилися, знаходився центр поверхні відгуку, де визначалася величина критерію оптимізації; у разі відсутності центра або його знаходженні поза зоною експерименту центр вміщувався в зоні оптимального поєднання чинників;

- рівняння регресії приводилося до канонічної форми, після чого будувалися контурні криві двомірний перетинів.

- почергово прирівнюючи фактори до нуля, лишаючи нерівними нульовому значенню будь-які два інші отримаємо рівняння регресій для глибини обкатування та полоси обкатаної поверхні:

$$X_3=0; X_4=0.$$

$$GO = 1,782694 - 0,1065 X_1 - 0,0261 X_2 - 0,079166 X_1 X_2 + 0,1451 X_1^2 + 0,0484 X_2^2 \quad (4.3)$$

$$PO = 87,8819 + 1,81482 X_1 + 0,91667 X_2 - 1,3125 X_1 X_2 - 1,5622 X_1^2 - 0,6456 X_2^2 \quad (4.4)$$

Візьмемо часні похідні по X_1 і X_2 і отримаємо системи рівнянь по кожному з критеріїв оптимізації:

$$\begin{cases} \frac{\partial GO}{\partial X_1} = 0,1065 - 0,079166 X_2 + 0,1451 X_1 \\ \frac{\partial GO}{\partial X_2} = 0,0261 - 0,079166 X_1 + 0,0484 X_2 \end{cases} \quad (4.5)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial PO}{\partial X_1} = 1,81482 - 1,3125 X_2 - 1,5622 X_1 = 0 \\ \frac{\partial PO}{\partial X_2} = 0,91667 - 1,3125 X_1 - 0,6456 X_2 = 0 \end{cases} \quad (4.6)$$

Вирішуючи системи рівнянь по кожній з математичної моделі знаходимо координати центрів поверхонь відгуку по кожному з критеріїв оптимізації і значення цільової функції в знайденому центрі Y_S [24]. Кут повороту осей в центрі координат математичної моделі в канонічній формі визначається по формулі:

$$\text{artg}2\alpha = \frac{B_{ij}}{B_{ii} - B_{jj}} \quad (4.7)$$

- для глибини обкатування:

$$X_1 = 0,5672; X_2 = 0,7334; \alpha = -19,65^\circ; Y_S = 1,7429;$$

- для поверхні обкатування:

$$X_1 = 0,4932; X_2 = 0,2086; \alpha = 27,534^\circ; Y_S = 87,64.$$

Для визначення коефіцієнтів рівнянь регресії в канонічній формі вирішуємо характеристичне рівняння по кожному з критеріїв оптимізації:

$$f(\lambda) = \begin{vmatrix} B_{ii} - \lambda & \frac{B_{ij}}{2} \\ B_{ij}/2 & B_{jj} - \lambda \end{vmatrix} = 0 \quad (4.8)$$

і приводимо його до вигляду:

$$\lambda^2 - I \cdot \lambda + D = 0 \quad (4.9)$$

Корені цього рівняння і будуть шуканими коефіцієнтами математичної моделі в канонічній формі [23]. Після проведених обчислень, рівняння регресії в канонічній формі приймуть вигляд:

- для глибини обкатування:

$$ГО - 1,74293 = 0,15924 X_1^2 + 0,03426 X_2^2;$$

- для поверхні обкатування:

$$ПО - 87,6 = -0,30345 X_1^2 - 1,90433 X_2^2.$$

Двовимірний перетин поверхонь відгуку приведений на рисунку 4.3.

Послідовно зафіксувавши по два інші фактори на рівні 0 і, провівши розрахунки аналогічні вищенаведеним, отримаємо рівняння регресії в звичайній формі при новому взаємному поєднанні чинників. [22]

При підстановці $X_1=0$; $X_2=0$, рівняння регресії матимуть вигляд:

- для глибини обкатування:

$$ГО = 1,55811 + 0,03426 X_3 - 0,0022 X_4 + 0,02346 X_3 X_4 - 0,3049 X_3^2 + 0,16675 X_4^2 \quad (4.10)$$

- для поверхні обкатування:

$$PO = 90,5074 - 1,58333 X_3 - 1,83333 X_4 - 2,5833 X_3 X_4 + 0,5211 X_3^2 - 0,72891 X_4^2 \quad (4.11)$$

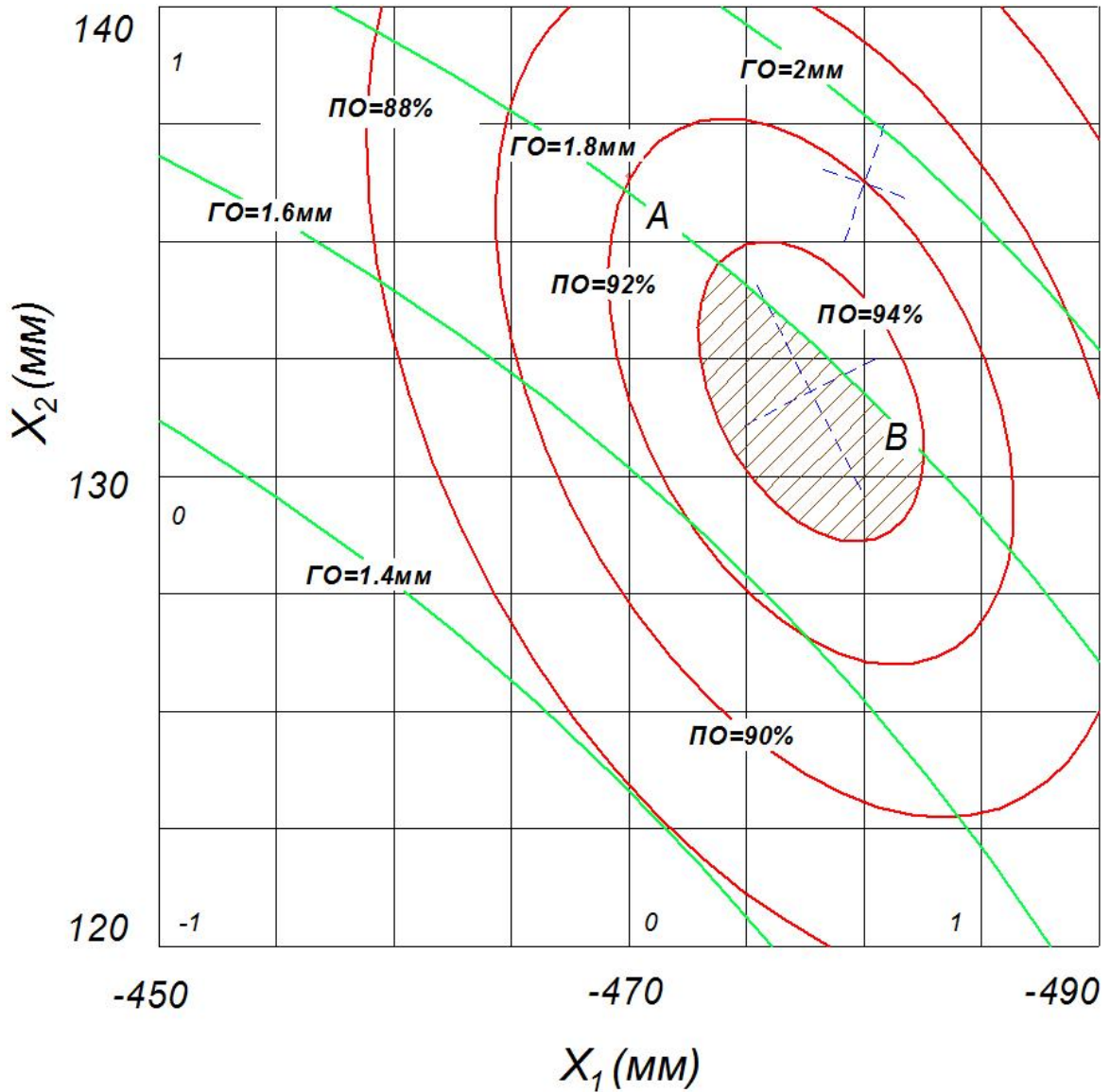


Рисунок 4.3 - Двовірний перетини поверхонь відгуку при $X_3 = 0$ та $X_4 = 0$

Тоді:

- для глибини обкатування:

$$X_3 = 0,0462; X_4 = -0,0259; \alpha = -13,22^\circ; Y_s = 1,5589;$$

- для поверхні обкатування:

$$X_3 = -0,2963; X_4 = -0,73246; \alpha = -32,09^\circ; Y_s = 91,4134.$$

Рівняння регресії в канонічній формі приймуть вигляд:

