

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ ІМЕНІ
ПРОФЕСОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА

ДИПЛОМНА РОБОТА

Освітнього ступеня «Магістр»

на тему: **„ Підвищення точності затягування різьбових з'єднань
під час технічного сервісу сільськогосподарської техніки ”**

Виконав: студент 6 курсу групи Аін-61
Спеціальності 208 „ Агроінженерія ”
(шифр і назва)

Вермінський Олег Романович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., в.о.доц. Василь РИС
(Прізвище та ініціали)

Рецензент: к.т.н., доц. Ігор СТУКАЛЕЦЬ
(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2024

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ ІМЕНІ
ПРОФЕСОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____
(підпис)

к.т.н., доц. Андрій ШАРИБУРА
“ 28 ” квітня 2023 р.

З А В Д А Н Н Я

на дипломну роботу студенту
Вермінського Олега Романовича

1. Тема роботи: „ **Підвищення точності затягування різьбових з'єднань під час технічного сервісу сільськогосподарської техніки** ”

Керівник роботи: Рис Василь Іванович, к.т.н., в.о.доц.

Затверджена наказом по університету від 28.04.2023 року № 133/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 12.02.2024 року.

3. Вихідні дані: Існуючі методи покращення якості сервісних робіт, аналіз надійності існуючих різьбових з'єднань. Існуючі типи різьбових з'єднань та методики контролю якості їх затягування. Показники стану охорони праці в базовому підприємстві. Техніко-економічні показники роботи базового підприємства

4. Перелік питань, які необхідно розробити

Вступ

1. Стан питання і завдання досліджень

2. Теоретичне обґрунтування контролю сили затяжки

3. Методика експериментальних досліджень

4. Результати експериментальних досліджень

5. Охорона праці і безпека в надзвичайних ситуаціях

Загальні висновки

Список використаних джерел

Перелік графічного матеріалу: тема – 1-й слайд; мета роботи та завдання дослідження – 2-й слайд; класифікації різьби – 3-й; розподіл з'єднань машин – 4-й; методи контролю сили затягування – 5-й слайд; визначення коефіцієнту тертя в різьбі - 6-й слайд; аналіз дефектів різьбових з'єднань – 7-й слайд; схема установки дм-27 – 8-й слайд; результати випробувань різьбової пари M12x1.75 – 9-й слайди; розподіл зусиль затягування болтів ГБЦ – 10-й слайд; висновки – 11 слайд.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завданн я видав	завдання прийняв	
1, 2, 3, 4	Рис В.І. в.о. доц. кафедри експлуатації та технічного сервісу імені професора Олександра Семковича			
5	Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання: 28.04.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	Написання розділу: «Стан питання і завдання досліджень»	28.04.23-31.06.23	
2.	Виконання розділу «Порівняльний аналіз режимів кручення різьбових стержнів різними технічними засобами»	01.07.23-01.08.23	
3.	Виконання розділу «Методика дослідження відкручування шпилькових з'єднань»	02.08.23-01.10.23	
4.	Написання розділу: «Результати експериментальних досліджень»	02.10.23-14.11.23	
5.	Написання розділу: «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	15.11.23-14.12.23	
7.	Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки	15.12.23-31.01.23	
8	Завершення роботи в цілому	01.02.24-12.02.24	

Студент _____ Олег ВЕРЕМІНСЬКИЙ
(підпис)

Керівник роботи _____ Василь РИС
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Підвищення точності затягування різьбових з'єднань під час технічного сервісу сільськогосподарської техніки. Вермінський Олег Романович – Кафедра експлуатації та технічного сервісу імені професора Олександра Семковича – Дубляни, Львівський НУП – 2024. 68 с. – Рис. 44. - Табл. 11. – 47 джерел.

В дипломній роботі були розглянуті існуючі методи підвищення надійності різьбових з'єднань, розглянуто способи контролю методів затяжки різьбових з'єднань.

Проведено теоретичні та експериментальні дослідження, що підтверджують припущення про вплив стану різьбового з'єднання на коефіцієнт тертя в різьбі та контролю моментів загвинчування і відгвинчування.

Також були розроблені заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: надійність, різьба, різьбове з'єднання, різьбове з'єднання, автомобіль, трактор, дослідження, роботоздатність і т.д.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	9
1.1 Різьбові з'єднання. Загальні відомості.....	9
1.1.1. Профіль і параметри метричної різьби.....	13
1.1.2. Допуски метричної різьби.....	15
1.2 Аналіз причин і наслідків неточного (нерівномірного) затягування різьбових з'єднань.....	18
1.3 Аналіз методів, способів і засобів контролю зусилля затягування.....	21
Висновки до розділу 1.....	25
2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНТРОЛЮ СИЛИ ЗАТЯЖКИ.....	27
2.1. Визначення коефіцієнту тертя в різьбі.....	27
2.2 Теоретичне обґрунтування контролю сили затягування через відношення моментів відгвинчування й загвинчування.....	31
Висновки по розділу 2.....	36
3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	38
3.1 Аналіз дефектів різьбових з'єднань.....	38
3.2 Вибір технічних засобів, інструментів і матеріалів для проведення експериментальних досліджень.....	40
3.3 Методика дослідження впливу стану різьбового з'єднання на точність контролю сили затягування по моменту.....	41
3.4. Методика оцінки точності забезпечення зусилля затягування під час контролю через відношення моментів відгвинчування й загвинчування.....	45
3.5 Методика дослідження рівномірності затягування різьбових з'єднань під час технічного сервісу вузла.....	46
Висновки до розділу 3.....	48
4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	49
4.1 Результати дослідження впливу стану різьбового з'єднання на точність затяжки за моментом.....	49

4.2 Результати дослідження рівномірності затягування різьбових з'єднань вузла пвд час технічного сервісу.....	51
Висновки до розділу 4.....	56
5. ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	57
5.1. Структурно-функціональний аналіз технологічних процесів складання та розбирання машин.....	57
5.2. Вимоги безпеки до території, приміщень, обладнання і виробничих процесів ремонтних підрозділів.....	60
5.3.Розробка заходів щодо безпеки в надзвичайних ситуаціях.....	61
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	64

ВСТУП

Велике народногосподарське значення має високопродуктивне і ефективне використання машинно-тракторного парку. Однак сучасний стан парку свідчить про його спрацьованість на рівні 65-80%, а для деяких груп машин цей показник сягає 92-95% [9, 21, 40]. Такий стан робить машино-тракторний парк ненадійним, що стримує отримання високоякісної сільськогосподарської продукції. Проблема також полягає у випуску техніки вітчизняного виробництва: кожна четверта машина має відхилення коефіцієнта технічної готовності від технічних умов, а 95-97% машин виготовляються з відхиленнями технічних вимог [17].