- для глибини обкатування:

$$ГО - 1,5589 = 0,19429 X_3^2 - 0,3325 X_4^2;$$

- для поверхні обкатування:

$$ПО - 91,4 = 1,33101 X_3^2 - 1,53882 X_4^2.$$

При установці $X_2 = 0; X_4 = 0$ рівняння регресії мають вигляд:

- для глибини обкатування:

$$\begin{aligned} ГО = 1,2763 - 0,1065 X_1 + 0,03426 X_3 + 0,07875 X_1 X_3 + \\ + 0,1451 X_1^2 - 0,3049 X_3^2 \end{aligned} \quad (4.12)$$

- для поверхні обкатування:

$$\begin{aligned} ПО = 88,5097 + 1,8148 X_1 - 1,58333 X_3 + 1,4375 X_1 X_3 - \\ - 1,5622 X_1^2 + 0,5211 X_3^2 \end{aligned} \quad (4.13)$$

Відповідно:

- для глибини обкатування:

$$X_1 = 0,1589; X_3 = 0,7669; \alpha = 12,07^\circ; Y_s = 1,28103;$$

- для поверхні обкатування:

$$X_1 = 0,7830; X_3 = 0,43929; \alpha = -17,3^\circ; Y_s = 88,87.$$

Рівняння регресії в канонічній формі:

- для глибини обкатування:

$$ГО - 1,28103 = 0,15353 X_1^2 - 0,0389 X_3^2;$$

- для поверхні обкатування:

$$ПО - 88,9 = 0,74501 X_1^2 - 1,78611 X_3^2.$$

При установці $X_1 = 0$, $X_3 = 0$ рівняння регресії мають вигляд:

- для глибини обкатування:

$$ГО = 1,6348 - 0,0261 X_2 - 0,0022 X_4 + 0,0183 X_2 X_4 + 0,0484 X_2^2 + 0,16675 X_4^2 \quad (4.14)$$

- для поверхні обкатування:

$$ПО = 87,5491 + 0,9167 X_2 - 1,8333 X_4 + 1,9583 X_2 X_4 - 0,64588 X_2^2 - 0,72891 X_4^2 \quad (4.15)$$

Відповідно:

- для глибини обкатування:

$$X_2 = 0,3422; X_4 = 0,08829; \alpha = 16,96^\circ; Y_s = 1,6302;$$

- для поверхні обкатування:

$$X_2 = 1,1547; X_4 = 0,29; \alpha = 43,78^\circ; Y_S = 87,81.$$

Рівняння регресії у канонічній формі:

- для глибини обкатування:

$$ГО - 1,63026 = 0,17887 X_2^2 + 0,03626 X_4^2;$$

- для поверхні обкатування:

$$ПО - 87,8 = 0,29263 X_2^2 - 1,66742 X_4^2$$

Двомірний перетин поверхонь відгуку приведений на рисунку 4.4.

При установці $X_2 = 0; X_3 = 0$ рівняння регресії мають вигляд:

- для глибини обкатування:

$$ГО = 1,5532 - 0,1065 X_1 - 0,0022 X_4 - 0,0796 X_1 X_4 + 0,1451 X_1^2 + 0,16675 X_4^2 \quad (4.16)$$

,

- для поверхні обкатування:

$$ПО = 86,93 + 1,8148 X_1 - 1,8333 X_4 + 1,3542 X_1 X_4 - 1,5622 X_1^2 - 0,72891 X_4^2 \quad (4.17)$$

Відповідно:

- для глибини обкатування:

$$X_1 = 0,3946; X_4 = 0,1008; \alpha = 37,39^\circ; Y_S = 1,5320;$$

- для поверхні обкатування:

$$X_1 = 0,06; X_4 = -1,2; \alpha = -29,2^\circ; Y_s = 88,08.$$

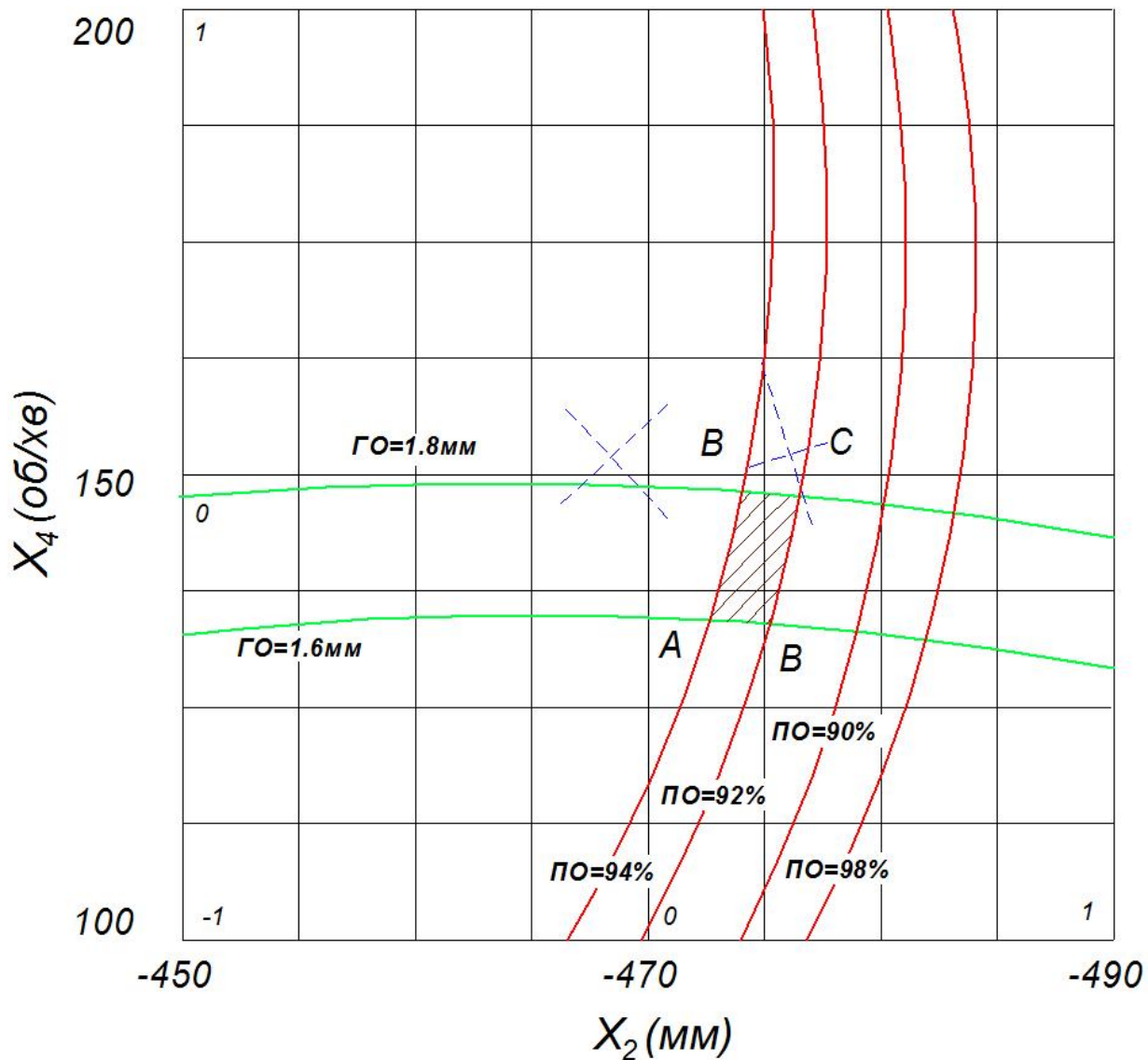


Рисунок 4.4 - Двовірний перетини поверхонь відгуку при $X_1 = 0$ та $X_3 = 0$

Рівняння регресії у канонічній формі:

- для глибини обкатування:

$$ГО - 1,53208 = 0,19716 X_1^2 + 0,11467 X_4^2;$$

- для поверхні обкатування:

$$ПО - 88,1 = -0,35053 X_1^2 - 1,94058 X_4^2.$$

При установці $X_1 = 0$; $X_4 = 0$ рівняння регресії мають вигляд:

- для глибини обкатування:

$$ГО = 1,21296 - 0,0261 X_2 + 0,03426 X_3 + 0,0317 X_2 X_3 + 0,0484 X_2^2 - 0,3049 X_3^2 \quad (4.18)$$

для поверхні обкатування:

$$ПО = 88,9657 + 0,9167 X_2 - 1,58333 X_3 + 1,4375 X_2 X_3 - 0,64558 X_2^2 + 0,5211 X_3^2 \quad (4.19)$$

Відповідно:

- для глибини обкатування:

$$X_2 = 0,2470; X_3 = 0,0690; \alpha = 2,56^\circ; Y_S = 1,2109;$$

- для поверхні обкатування:

$$X_2 = 0,9471; X_3 = 0,21294; \alpha = -25,47^\circ; Y_S = 89,23.$$

Рівняння регресії у канонічній формі:

- для глибини обкатування:

$$ГО - 1,21093 = 0,04911 X_2^2 - 0,3056 X_3^2;$$

- для поверхні обкатування:

$$PO - 89,2 = 0,86344 X_2^2 - 0,98792 X_3.$$

Двомірний перетин поверхонь відгуку приведений на рисунку 4.5.

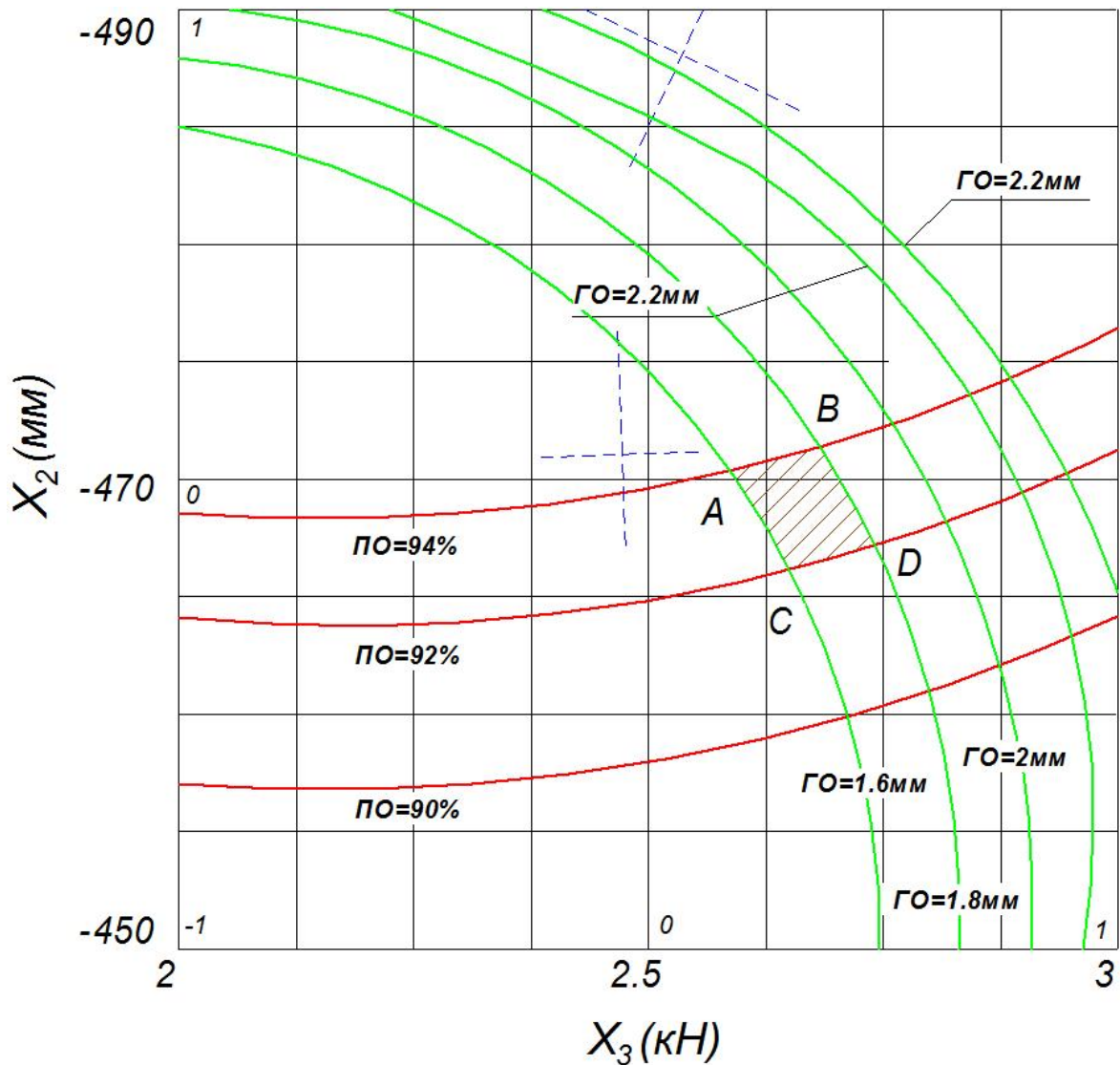


Рисунок 4.5 - Двомірний перетини поверхонь відгуку при $X_1 = 0$; $X_4 = 0$

Після аналізу двомірних поверхонь зрізу (рис. 4.3 - 4.5) можна зробити наступні попередні висновки:

- площа обкатування дорівнює 94%, а глибина обкатування становить 1,8 мм (фігура обмежена точками ABCD, (рис. 4.3);

- площа обкатування дорівнює 92 - 94%, а оберти становлять 150 об/хв (фігура ABCD, рис 4.4). Очевидно, що змінення обертів практично не впливає на площу обкатаної поверхні;

- глибина наклепу 1,8 мм досягається при навантаженні 2,6 – 2,7 кН (фігура ABCD, рис. 4.5). З графіку бачимо, що при збільшенні навантаження значно зростає глибина обробки.

Висновки до четвертого розділу

У четвертому розділі були проведені експериментальні дослідження та обґрунтовано конструктивне рішення пристрою для обкатування шківів клинопасових передач. В результаті досліджень встановлено, що застосування голчастих роликів значно покращує якість оброблюваної поверхні, забезпечуючи рівномірне обкатування та зменшуючи ризик пошкодження поверхневого шару шківа. Було проведено аналіз впливу кінематичних та конструктивних параметрів на процес обкатування, включаючи швидкість обертання, зусилля притиску роликів та кількість проходів. На основі експериментальних даних були побудовані математичні моделі, що дозволяють точно прогнозувати глибину обкатування та площу обробленої поверхні.

Отримані результати показали, що найбільш оптимальні параметри процесу забезпечують глибину обкатування 1,8 мм при площі обкатаної поверхні до 94%. Це дозволяє досягти високої якості поверхні та підвищити довговічність шківів. Застосування запропонованої технології обкатування дозволяє значно знизити витрати на обробку деталей та підвищити надійність їх експлуатації, що є важливим фактором для промислових підприємств.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Паспортизація робочого місця при обкатуванні роликком шківів клинопасових передач

Метою паспортизації санітарно-технічного стану робочою місця є виявлення усіх виробничих небезпек для розробки проектів інженерно-технічних та організаційних рішень у створенні безпечних і здорових умов праці. [25]

Послідовність заповнення карти умов праці:

1. За ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 визначається категорія робіт і встановлюються оптимальні показники мікроклімату.

2. За гігієнічною класифікацією праці та іншими джерелами визначається перелік факторів умов праці на робочому місці, для яких за нормативними документами встановлюють граничнодопустимий рівень або граничнодопустиму концентрацію (ГДК, ГДР), які заносяться в графу 1, 2, 3 дод. Б.

3. Для кожного з факторів умов праці проводиться за загальноприйнятими методиками інструментальний замір фактичного значення фактора. Для навчальних цілей фактичні значення факторів умов праці беруться з матеріалів попередньо проведеної паспортизації або з літературних джерел.

4. Визначається коефіцієнт нормо забезпеченості:

$$K_n = 1 \pm (A_g - A_n) / A_n, \quad (5.1)$$

де A_g - виміряне значення факторів умов праці;

A_n - нормативне значення фактора.

Знак «+» ставиться для розрахунку за граничнодопустимим значенням нормативного параметру A_n ; знак «-» - з мінімально допустимим значенням A_n .
Результати розрахунків заносяться в графу 5 дод. Б.

5. Відповідно до технології виконання процесу встановлюється тривалість дії кожного фактора і результати заносяться у графу 6 і 7 дод. Б.