У роботі [5] виявлено, що до 60% відмов машин стаються через неякісне збирання, переважно різьбових з'єднань. Різьбові з'єднання складають 30-40% усіх з'єднань сільськогосподарської техніки [18]. Точність затягування різьбових з'єднань під час технічного сервісу є одним із факторів, що визначають надійність відремонтованих машин у сільському господарстві.

Робота розглядає проблему низької точності затягування різьбових з'єднань ремонтіваних вузлів техніки. Ця проблема актуальна, оскільки неточне затягування різьбових з'єднань призводить до втрати надійності вузлів та машин загалом. Існують різні методи контролю осьової сили затягування (далі - сили затягування) різьбових з'єднань. Проте, у більшості випадків контроль здійснюється за допомогою динамометричних (моментних) ключів [19].

Під час складання ремонтіваного вузла технічні умови, які рекомендуються для моменту затягування, не гарантують достатньої точності забезпечення необхідної (розрахункової) сили затягування. Це пояснюється невідповідністю фактичних коефіцієнтів тертя в різьбовому з'єднанні розрахунковим, викликаною зміною (нестабільністю) стану різьбових з'єднань у процесі експлуатації. Відхилення створеної сили затягування від необхідної може досягати +25-38% за різними оцінками [14].

Така низька точність контролю є неприпустимою під час складання відповідальних і особливо відповідальних групових різьбових сполучень

різьбових з'єднань. Максимально припустиме відхилення при складанні особливо відповідальних з'єднань, таких як болти шатунів, кришки корінних підшипників і т.д., становить +5%, а для відповідальних різьбових з'єднань (болти головок циліндрів, піддонів картерів і т.д.) +5...-15% [14].

Науковими працями вітчизняних та закордонних авторів, таких як Н.Е. Жуковського, І. А. Біргера, Г. Б. Юсилевича, М. А. Саверіна, М. П. Новікова, В. Д. Продана, Н. Л. Клячкіна, В. Б. Жукова, І. Л. Блаера, С. А. Корніловича та інших, присвячено значну кількість робіт з дослідження питань розрахунків і технології складання різьбових сполучень. Існує безліч методів, способів і засобів складання різьбових з'єднань [14, 19 та ін.], проте проблема низької точності (нерівномірності) затягування різьбових з'єднань вузлів під час ремонту сільськогосподарської техніки залишається невирішеною [40].

Нерівномірне затягування групових різьбових з'єднань відомо своєю здатністю викликати залишкову деформацію стягнутих деталей та викривлення макрогеометрії їх привалочних поверхонь під час експлуатації вузлів. Відповідальні деталі встановлюють тверді допуски на відхилення. Наприклад, гранично припустимі відхилення від площинності привалочних поверхонь головок циліндрів та блоків двигунів зазвичай не перевищують 0.02...0.05 мм на 100 мм довжини. За офіційними даними [6], 28% усіх дефектів головок циліндрів припадають на деформацію привалочної поверхні.

Дослідження [14] показують, що нерівномірне затягування болтів головок циліндрів, викликане низькою точністю контролю сили затягування за моментом, призводить до спотворення геометричної точності робочих поверхонь циліндрів. Овальність може збільшитися на 25-75%, а конусність - на 35-40%, виходячи за межі допуску. Це, в свою чергу, негативно впливає на ресурс циліндропоршневої групи та загальний ресурс двигуна.

Отже, численні несправності сільськогосподарської техніки, пов'язані з різьбовими з'єднаннями, разом із систематичними ушкодженнями (руйнуванням) різьбових сполучень під час їх затягування, створюють передумови для пошуку нових шляхів удосконалення технології складання різьбових з'єднань

ремонтованих вузлів машин.

Для підвищення точності і рівномірності затягування різьбових з'єднань пропонується використовувати контроль сили затягування через відношення моментів відгвинчування і загвинчування. Цей підхід дозволяє експериментально коригувати значення рекомендованого моменту затягування, враховуючи реальні коефіцієнти тертя (без встановлення їх числових значень) у конкретному різьбовому сполученні і обчислюючи для нього необхідний момент затягування.

Об'єктом досліджень є технологічний процес складання різьбових з'єднань під час технічного сервісу сільськогосподарської техніки.

Предметом дослідження є закономірності взаємозв'язку моменту та сили затягування.

1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Різьбові з'єднання. Загальні відомості

Різьбове з'єднання - розбірне нерухоме з'єднання деталей машин за допомогою нарізи, у якому одна з деталей має зовнішню нарізь, а інша – внутрішню. [34].

Виток різьби - частина різьби, утвореної при одному повороті профілю навколо осі обертання (рис. 1.1).

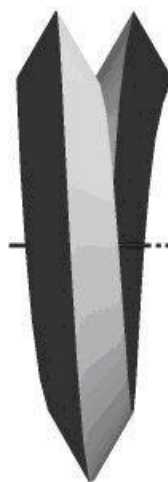


Рисунок 1.1 – Виток різьби

Зовнішній діаметр різьби (d) - діаметр уявлюваного циліндра, описаного навколо вершин зовнішнього різьби або вписаного в западини внутрішнього різьби (рис. 1.2).

Номінальний діаметр різьби - діаметр, що умовно характеризує розміри різьби й використовуваний при її позначенні.

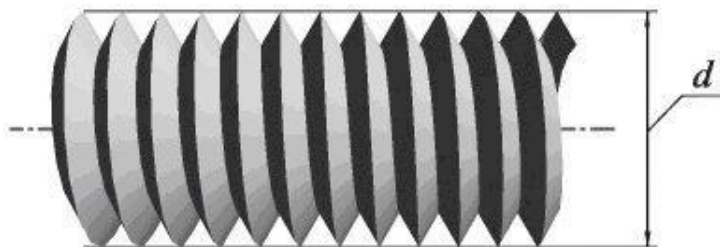


Рисунок 1.2 – Зовнішній діаметр різьби

Внутрішній діаметр різьби (d_1) - діаметр уявлюваного циліндра, вписаного в западини зовнішньої різьби або описаної навколо вершин внутрішньої різьби (рис. 1.3).

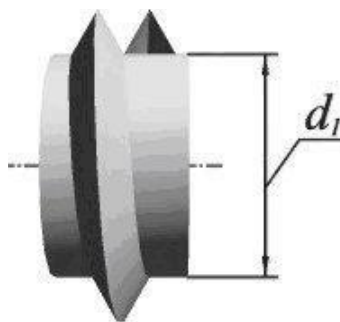


Рисунок 1.3 – Внутрішній діаметр різьби

Профіль різьби - плоска фігура, одержувана в площині, що проходить через вісь різьби.

Висота профілю (H) - радіально обмірювана висота основного розрахункового теоретичного профілю (висота вихідного трикутного профілю), загального для різьби на стрижні й в отворі.

Кут профілю - кут між бічними сторонами профілю, обмірюваний в осьовій площині різьби (рис. 1.4).