6. Визначається коефіцієнт небезпеки $K_{\text{дф}}$ від кожного фактора умов праці і від усіх діючих факторів K . Результати підрахунків заносяться у графу 8 і 9 дод. Б. Ці коефіцієнти обчислюються за формулами:

$$K_{\text{дф}} = K_n \cdot T_{\text{дф}}; \quad (5.2)$$

де $T_{\text{дф}}$ - тривалість дії фактора;

n - кількість факторів умов праці.

$$K = K_{\text{дф}}/n \quad (5.3)$$

$$K = 0,71 / 14 = 0,051,$$

7. За дод. Б встановлюється ступінь шкідливості фактора і визначається початкова та розрахункова кількість балів X та $X_{\text{фак}}$. Розрахункова кількість балів $X_{\text{фак}}$ визначається за формулою:

$$X_{\text{фак}} = X \cdot T_{\text{дф}}. \quad (5.4)$$

Початкова і розрахункова кількість балів заносяться відповідно у графу 10-15 дод. Б.

8. Початкова кількість балів встановлюється у відповідності з Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу від 27 грудня 2001 року № 528.

9. Віднесення факторів до класу визначається з урахуванням часу їх дії протягом зміни. Для віднесення умов праці до 3 класу час дії повинен бути не менше 50% часу зміни.

10. Визначається коефіцієнт травмонебезпеки:

$$K_m = P_o/P_\phi, \quad (5.5)$$

де P_o - кількість небезпечних факторів;

P_ϕ - загальна кількість факторів.

$$K_m = 0/14 = 0,0$$

11. Розраховується коефіцієнт небезпеки на робочому місці:

$$K_{pm} = K + K_m \quad (5.6)$$

де K - сумарний коефіцієнт небезпеки від шкідливих факторів умов праці;

K_m – коефіцієнт.

$$K_{pm} = 0,051 + 0,0 = 0,051.$$

Коефіцієнт небезпеки на робочому місці повинен бути меншим за 0,2, якщо він більший за 0,2 треба вжити заходів щодо його зниження.

12. Визначається сумарна кількість балів за даними дод. Б.

Загальна оцінка умов праці за ступенем шкідливості встановлюється за найбільш високим класом та ступенем шкідливості. У випадку поєднання дії трьох і більше факторів, віднесених до класу 3.1, загальна оцінка умов праці відповідає класу 3.2. При поєднанні двох і більше факторів класів 3.2, 3.3, 3.4, умови праці оцінюються на один ступінь вище.

5.2 Розробка комплексу організаційних та технічних заходів з охорони праці та пожежної безпеки

Заходи щодо досягнення встановлених нормативів безпеки, гігієни праці та виробничого середовища, підвищення існуючого рівня охорони праці,

запобігання випадкам виробничого травматизму, професійного захворювання, аваріям і пожежам (Заходи з охорони праці) розробляють відповідно з законодавчо – нормативними документами Закон України « Про охорону праці», Закон України «Про оподаткування прибутку підприємства», Закон України «Про колективні договори», Постанова Кабінету Міністрів №994, від 27.06.2003 року. «Перелік заходів та засобів з охорони праці, витрати на здійснення та придбання яких включаються до валових витрат» [26]

Роботодавець забезпечує розробку і реалізацію:

- плану комплексних заходів, спрямованих на доведення умов і безпеки праці до нормативних вимог, підвищення існуючого рівня охорони праці;
- розділу "Охорона праці" колективного договору;

Відповідно Закону України «Про охорону праці» ст. 20. Регулювання охорони у колективному договорі, угоді сторони передбачають забезпечення працівникам соціальних гарантій у галузі охорони праці на рівні, не нижчому за передбачений законодавством, а також комплексні заходи щодо досягнення встановлених нормативів безпеки, гігієни праці та виробничого середовища, підвищення існуючого рівня охорони праці, запобігання випадкам виробничого травматизму, професійного захворювання, аваріям і пожежам, визначають обсяги та джерела фінансування зазначених заходів. [27]

Ст. 19. Фінансування охорони праці здійснюється роботодавцем. Фінансування профілактичних заходів з охорони праці. Виконання загальнодержавної, галузевих та регіональних програм поліпшення стану безпеки, гігієни та виробничого середовища, інших державних програм, спрямованих на запобігання нещасним випадкам та професійних захворюванням, передбачається, поряд з іншими джерелами фінансування, визначеними законодавством, у державному і місцевих бюджетах, що виділяються окремим рядком.

5.3 Розрахунок заземлення робочого електрообладнання майстерні

Згідно з ПВЕ - 98 захисні заземлення влаштовують при напрузі 380 В змінного струму в усіх електроустановках; при 42 В змінного струму – у приміщеннях з підвищеною небезпекою, особливо небезпечних, а також зовнішніх електроустановок.

Заземлення розташоване на глибині 70 см, ґрунт – глина, заземлення виконуємо з газопровідних труб діаметром 52 мм. Довжина труби – 2,5 м, горизонтальна штаба виконана з металевієї полоси товщиною 10 мм, шириною 40 мм.

Визначаємо розрахунковий питомий електричний опір ґрунту з урахуванням кліматичного коефіцієнта до вертикальних заземлювачів:

$$\rho_p = \rho \cdot \phi, \quad (5.7)$$

де ρ – питомий електричний опір ґрунту, $\rho = 70 \text{ Ом} \cdot \text{м}$;

ϕ – коефіцієнт сезонності для електроду, $\phi = 1,4$.

$$\rho_p = 70 \cdot 1,4 = 98 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Визначаємо опір розмиканню струму одиночного трубчастого заземлювача:

$$R_{ел} = \frac{0,366 \rho_p}{l} \left(\lg \frac{2 \cdot l}{d} + 0,5 \cdot \lg \frac{4t + l}{4t - l} \right), \quad (5.8)$$

де $R_{ел}$ – опір вертикального електроду;

l – довжина заземлювача, м;

t – відстань від поверхні землі до середини заземлювача, м;

ρ – розрахунковий питомий електричний опір ґрунту з урахуванням кліматичності коефіцієнту до вертикальних заземлювачів.

$$R_{el} = \frac{0,366 \cdot 98}{2} \left(\lg \frac{2 \cdot 2,5}{0,052} + 0,5 \cdot \lg \frac{4 \cdot 1,7 + 2,5}{4 \cdot 1,7 - 2,5} \right) = 38,5 \text{ Ом.}$$

Визначаємо кількість електродів:

$$n = \frac{R_{el}}{R_{дон}}, \quad (5.9)$$

де $R_{дон}$ - допустимий опір, $R_{дон} = 4 \text{ Ом}$.

$$n = \frac{38,5}{4} = 9,6; \text{ приймаємо } n = 10.$$

При подальшому підрахуванні ця кількість електродів не відповідає вимогам, при яким $R_c \leq R_{дон}$. Тому ми свідомо збільшуємо кількість електродів і приймаємо їх рівним 13 шт.

Визначаємо довжину штаби:

$$l_u = a \cdot (n - 1). \quad (5.10)$$

де a - крок вертикальних заземлювачів, $a = 2,5$.

$$l_u = 2,5 \cdot (13 - 1) = 30 \text{ м.}$$

Обчислюємо опір поодинокій штаби, прокладеної в ґрунті на глибину t від поверхні штаби:

$$R_u = 0,366 \frac{\rho}{l_u} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_u^2}{b \cdot t}, \quad (5.11)$$

де b - ширина штаби;

t - глибина залягання штаби.

$$R_{ш} = 0,366 \frac{70}{30} \cdot \lg \frac{2 \cdot 30^2}{0,04 \cdot 0,7} = 2,5 \text{ Ом.}$$

Визначаємо сумарний опір R_c заземлюючого електрода з урахуванням опору штаби:

$$R_c = \frac{R_{ел} \cdot R_{ш}}{R_{ел} \cdot \eta_B + R_{ш} \cdot \eta_{ш}}, \quad (5.12)$$

де $\eta_{ш}$ - коефіцієнт використання штаби, $\eta_{ш} = 0,48$.

$$R_c = \frac{38,5 \cdot 2,5}{38,5 \cdot 0,71 + 2,5 \cdot 0,48} = 3,37 \text{ Ом} < R_{дон} = 4 \text{ Ом.}$$

5.4 Розробка карти контролю показників безпеки пристрою для обкатування роликком шківів клинопасових передач

Важливого значення у запобіганні аваріям і виробничим травмам має контроль технічного стану обладнання, машин, агрегатів, призначених для виконання різних виробничих процесів та окремих робіт. Специфічні умови таких агрегатів вимагають удосконалення і контролю за ними (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 - Картка контролю показників безпеки при обкатуванні роликком шківів клинопасових передач

Елемент агрегату, що підлягає контролю	Характерні несправності	Можливі наслідки небезпеки	Усунення недоліків
Ролик	Обертається	Заклинювання	Відремонтувати
Вісь	Прогнулася	Заклинювання	Замінити вісь
Сепаратор	Хитається	Тріснув	Замінити
Кільце опірне	Зім'ялося	Аварія	Замінити
Шків	Вискочив з патрону верстата	Травма	Закріпити

Для запобігання таким подіям, як аварії, травми та катастрофи безпосередньо у господарствах, потрібний доступний, простий і ефективний спосіб їх прогнозування. Для побудови логіко-імітаційного моделювання надзвичайних пригод, необхідно спочатку уважно вивчити певне господарство, підприємство, заклад або окреме виробництво, їх галузі, застосовувані технічні засоби, споруди, будівлі, шляхи, стан електричних мереж, інші об'єкти, що можуть бути віднесені до небезпечних. [27]

«Положення щодо розробки планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій». Затверджено 17.06.99 № 112. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 30.06.1999р. № 424/3717, встановлює порядок розробки планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій (далі ПЛАС), вимоги до їх складу, змісту та форми, процедуру затвердження й перегляду ПЛАС.

У відповідності з пунктом 4.11 ПЛАС повинен містити аналітичну частину, в якій міститься аналіз небезпек, можливих аварій та їхніх наслідків. Прогнозування подій у вигляді аварій, травм і катастроф на виробництві має надзвичайно важливе значення у розробці ефективних заходів їх запобігання.

Існуючі методи прогнозування таких подій в основному ґрунтуються на аналізі статистичних даних їх наслідків залежно від часу. Але через певні їх недоліки вони не можуть бути застосовані спеціалістами безпосередньо на виробництві. Це пов'язано з тим, що спеціалісти відповідних служб господарств не мають статистичних даних, що характеризують аварійність або ступінь небезпеки тієї чи іншої одиниці обладнання або виробничого процесу. При впровадженні у виробництво нових технологій, технологічних операцій, різних технічних засобів, речовин та матеріалів необхідний певний час для збирання статистичних даних.

Для складання карти контролю необхідно мати схему конструкції машини, обладнання, технологічного процесу.

На схемі повинні бути позначені конструктивні елементи які перевіряють під час оперативного контролю першого ступеня.

Такі карти контролю технічного стану, повинні бути складені на кожний агрегат, кожну машину та обладнання. Це має особливе значення для машин які виконують небезпечні процеси.

5.5 Заходи безпеки в умовах надзвичайних ситуацій

Забезпечення безпеки працівників та мінімізація ризиків в умовах надзвичайних ситуацій є важливою складовою загальної системи охорони праці на підприємстві. Відповідно до Закону України «Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру» №1809-III, роботодавці зобов'язані забезпечувати підготовку персоналу до дій у разі виникнення надзвичайних ситуацій, а також створювати умови для безпечної евакуації працівників та проведення рятувальних робіт. Це передбачає не тільки організаційні заходи, але й технічні засоби, що забезпечують безпеку людей під час небезпеки.

Одним із основних аспектів забезпечення безпеки є розробка та впровадження планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій, відповідно до «Положення про розробку планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій» (наказ №112 від 17 червня 1999 року). У цьому плані детально описуються всі можливі аварійні ситуації, що можуть виникнути на підприємстві, їх наслідки та заходи, спрямовані на зменшення їх впливу. До основних заходів планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій належать евакуація персоналу, організація безпечних шляхів виходу, створення умов для рятувальних робіт та надання першої медичної допомоги.

Особливу увагу слід приділити підготовці персоналу до дій під час надзвичайних ситуацій. Відповідно до Порядку здійснення навчання працівників з питань охорони праці (затвердженого наказом Держгірпромнагляду України №15 від 26 січня 2005 року), кожен працівник повинен проходити інструктажі та тренування щодо дій у разі виникнення надзвичайних ситуацій. Це включає регулярні навчання з евакуації,

користування засобами індивідуального захисту та взаємодії з аварійними службами. Навчання проводяться не рідше одного разу на рік, а для працівників, що виконують особливо небезпечні роботи, частота навчань може бути збільшена.

Також на підприємстві повинні бути встановлені системи оповіщення про надзвичайні ситуації, які мають відповідати вимогам ДСТУ ISO 22320:2018 «Безпека в надзвичайних ситуаціях. Управління надзвичайними ситуаціями». Система оповіщення повинна бути чітко налагодженою, щоб у разі виникнення надзвичайних ситуацій забезпечити оперативне повідомлення всього персоналу про небезпеку та необхідність евакуації. Крім того, на підприємстві мають бути встановлені засоби колективного та індивідуального захисту, такі як пожежні системи, протигази, аптечки та інші необхідні засоби.

У випадку виникнення техногенних аварій або природних катастроф, необхідно забезпечити швидку евакуацію працівників та надання першої допомоги постраждалим. Відповідно до Наказу Міністерства охорони здоров'я України № 55 від 28.01.2002 року «Про організацію надання першої медичної допомоги», кожне підприємство повинне мати на території аптечки першої допомоги, а також навчений персонал, який зможе надати допомогу до прибуття медичних служб. Також повинні бути розроблені чіткі маршрути евакуації та зони безпеки, куди працівники можуть направлятися у випадку надзвичайних ситуацій.

Для забезпечення безпеки під час евакуації та ліквідації наслідків аварій, необхідно також звертати увагу на безпеку використання електрообладнання. Відповідно до Правил улаштування електроустановок, всі електроустановки повинні бути забезпечені системами захисту від перенапруги та аварійного вимкнення, що дозволить мінімізувати ризики електротравм під час надзвичайних ситуацій. Усі заходи повинні бути відображені в оперативних інструкціях та планах дій у надзвичайних ситуаціях.

Висновки до п'ятого розділу

У п'ятому розділі розглянуто комплекс заходів з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях на виробництві, що включає паспортизацію робочих місць, розробку планів локалізації аварій, забезпечення технічної безпеки обладнання та навчання персоналу. Особлива увага приділяється дотриманню нормативних вимог щодо охорони праці, зокрема забезпеченню працівників засобами індивідуального захисту та організації регулярних інструктажів. Усе це сприяє зниженню виробничого травматизму, підвищенню безпеки та готовності до надзвичайних ситуацій, що в результаті забезпечує безперебійну роботу підприємства та збереження здоров'я працівників.

6 РОЗРОБКА БІЗНЕС-ПЛАНУ

6.1 Резюме

Мета розробки бізнес-плану - обґрунтування доцільності придбання та експлуатації технологічного обладнання та засобів підвищуючих економічність обслуговування і ремонту сільськогосподарської техніки. При розробці бізнес-плану виходимо з наступних умов здійснення виробничо-комерційної діяльності умовного підприємства, діяльність якого є об'єктом розробки бізнес-плану [28]:

1. Підприємство спеціалізується на наданні внутрішніх послуг з обслуговування тракторів та комбайнів, і наданні послуг з поверхнево-пластичного деформування іншим господарствам.

2. Фінансовий стан господарства дозволяє використовувати лише власні кошти, без залучення зовнішніх джерел. Усі витрати початкового періоду реалізації проекту підприємство виконує за рахунок власних коштів.

3. Підприємство має забезпечити ритмічну роботу з надання послуг.

Даний бізнес-план розроблено з метою обґрунтування доцільності використання в умовному аграрному підприємстві технології обкатування сталевих деталей методом огинання. Виробничою базою для організації стане виробниче приміщення, що буде укомплектоване необхідним новим устаткуванням. Фінансування одночасних витрат та поточних витрат стартового періоду буде виконане за рахунок власних коштів ініціатора проекту. Сума інвестиції в придбання технологічного обладнання становитиме 120 000 грн. Умовне підприємство спеціалізуватиметься на виконанні майже всіх видів обслуговування та ремонту тракторів та комбайнів. Сума річної виручки від реалізації послуг складатиме 444 575 грн. Період окупності капітальних вкладень (інвестиції в придбання технологічного обладнання) становитиме 2,3 року.

Вид діяльності – пріоритетний, у рамках регіональних програм підтримки підприємців малого та середнього бізнесу, селянського та фермерського господарств.

Послуги: зміцнення шківів клинопасових передач с. г. машин з допомогою поверхнево-пластичного деформування.