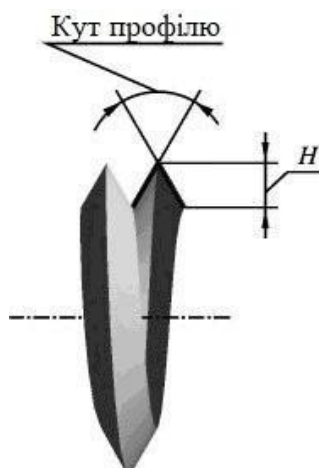


Рисунок 1.4 – Профіль різьби

Крок різьби (P) - відстань між сусідніми однойменними точками профілю в напрямку, паралельному осі різьби тієї ж гвинтової поверхні (рис. 1.5).

Хід різьби (P_h) - відстань по лінії, паралельній осі різьби, між вихідною середньою точкою на бічній стороні різьби й середньою крапкою, отриманої при переміщенні вихідної по гвинтовій лінії на кут 360° , в однозахідній різьбі хід дорівнює кроку, у багатозахідній - добутку кроку на число заходів n : $P_h = nP$ (рис.1.5).

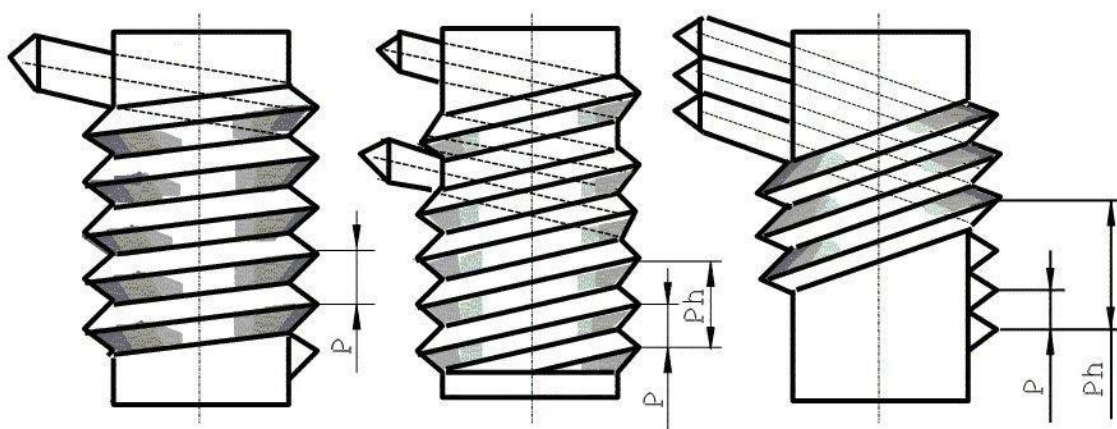


Рисунок 1.5 – Основні параметри різьби

Робоча висота профілю (h) - найбільша висота зіткнення сторін профілю різьбової пари, обмірювана радіально (рис. 1.6).

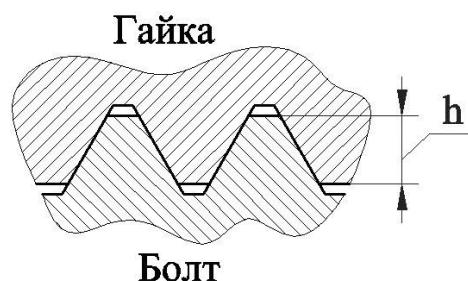


Рисунок 1.6 – Робоча висота профілю

Що провести класифікацію різьби використаємо такі основні ознаки (рис. 1.7): форма профілю, форма поверхні, на якій виконано різьби, розташування різьби, величина кроку, число й напрямки заходів, експлуатаційне призначення.

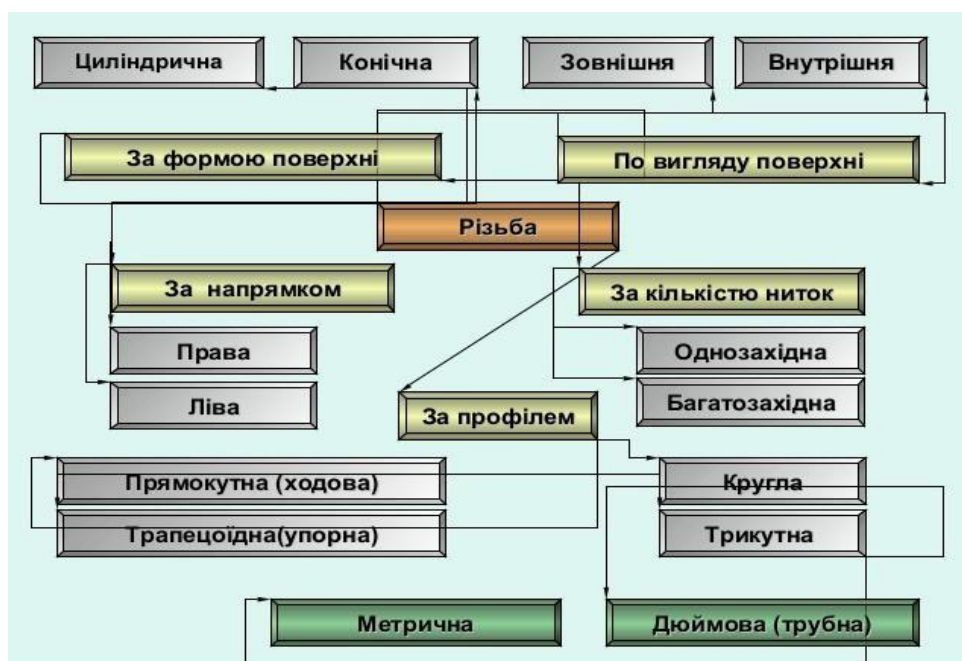


Рисунок 1.7 – Класифікації різьби

Кріпильні деталі – це деталі, які використовуються для нерухомого з'єднання частин деталей машин і конструкцій. До них відносять деталі різьбових з'єднань: болти, гвинти, шпильки, гайки, шурупи, шайби, шплінти, а також штифти (рис 1.8).

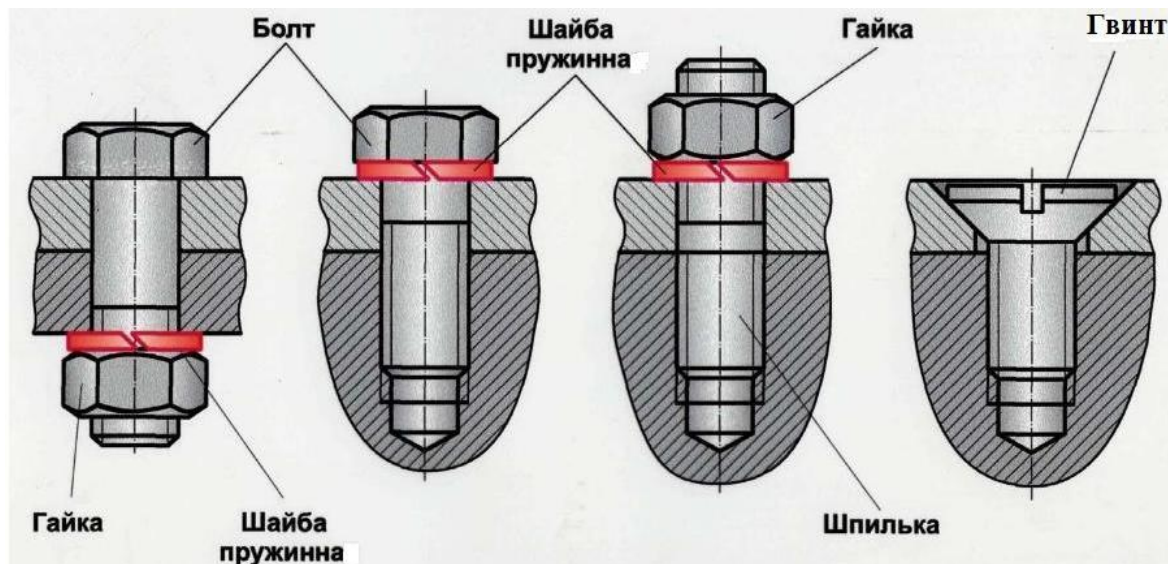


Рисунок 1.8 – Кріпильні деталі

Різьбові з'єднання складають близько 30 % від усіх з'єднань в машинах і механізмах (рис. 1.9). Так за даними [35] на сільськогосподарській техніці встановлено близько 6000 різьбових з'єднань.

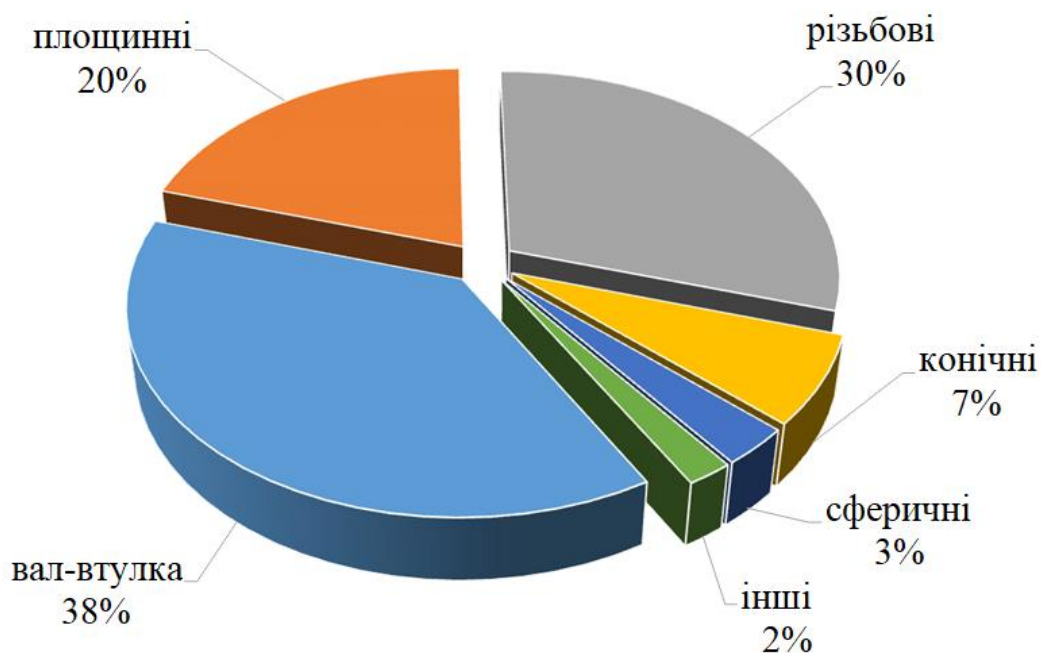


Рисунок 1.9 – Розподіл з'єднань машин

Відмови з'єднань наведено на рис. 1.10.

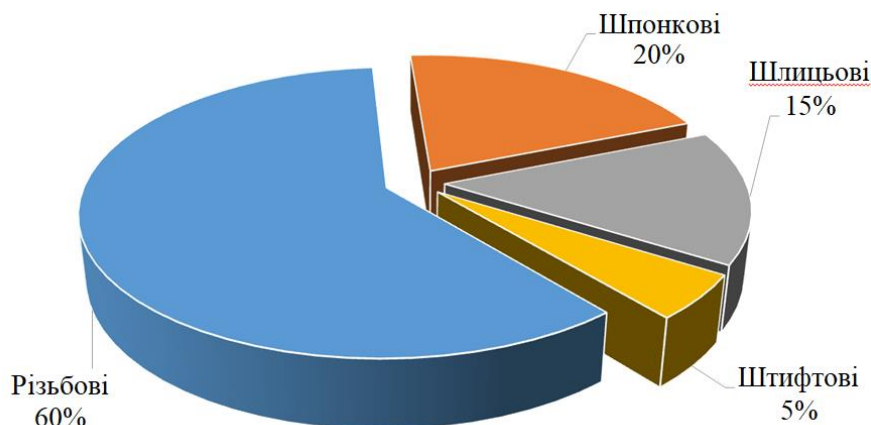


Рисунок 1.10 – Відмови з'єднань

1.1.1. Профіль і параметри метричної різьби

Номінальний профіль метричної циліндричної різьби (рис 1.11) і розміри його елементів регламентовані ДСТУ 16093:2019 [22]. Основні розміри метричної різьби для діаметрів від 0,25 до 600 передбачені ДСТУ 16093:2019 [22], а вихід різьби, збіги, недорічки, проточки і фаски (рис.1.12.) – ДСТУ 16093:2019 [22].

Форма западини різьби болта не регламентується і може бути закругленою, або плоско зрізаною. Закруглена форма западини має перевагу.

Форма западини різьби гайки не регламентується.

Найменший крок $P = 0,075$ мм має метрична різьба з діаметром $d = 0,25$ мм.