6.2 Продукція

Поверхнево пластичне деформування є ефективним засобом підвищення втомної міцності, зносостійкості і зниження шорсткості деталей машин (дод. В). Можливість використання універсального устаткування і недорогого оснащення дозволяє використовувати цей спосіб обробки в різноманітних умовах виробництва. При виготовленні і експлуатації деталей машин на їх поверхні утворюються нерівності і мікронерівності, а шар металу, прилягаючий до поверхні, має нерідко нову структуру, фазовий і хімічний склад в порівнянні з серцевиною, в ньому виникають залишкові напруження.

Часто руйнування деталей починається з поверхні, наприклад при зношуванні, ерозії, втомлюванні, контактному втомлюванні і багатьох інших випадках. Тому до поверхневого шару висувають більш високі вимоги, ніж до глибинних шарів деталі. Одним з ефективних і простих методів зміцнення поверхневого шару є поверхнево-пластичне деформування. Воно дає можливість підвищити довговічність деталей машин на 15-20 %. [29]

Конкурентноздатність фірми забезпечується низькими внутрішньовиробничими витратами внаслідок забезпечення наскрізного технологічного процесу, а також ексклюзивною якістю готової продукції.

6.3 Виробничий план

Виробничою базою стане виробниче приміщення, яке буде доукомплектоване необхідним устаткуванням. Установа для обкатування буде встановлена на станок 1К62.

Виконання послуг пов'язане з виникненням таких поточних витрат:

- на оплату праці виробничого персоналу;
- на електроенергію;
- на амортизацію;
- на ремонт та технічне обслуговування обладнання;
- на загальновиробничі витрати.

Витрати на оплату праці виробничого персоналу розраховують виходячи з десятигодинної тривалості зміни включають заробітну плату згідно з трудоемкістю різних видів обслуговувань та середньої тарифної ставки. [30] Нарахування на фонд оплати праці складають 19,5 %.

Витрати на електроенергію розраховуються виходячи зі встановленої потужності електричного обладнання, коефіцієнту його одночасної роботи, який для даного обладнання дорівнює 0,6, тривалості роботи обладнання та ціни 1 кВт-години електроенергії,

Витрати на ремонт і технічне обслуговування обладнання розраховуються виходячи з вартості обладнання (табл. 6.1) та річної норми відрахувань на ТО - 10,0 %.

Витрати на амортизаційні відрахування розраховуються виходячи з вартості обладнання та річної норми амортизаційних відрахувань - 15,0 %.

Загальногосподарські витрати включають витрати на оплату послуг банківських установ та непередбачені витрати. Їх розмір приймається укрупнено на рівні 10% фонду оплати праці без нарахувань. [31]

Таблиця 6.1 - Машини і устаткування

Назва обладнання	Купівля чи оренда	Нове чи вживане	Вартість (грн.)
Пристрій для обкатування шківів клинопасових передач	Купівля	Нове	120000

Зарплата розраховується відповідно до потреби в працівниках (табл. 6.2):

Місячну заробітну плату розраховуємо за формулою:

$$ЗП_M = \Phi_M \cdot C_T \quad (6.1)$$

де Φ_M - фактично відпрацьований за місяць час, год., $\Phi_M = 210$ год.;

C_T - годинна тарифна ставка працівника, грн., $C_T = 89,3$ грн.

$$ЗП_M = 210 \cdot 89,3 = 18753 \text{ грн.}$$

Місячні відрахування на соціальні заходи розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{соц.м}} = ЗП_M \cdot 19,5\% \quad (6.2)$$

$$B_{\text{соц.м}} = 18753 \cdot 19,5\% = 3656,84 \text{ грн}$$

Місячний фонд оплати праці розраховуємо:

$$\Phi_M = ЗП_M + B_{\text{соц.м}} \quad (6.3)$$

$$\Phi_M = 18753 + 3656,84 = 22409,84 \text{ грн.}$$

Річний фонд оплати праці:

$$\Phi_p = \Phi_M \cdot 12 \quad (6.4)$$

$$\Phi_p = 22409,84 \cdot 12 = 268918 \text{ грн.}$$

Таблиця 6.2 - Потреба в працівниках

Категорія персоналу	Необхідна чисельність	Клас, розряд робітника	Годинна тарифна ставка, грн.	Заробітна плата за місяць, грн.	Нарахування, грн.	Заробітна плата з нарахуванням, грн.
Токар	1	V	89,3	18753	3656,84	22409,84
Разом	1			18753	3656,84	22409,84

Розрахунок амортизаційних відрахувань та відрахувань на поточний ремонт.

Сума амортизаційних відрахувань розраховується з норми амортизаційних відрахувань 15% на активну частину основних засобів. Норма відрахувань на ремонт – 10% від балансової вартості за рік.

Вартість обладнання – 120000 грн, вартість без ПДВ – 100000 грн.

$$100000 \cdot 15\% = 15000 \text{ грн (амортизація)}$$

$$100000 \cdot 10\% = 10000 \text{ грн (ремонт)}$$

Ефективний фонд часу роботи обладнання розрахований виходячи з однозмінного режиму роботи при тривалості робочої зміни 10 годин та п'ятиденного робочого тижня.

$$T_e = T_k \cdot K_3 \cdot Z_T \quad (6.5)$$

де T_k – календарний фонд роботи обладнання, діб; $T_k = 254$ дня;

K_3 – кількість змін роботи обладнання на добу (одно-, двох- або трьохзмінний режим), од., $K_3 = 1$;

Z_T – тривалість зміни, год., $Z_T = 10$ год.

$$T_e = 254 \cdot 1 \cdot 10 = 2540 \text{ год.}$$

Розрахуємо спожиту технологічну електроенергію:

$$W = T_e \cdot P_o \cdot K_{од} \quad (6.6)$$

де P_o - потужність обладнання, кВт., $P_o = 8$ кВт;

$K_{од}$ - коефіцієнт одночасної роботи електрообладнання, од., $K_{од} = 0,6$

$$W = 2540 \cdot 8 \cdot 0,6 = 12192 \text{ кВт}$$

Витрати на електроенергію розраховуємо за формулою:

$$B_{ел.} = W \cdot C_{ел.} \quad (6.7)$$

де $C_{ел.}$ - ціна за 1 кВт електроенергії для підприємства, грн.,
 $C_{ел.} = 5,7$ грн.

$$B_{ел.} = 12192 \cdot 5,7 = 69494,4 \text{ грн.}$$

Загальногосподарські витрати:

$$B_{зг.} = 3П_m \cdot 12 \cdot 10\% \quad (6.8)$$

$$B_{зг.} = 18753 \cdot 12 \cdot 10\% = 22503,6 \text{ грн.}$$

Змінні витрати:

$$B_{змін.} = \Phi_p + B_{ел.} \quad (6.9)$$

$$B_{змін.} = 268918 + 69494,4 = 338412,42 \text{ грн.}$$

Постійні витрати:

$$V_{\text{пос.}} = V_{\text{ам.}} + V_{\text{р}} + V_{\text{зг.}} \quad (6.10)$$

де $V_{\text{ам.}}$ - сума амортизаційних відрахувань, грн., $V_{\text{ам.}} = 15000$ грн.;

$V_{\text{р}}$ - сума витрат на ремонт, грн., $V_{\text{р}} = 10000$ грн.;

$$V_{\text{пос.}} = 15000 + 10000 + 22503,6 = 47503,6 \text{ грн.}$$

Валові витрати розраховуємо:

$$V_{\text{вал.}} = V_{\text{змін.}} + V_{\text{пос.}} \quad (6.11)$$

$$V_{\text{вал.}} = 338412,42 + 47503,6 = 385916,02 \text{ грн.}$$

Затрати на 1 нормо-годину роботи станка:

$$V_{\text{змін.н.год}} = \frac{V_{\text{вал.}}}{T_e} \quad (6.12)$$

$$V_{\text{змін.н.год}} = \frac{385916,02}{2540} \approx 151,94 \text{ грн.}$$

Всього на 1 годину роботи станка:

$$V_{\text{змін.год}} = \frac{V_{\text{змін.}}}{T_e} \quad (6.13)$$

$$V_{\text{змін.год}} = \frac{338412,42}{2540} \approx 133,23 \text{ грн.}$$

Отримані результати заносимо в таблицю 6.3:

Таблиця 6.3 - Річні виробничі витрати

Статті витрат	Сума, грн.
Оплата праці виробничого персоналу з нарахуваннями	268918
Електроенергія	69494
Амортизаційні відрахування	15000
Ремонт та технічне обслуговування обладнання	10000
Загальногосподарські витрати	22504
Разом	385916

6.4 Фінансовий план

Визначаємо точку беззбитковості. В умовному господарстві планується надавати послуги з обкатування деталей господарствам. При наданні послуг на сторону буде використовуватися витратний метод ціноутворення з фіксованою нормою прибутку. Планується 80% завантаження для надання послуг.