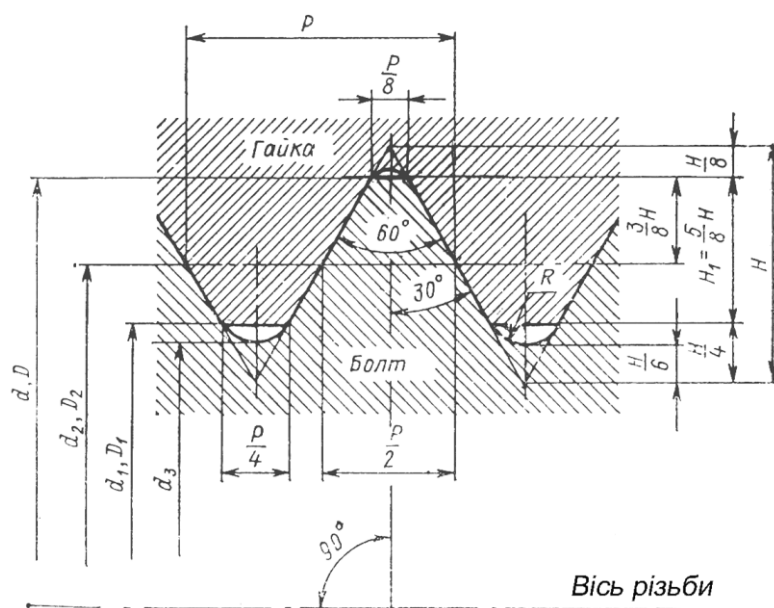


Рисунок 1.11 – Профіль метричної циліндричної різьби:

d – зовнішній діаметр зовнішньої різьби (різьбового стержня - РС, болта, гвинта шпильки);

D – зовнішній діаметр внутрішньої різьби (гайки);

d_2 – середній діаметр різьби РС;

D_2 – середній діаметр різьби гайки;

D_1 – внутрішній діаметр різьби гайки;

P – крок різьби;

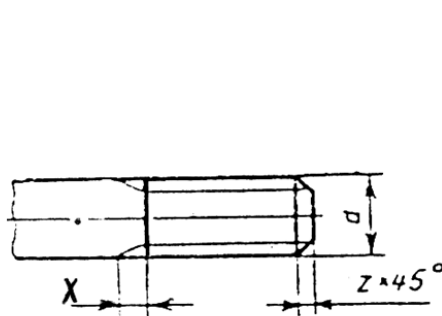
H – висота вихідного трикутника $\left(H = \sqrt{\frac{3}{2} \cdot P} \right)$

R – номінальний радіус заокруглень западин РС ($R=H/6$);

H_1 – робоча висота профілю;

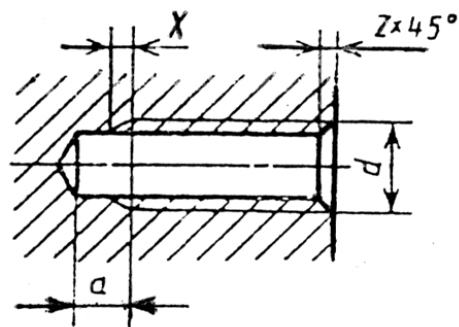
d_3 – внутрішній діаметр різьби РС по дну западини.

Найбільший крок $P=6$ мм встановлений з діаметра $d = 64$ мм аж до $d = 600$ мм, за винятком $d = 65, 75, 78, 82$ мм.



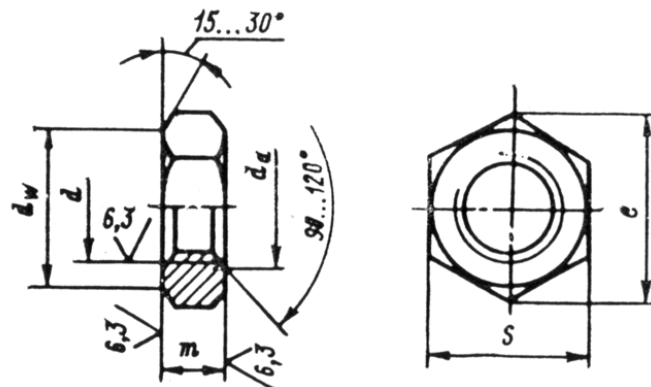
Допускається застосовувати кут 60°

а)



Допускається застосовувати кут 60°

б)



г)

Рисунок 1.12 – Фаски на різьбах: а) – на зовнішній різьбі; б) – на внутрішній різьбі; г) – на різьбі шестигранної гайки.

Таблиця 1.1 – Розміри фасок зовнішньої і внутрішньої метричної різьби

Крок різьби, мм	0,5	0,6	0,7	0,75	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
Фаска Z, мм	0,5		1,0			1,6			2	2,5		3,0		4,0				

1.1.2. Допуски метричної різьби

Щоб забезпечити вимоги взаємозамінності загвинчуваних виробів встановлено граничні контури різьби болта і гайки. Від номінального контуру перпендикулярно до осі різьби відраховуються відхилення діаметрів і розташовуються поля допусків, що визначають найменший граничний контур болта і найбільший – гайки.

Допуски метричних різьб з крупними і дрібними кроками для діаметрів 1-600 мм регламентовані ДСТУ 16093:2019. Цей стандарт встановлює граничні відхилення діаметрів різьби в посадках типу ковзних і з зазорами (рис.1.13.)

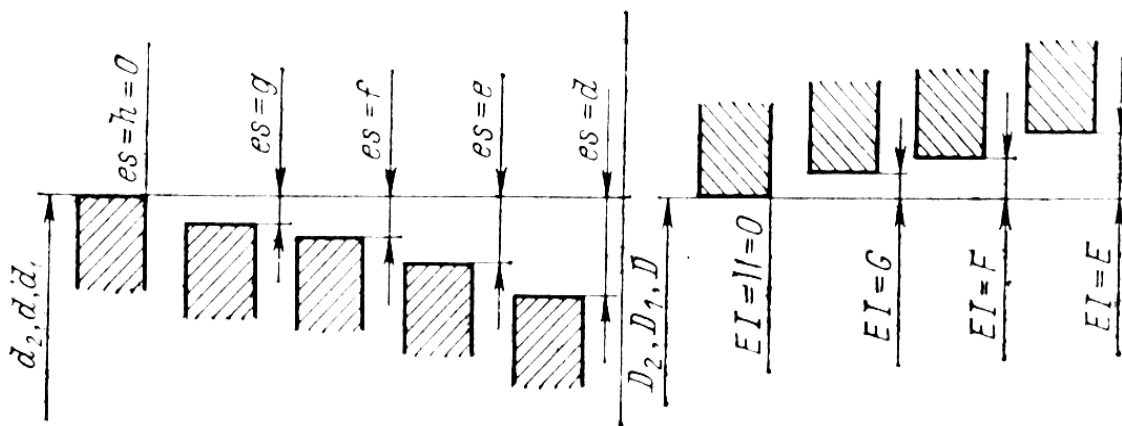


Рисунок 1.13 – Основні відхилення (верхні для болтів і нижні для гайок) і їх позначення: h, g, f, e, d – для зовнішнього діаметру різьби болта (PC); H, G, E^*, F^* – для внутрішнього діаметру різьби гайки.

Основні відхилення, що визначають розташування полів допусків відносно номінального профілю, залежать тільки від кроку різьби (крім h і H).

* - E і F тільки для спеціального застосування при значних товщинах захисного шару покриття.