Вартість 1 нормо-години:

$$Ц_{в.н.год} = V_{змін.н.год} + 20\% \quad (6.14)$$

$$Ц_{в.н.год} = 151,94 + 20\% = 182,32 \text{ грн.}$$

Ціна з нормою прибутку і ПДВ:

$$Ц_{н.год} = Ц_{в.н.год} + 20\% \quad (6.15)$$

$$Ц_{н.год} = 182,32 + 20\% = 218,79 \text{ грн.}$$

Розподіл нормо-годин:

$$T_{вл.} = T_e \cdot 20\% \quad (6.16)$$

де $T_{вл.}$ - нормо-години для власного використання (20%), н.год.

$$T_{\text{вл.}} = 2540 \cdot 20\% = 508 \text{ н. год.}$$

$$T_{\text{пос.}} = T_e - T_{\text{вл.}} \quad (6.17)$$

де $T_{\text{пос.}}$ - норма-години для надання послуг (80%), н.год.

$$T_{\text{пос.}} = 2540 - 508 = 2032 \text{ н. год.}$$

Валові витрати (на зовнішні послуги):

$$V_{\text{зов.}} = V_{\text{пос.}} + (T_{\text{пос.}} \cdot V_{\text{змін.год}}) \quad (6.18)$$

$$V_{\text{зов.}} = 47503,6 + (2032 \cdot 133,23) = 318233,54 \text{ грн.}$$

Виручка з ПДВ:

$$ВР = T_{\text{пос.}} \cdot Ц_{\text{н.год}} \quad (6.19)$$

$$ВР = 2032 \cdot 218,79 = 444575,26 \text{ грн.}$$

Виручка без ПДВ:

$$ВР_{\text{б.ПДВ}} = ВР - 20\% \quad (6.20)$$

$$ВР_{\text{б.ПДВ}} = 444575,26 - 20\% = 370479,38 \text{ грн.}$$

Чистий прибуток:

$$П_{\text{ч}} = ВР_{\text{б.ПДВ}} - V_{\text{зов.}} \quad (6.21)$$

$$П_{\text{ч}} = 370479,38 - 318233,54 = 52245,84 \text{ грн.}$$

Рівень рентабельності:

$$P = \frac{\Pi_{\text{ч}}}{B_{\text{зов.}}} \cdot 100\% \quad (6.22)$$

$$P = \frac{52245,84}{318233,54} \cdot 100\% = 16,4\%$$

Термін окупності:

$$T = \frac{Ц_{\text{обл}}}{\Pi_{\text{ч}}} \quad (6.23)$$

$$T = \frac{120000}{52245,84} \approx 2,3 \text{ року}$$

Отримані результати заносимо в таблицю 6.4:

Таблиця 6.4 - Звіт про фінансові результати ефективності реалізації проєкту за рік

Показники	Значення
Всього валових витрат	385 916 грн.
в т. ч. постійні	47 504 грн.
змінні	338 412 грн.
Валові витрати (на зовнішні послуги)	318 234 грн.
Виручка з ПДВ	444 575 грн.
Виручка без ПДВ:	370 479 грн.
Чистий прибуток	52 246 грн.
Рівень рентабельності	16,4%
Термін окупності:	2,3 року

6.5 Визначення точки беззбитковості

Розрахунок точки беззбитковості:

$$T_6 = \frac{V_{\text{пос.}}}{C_{\text{н.год}} - V_{\text{змін.год}}} \quad (6.24)$$

$$T_6 = \frac{47503,6}{218,79 - 133,23} \approx 555 \text{ н. год.}$$

Виручка в точці беззбитковості:

$$VP_{\text{т.б.}} = T_6 \cdot C_{\text{н.год}} \quad (6.25)$$

$$VP_{\text{т.б.}} = 555 \cdot 218,79 = 121428,45 \text{ грн.}$$

Постійні витрати: 47503,6 грн.

Визначаємо точку беззбитковості графічним методом (рис. 6.1).

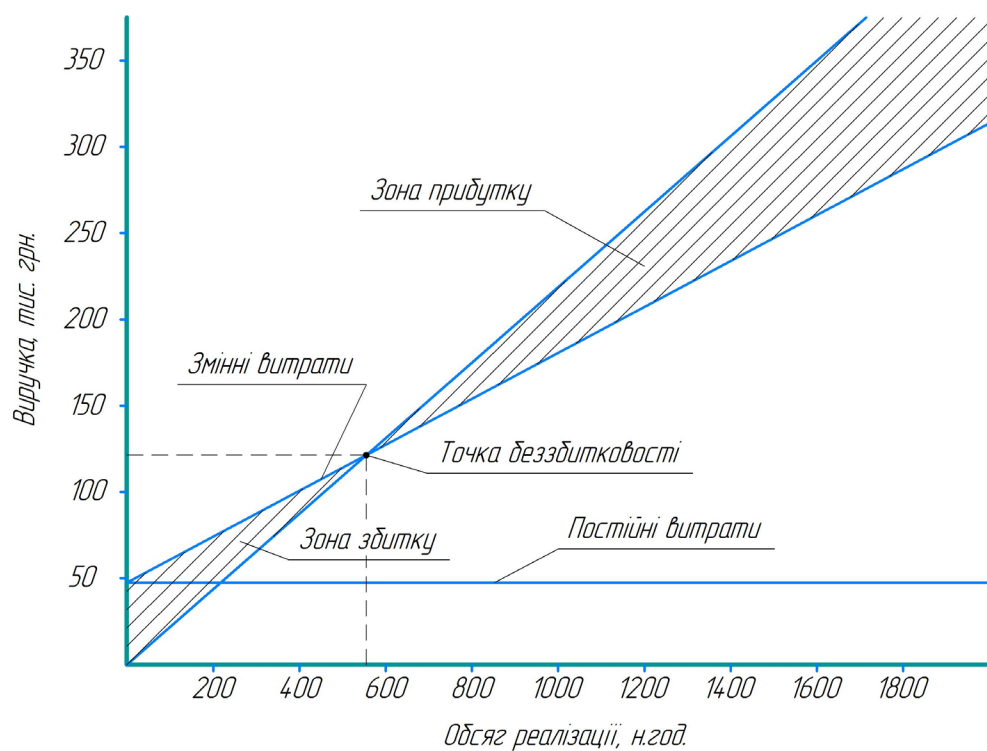


Рисунок 6.1 - Графік точки беззбитковості

6.6 Ризики та шляхи їх зниження

Здійснення будь-якої діяльності пов'язане з ризиком. Ризик – це настання певної несприятливої події, яка зумовлює ймовірність втрати підприємцем своїх ресурсів чи доходів, або появу додаткових витрат [31].

Перелік можливих видів ризиків досить великий: від стихійного лиха до помилок самого підприємця. Основними видами ризиків можуть бути такі:

1. Виробничий ризик. Причиною виникнення при технічному сервісі може бути порушення технології ремонтів, вплив погодних умов, нестача матеріальних, грошових та трудових ресурсів.

2. Технічний ризик. Завжди існує можливість, що обладнання, техніка вийде з ладу, або з розвитком науково-технічного прогресу буде застарілим, що спричинить збитки.

3. Катастрофічний ризик, від якого не застраховане жодне підприємство. Він проявляється у вигляді стихійних лих, а також може бути спричинений діяльністю людини (землетруси, пожежі, аварії).

4. Правовий ризик. Може виникнути під впливом змін в законодавчих актах, що регулюють діяльність підприємства.

5. Ризик, пов'язаний з використанням людського фактору.

6. Політичний ризик. Причиною його можуть бути зміни політики держави.

7. Ризик невідповідності документації. Причина – неточність в обліковій та іншій документації.

Регулювання на можливі негативні наслідки ринкової діяльності передбачає розробку організаційних та операційних процедур запобіжного характеру. Ці процедури включають конкретні рекомендації для певних дій у разі виникнення несприятливих наслідків.