Таблиця 1.2 – Степені точності діаметрів метричної циліндричної різьби в діапазоні 1 – 600 мм за ГОСТ 24705-2004

Вид різьби	Діаметр різьби	Степінь точності
Зовнішня	d	4; 6; 8
	d_2	3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; **
Внутрішня	D_2	4; 5; 6; 7; 8; 9; **
	D_1	4; 5; 6; 7; 8

** - тільки для різьб на деталях із пластмаси.

Поля допусків діаметрів різьби утворюються поєднанням степені точності (допуску) і основного відхилення. В позначенні точності різьби поле допуску середнього діаметру ставиться на першому місці, а потім – поле допуску внутрішнього діаметру для гайок або зовнішнього для болтів (рис.1.14.).

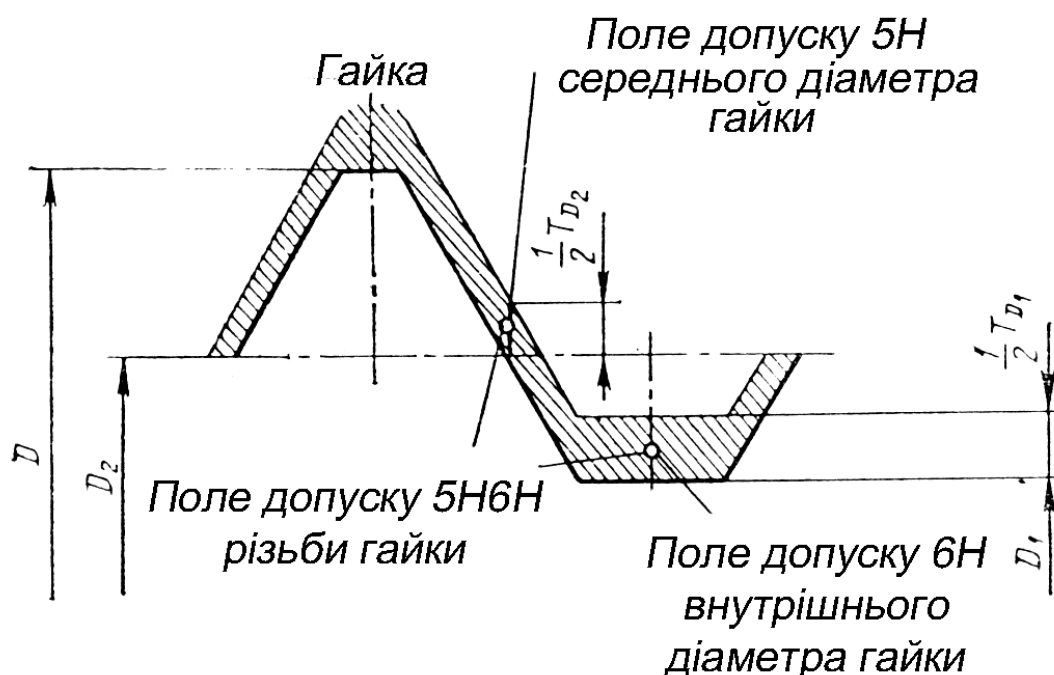


Рисунок 1.14 – Позначення точності різьби гайки

Якщо позначення поля допуску діаметра по вершинах різьби (d або D_1) співпадає з позначенням поля допуску середнього діаметру, то воно в позначенні поля допуску різьби не повторюється (рис. 1.15.).

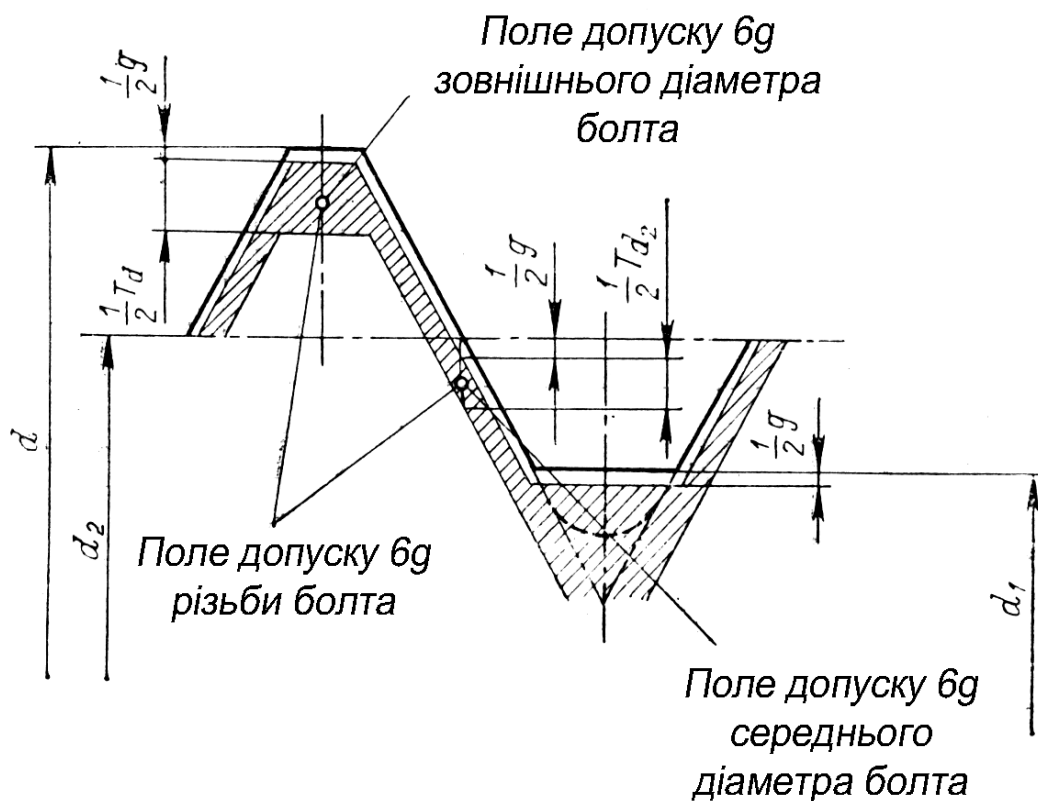


Рисунок 1.15 – Позначення точності різьби болта (РС)

Якщо не має особливих застережень, то допуск різьби стосується найбільшої нормальної (N) довжини згвинчування (таб.1.3.) або всієї довжини різьби, коли вона менша від найбільшої нормальної довжини згвинчування. Довжина згвинчування при необхідності має бути вказана у технічних вимогах.

Таблиця 1.3 – Довжина згвинчування за ДСТУ 16093:2019 (витяг)

Номинальний діаметр різьби, мм	Крок різьби, мм	Позначення довжин згвинчування, мм		
		S (малі)	N (нормальні)	L (великі)
1	2	3	4	5
Понад 5,6 до 11,2	0,25	До 0,8	Біл. 0,8 до 2,4	Біл. 2,4
	0,35	> 1,1	> 1,1 > 3,4	> 3,4
	0,5	> 1,6	> 1,6 > 4,7	> 4,7
	0,75	> 2,4	> 2,4 > 7,1	> 7,1
	1	< 3	> 3 > 9	> 9

Продовження таблиці 1.3.