Висновки до шостого розділу

У шостому розділі було розроблено бізнес-план, який визначає економічну доцільність впровадження технології обкатування шківів для підприємства з обслуговування та ремонту сільськогосподарської техніки. Розглянуто структуру та особливості виробничого процесу, оцінено основні витрати, включаючи амортизацію, заробітну плату, електроенергію, ремонт та загальногосподарські витрати. Комплексний підхід дозволив детально оцінити як виробничі, так і фінансові аспекти діяльності, сприяючи обґрунтованому визначенню фінансової ефективності проєкту.

За результатами фінансових розрахунків, сума інвестиції становить 120,000 грн, річна виручка – 444,575 грн, чистий прибуток – 52,246 грн, рівень рентабельності – 16.4%, а термін окупності проєкту становить 2,3 року. Ці показники свідчать про стійкий рівень доходності та привабливість інвестиції, забезпечуючи швидке повернення вкладених коштів та високий економічний потенціал проєкту.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Аналіз експлуатаційної надійності агрегатів об'ємних гідравлічних трансмісій, застосовуваних у сільськогосподарській техніці, засвідчив критичність проблеми їх безвідмовності, що обумовлюється як конструктивними особливостями аксіально-поршневих гідромашин, так і складністю забезпечення якісного технічного обслуговування в польових умовах. Статистичні дані вказують на домінування збоїв качаючих вузлів гідронасосів і гідромоторів (43% для насосу, 29% для мотора), системи підживлення та клапанно-розподільчих пристроїв, що вимагає розроблення науково-обґрунтованих підходів на всіх етапах життєвого циклу гідроприводів.

2. Проведені математичні дослідження встановили критичні функціональні залежності між структурними параметрами технічного стану (зазори, зношення деталей) та вихідними характеристиками гідромашин. Аналіз впливу зношення кільцевої опори п'яти плунжера показав, що при повному зношенні ($\Delta h = 0,7$ мм) об'ємні втрати можуть досягати $38,60$ см³/с, однак залишаються керованими в межах забезпечення функціональності системи. Дослідження торцевих зазорів у насосі підживлення виявило експоненціальне зростання витоків при перевищенні критичного значення зазору (понад 80 мкм), що дозволило науково обґрунтувати параметри діагностування гідроприводів.

3. Розроблено та обґрунтовано комплекс конструктивних рішень щодо підвищення надійності критичних складових аксіально-поршневих гідромашин, включаючи втулку блока циліндрів з пружньо-демпфуючим елементом, насос підживлення з механізмом компенсації торцевого зазору та систему стабілізації радіального люфту. Розроблена комплексна експериментальна база із сучасною контрольно-вимірювальною апаратурою для верифікації функціональних параметрів розроблених конструкцій.

4. Порівняльні випробування підтвердили ефективність розроблених конструктивних удосконалень. Експериментальні деталі спряження «втулка-плунжер» виявили суттєво меншу інтенсивність зношення (не більше 1 мкм за 60 хвилин обкатки проти 2,1 мкм для стандартних). Насос підживлення з механізмом компенсації торцевого зазору показав зменшення коефіцієнта подачі на 5% (проти 11% у стандартного), а система стабілізації радіального зазору – на 3,5% (проти 10%), що забезпечує значно більший експлуатаційний ресурс розроблених конструкцій.

5. Розроблено комплексну систему забезпечення безпеки гідравлічних трансмісій, яка базується на багатоступеневій системі запобіжних клапанів, контролю температури та параметрів з відповідною сигналізацією, системах фільтрації робочої рідини та професійній підготовці операторів. Розраховані параметри вентиляції та освітлення лабораторії повністю відповідають нормативним вимогам охорони праці для спеціалізованих підприємств з дослідження гідроагрегатів.

6. Проведена детальна економічна оцінка впровадження розроблених конструктивних удосконалень демонструє високу комерційну доцільність проекту. Збільшення річної програми ремонту з 210 до 285 одиниць при розширенні виробничих потужностей призводить до зростання прибутку на 56587 грн., при цьому термін окупності додаткових вкладень, які складають 205 тис.грн., становить 3,6 років, що засвідчує привабливість інвестиційного проекту та можливість його впровадження в практику спеціалізованих сервісних центрів з ремонту гідравлічних агрегатів мобільної сільськогосподарської техніки.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні рекомендації для виконання та оформлення дипломної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності Н7 «Агроінженерія» / Ю.І. Панцир, А.В. Рудь, В.І. Дуганець, В.І. Дуганець, Л.С. Шелудченко, С.М. Грушецький, Комарніцький С.П. За ред. В.І. Дуганця. Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2025. 52 с.
2. Ремонт тракторів і автомобілів : навч. посіб. / А. М. Яковенко та ін. Одеса : ТЕС, 2020. 191 с.
3. Мазур, А. Ю. Сучасні методи зміцнення поверхонь деталей: теорія і практика. Харків : ХНАДУ, 2005. 256 с.
4. Сучасні технології відновлення деталей машин : монографія / О. І. Сідашенко та ін. Харків : Міськдрук, 2021. 245 с.
5. Walia R. S., Murtaza Q., Pandey S. M. Surface Engineering: Methods and Applications. London : CRC Press, 2024. 310 p.
6. Трибологія та надійність машин : підручник / В. В. Аулін, А. В. Гринченко. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. 412 с.
7. Wang Y., Pang Z. Surface Engineering Towards Better Material Performance. London : Royal Society of Chemistry, 2022. 280 p.
8. Технічний сервіс в АПК : навч. посіб. / за ред. В. Я. Чабанного. Київ : Аграрна освіта, 2021. 456 с.
9. Методи та засоби вимірювання в машинобудуванні : підручник / О. М. Марчук. Львів : Новий Світ-2000, 2023. 380 с.
10. Brown C. A. Handbook of Surface Metrology. New York : CRC Press, 2024. 450 p.
11. Планування експерименту та обробка даних : навч. посіб. / І. В. Коробко. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 210 с.
12. Tyagi R., Kumar R. Tribological Aspects of Additive Manufacturing. London : CRC Press, 2024. 290 p.

13. Метрологія та взаємозамінність : підручник / В. О. Яновський. Одеса : ОДАУ, 2022. 250 с.
14. Bartkowiak T. Multiscale slope analysis for functional correlation of surface texture. *Surface Topography: Metrology and Properties*. 2024. Vol. 12. Art. 035012.
15. Математичне моделювання технологічних процесів : підручник / О. В. Третяк. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 340 с.
16. Контактна механіка та зношування деталей машин : монографія / М. В. Кіндрачук. Київ : НАУ, 2021. 280 с.
17. Основи теорії тертя та зношування : навч. посіб. / В. А. Войтов. Харків : ХНАДУ, 2021. 230 с.
18. Belytschko T. *Nonlinear Finite Element Methods for Continua and Structures*. New York : Wiley, 2021. 700 p.
19. International Publ. Enhancing Surface Integrity: Analytical modeling of burnishing forces. *Journal of Mechanical Engineering*. 2025. Vol. 12. P. 1128–1135.
20. Експериментальна інженерія поверхні : навч. посіб. / О. В. Деркач. Миколаїв : МНАУ, 2023. 190 с.
21. Інженерія поверхні та реновація виробів : зб. наук. праць / за ред. М. І. Черновола. Київ : АТМ України, 2022. 165 с.
22. Davim J. P. *Manufacturing Technology: Materials, Processes and Equipment*. Cham : Springer, 2025. 350 p.
23. Відновлення деталей машин: Практикум / В. І. Мельник. Житомир : ЖНАЕУ, 2021. 140 с.
24. Шейкін С. Є. Вплив режимів обкатування на мікротвердість сталі 45. *Вісник Житомирського державного технологічного університету*. 2024. № 1. С. 120–127.
25. Надійність технічних систем : підручник / В. О. Болтянський. Мелітополь : ТДАТУ, 2024. 250 с.
26. Прогнозування залишкового ресурсу деталей машин : навч. посіб. / О. В. Сидоренко. Київ : НУБіП, 2022. 210 с.

27. Надійність та ремонт машин : зб. задач / І. П. Головатий. Львів : Магнолія-2006, 2021. 180 с.
28. Економіка виробничого підприємства : підручник / Й. М. Петрович. Львів : Новий Світ-2000, 2021. 380 с.
29. Організація технічного сервісу : навч. посіб. / В. Я. Чабанний. Харків : ХНТУСГ, 2022. 260 с.
30. Управління витратами на ремонт та обслуговування техніки : монографія / С. І. Дем'яненко. Київ : КНЕУ, 2020. 280 с.
31. Бізнес-планування на підприємствах АПК : підручник / М. М. Ільчук. Київ : НУБіП, 2021. 420 с.