1	2	3	4	5
	1,25	> 4	> 41 > 12	> 12
	1,5	> 5	> 5 > 15	> 15
Понад 11,2 до 22,4	0,35	До 1,3	Біл. 1,38 до 3,8	Біл. 3,8
	0,5	> 1,8	> 1,8 < 5,5	> 5,5
	0,75	> 2,8	> 2,8 > 8,3	> 8,3
	1	> 3,8	> 3,8 > 11	> 11
	1,25	> 4,5	> 4,5 < 13	> 13
	1,5	> 5,6	> 5,6 > 16	> 16
	1,75	> 6	> 6 > 18	> 18
	2	> 8	> 8 > 24	> 24
	2,5	> 10	> 10 > 30	> 30
Понад 22,4 до 45	0,5	До 2,1	Біл. 2,1 до 6,3	Біл. 6,3
	0,75	> 3,1	> 3,1 > 9,5	> 9,5
	1	> 4	> 4 > 12	> 12
	1,5	> 6,3	> 6,3 > 19	> 19
	2	> 8,5	> 8,5 > 25	> 25
	3	> 12	> 12 > 36	> 36
	3,5	> 15	> 15 > 45	> 45
	4	> 18	> 18 > 53	> 53
	4,5	> 21	> 21 > 63	> 63

1.2 Аналіз причин і наслідків неточного (нерівномірного) затягування різьбових з'єднань

Можна виділити дві категорії чинників, які впливають на нерівномірність розподілу сил затягування в різьбових стикуваннях ремонтovanого вузла:

Технологічні чинники, що виникають безпосередньо під час процесу збирання.

Експлуатаційні чинники, які виникають у процесі експлуатації вузла.

До технологічних факторів належать помилки в методах і засобах контролю сили затягування, невідповідність розрахункових параметрів фактичним (коефіцієнти тертя, геометричні розміри різьби, коефіцієнти піддатливості тощо), перенапруження сил в різьбових стикуваннях під час послідовного затягування, та людський фактор.

У процесі збирання технологічні фактори можуть призводити до відхилень сили затягування від заданого значення у більшу або меншу сторону, створюючи перетягнуті або недотягнуті з'єднання.

Найбільший вплив на точність затягування має помилка в методах контролю [33]. Найзручнішим та найпростішим у застосуванні є метод контролю сили затягування за моментом. Однак цей метод контролю має значну похибку. У процесі збирання різьбового з'єднання ремонтowanego вузла відхилення сили затягування від необхідного значення, за різними оцінками, може сягати +25...38% [35, 36, 38]. Така величина похибки є неприпустимою при збиранні різьбових стикувань сільськогосподарської техніки [33].

Причиною цього відхилення є невідповідність фактичних коефіцієнтів тертя, які утворюються під час затягування різьбових поверхонь, розрахунковим значенням. Це пояснюється зміною (нестабільністю) стану різьбових стиків під час експлуатації. Нестабільність стану різьбових стиків обумовлена змінами шорсткості різьбових поверхонь, корозією, забрудненням, зношуванням заводських антикорозійних і противозадирних покриттів, використанням різних мастильних і розкислюючих матеріалів.

Аналіз технологічного процесу обслуговування на сервісних підприємствах підтвердив, що різьбові деталі, такі як шпильки, болти та гайки, піддаються значному іржавінню після мийки вузлів (деталей) в процесі технологічних операцій.

Нерівномірне затягування різьбових стиків ремонтowanych вузлів може бути викликано наявністю (або відсутністю) та відмінністю виду змащення в окремих різьбових з'єднаннях груп. Наприклад, у випадку кріплення головки блоку циліндрів двигунів, середній ряд болтів різьбових з'єднань, як правило,

знаходиться під кришкою головки блоку циліндрів, що може призводити до потрапляння моторного масла в це з'єднання, тоді як інші болти, розташовані зовні, піддаються впливу корозії та забрудненню під час експлуатації.

Унікальність збирання різьбових з'єднань полягає в тому, що під час послідовного затягування різьбових стиків відбувається перенапруга сил затягування. Це пояснюється тим, що затягування кожного наступного болта (гайки) різьбової групи призводить до ослаблення сили затягування в раніше затягнутому болті. Таким чином, процес збирання різьбових з'єднань завжди проводиться етапами та у певній послідовності.

Кількість етапів (зазвичай 3-4) та оптимальна схема затягування болтів визначаються конструктором і вказуються в технічних умовах на складання вузла. Зазвичай під час затягування різьбового з'єднання (за 3 етапи) на першому етапі сила затягування створюється до 30% від розрахункового значення, на другому етапі до 70%, на третьому – 100%.

При надмірному затягуванні різьбових з'єднань під час складання часто виникають випадки зриву різьби, навіть при дотриманні рекомендованих технічними умовами на складання моментів, що пояснюється зміною стану різьбових з'єднань.

Експлуатаційні фактори визначають причини зменшення сили затягування в різьбовій групі під час експлуатації вузла. До них входять деформаційне згладжування мікронерівностей сполучених поверхонь у стикі деталей і в самих різьбових сполученнях (осаду мікронерівностей), можливі залишкові деформації стрижня болта (шпильки), релаксація напружень затягування, самовідгвинчування і інші.

Відхилення від розрахункової сили затягування під час складання різьбового з'єднання в меншу сторону (недотягнуте з'єднання) може викликати збільшення амплітуди вібрацій деталей під час експлуатації вузла, сприяючи процесу самовідгвинчування різьбового сполучення і може призвести до передчасного руйнування з'єднання від втоми.

Наприклад, допуск на відхилення від циліндричності дзеркала гільзи

двигунів OM904LA (Mercedes-Benz)– 0.012 мм, D0824LFL (MAN) – 0.008 мм, D4DC (Hyundai) – 0.03 мм [1, 3, 4, 40].

Деякі вчені в своїх дослідженнях також вказують, що нерівномірне затягування різьбових з'єднань головки блока циліндрів може призводити до деформації геометричної точності дзеркал циліндрів. Зокрема, овальність цих дзеркал може збільшуватися на 25-75%, а конусність - на 35-40%.

Враховуючи вищесказане, можна зазначити, що затягування різьбових з'єднань вузлів головки блока циліндрів під час ремонту сільськогосподарської техніки має виконуватися з високою точністю та рівномірністю.

1.3 Аналіз методів, способів і засобів контролю зусилля затягування

Однією з ключових сфер досліджень у галузі різьбових з'єднань завжди було і залишається вдосконалення методів та засобів контролю сили затягування [35]. На сьогодні основними методами контролю, які представлені на рис. 1.16 [34, 35], є:

- контроль сили затягування за моментом;
- контроль сили затягування за кутом повороту болта (гайки);
- контроль сили затягування за деформацією болта (шпильки);
- контроль сили затягування за деформацією шайби;
- комбінований метод контролю сили затягування за моментом і кутом повороту.
-

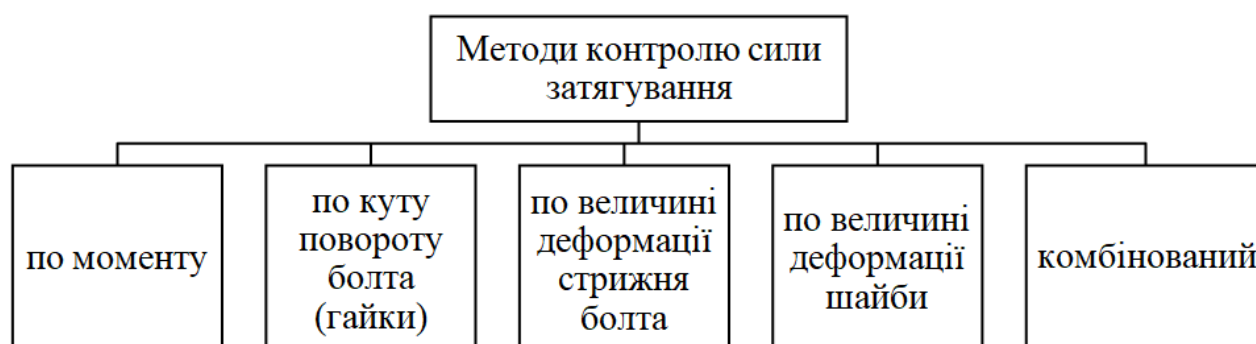


Рисунок 1.16 – Методи контролю сили затягування

Всі ці методи контролю мають свою похибку, яка визначається рядом причин. Зменшення похибки в контролі сили затягування при ремонті вузлів машин визнається ключовим завданням і полягає у врахуванні та усуненні цих причин.

Зауважимо, що вибір відповідної довжини рукояті ключа є одним із простих способів обмеження крутного моменту при затягуванні різьбових з'єднань [16]. Однак цей метод може не забезпечити точне і рівномірне затягування різьбових з'єднань через змінність сили руки оператора та швидкості обертання ключа. Згідно з результатами досліджень [40], при використанні цього методу розкид сил затягування може досягати 200%. Тому цей метод використовується тільки для ненормованого затягування в різьбових сполученнях з невеликою відповідальністю.

Даний підхід отримав широке застосування в сфері монтажних робіт, включаючи в себе процеси обслуговування сільськогосподарської техніки. Однією з ключових переваг цього методу є його простота в реалізації, легкість контролю та широкий спектр інструментів, включаючи різноманітні граничні і індикаторні динамометричні ключі. Такий підхід став необхідним інструментом для забезпечення ефективності і надійності процесів ремонту та технічного сервісу сільськогосподарської техніки. (рис. 1.17).



Рисунок 1.17 – Динамометричні ключі: а - шкальний, б – електронний, в – індикаторний, г - граничний

Ефективність даного методу контролю в значній мірі залежить від коефіцієнтів тертя в різьбовому з'єднанні, що є його основним обмеженням [34, 35]. У реальних умовах різьбових з'єднань під час ремонту можна спостерігати значну варіацію коефіцієнтів тертя від 0.05 до 0.5. Цей широкий діапазон значень призводить до низької точності контролю під час збирання вузлів, особливо у випадку, коли вони мають знос (за різними оцінками +25...38%). Така низька точність контролю суттєво піддає сумніву надійність з'єднань під час експлуатації сільськогосподарської техніки.

Контроль сили затягування за кутом повороту болта (гайки). Даний метод полягає у вимірі величини кута повороту болта [27] рис. 1.18:

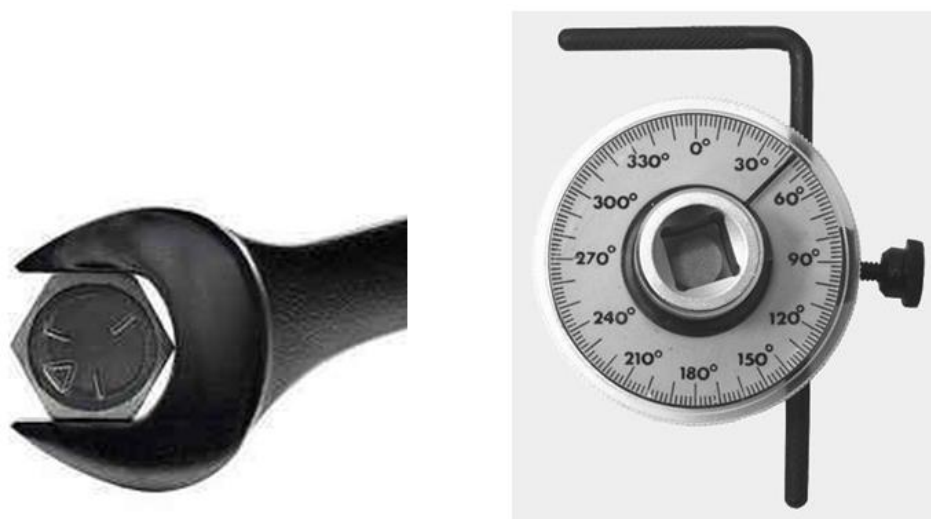


Рисунок 1.18 – Метод контролю сили затяжки за кутом повороту болта (гайки)

Відмінною рисою даного методу контролю є відсутність впливу коефіцієнтів тертя. Однак його практичне використання обмежується труднощами визначення нульового кута повороту φ_0 , який визначає стискання стику та вибірку зазорів у з'єднанні. Крім того, визначення кута, на який потрібно повернути болти різьбового з'єднання під час перенапруги сил затягування під час послідовного складання різьбового з'єднання ручним інструментом, є викликаною проблемою.

Контроль сили затягування за допомогою вимірювання кута повороту болта (гайки) здійснюється за допомогою транспортирних ключів, шаблонів або кутомірів (рис. 1.17). При цьому похибка вимірювання кута зазвичай становить

10-15 градусів [35], а точність забезпечення необхідної сили затягування не перевищує +20-23% [28, 35].

Цей метод контролю стає непрактичним при збиранні твердих з'єднань із короткими болтами або шпильками через невелику величину розрахункового кута затягування, яка майже дорівнює похибці методу.

Контроль сили затягування за деформацією болта (шпильки). Даний метод вважається одним з найбільш точних способів контролю сили затягування, що характеризується високою точністю (+5%) [35]. Його використовують для контролю сили затягування особливо відповідальних з'єднань, наприклад, шатунних болтів. Метод базується на вимірі подовження стрижня болта (шпильки) під впливом сили затягування.

Цей метод застосовний, коли різьбова деталь має значну довжину, оскільки величина подовження в цьому випадку є більш відчутною і може бути точніше виміряна. Важливо відзначити, що метод є непридатним для коротких і жорстких болтів, оскільки величина деформації болта є невеликою (20-60 мкм) і дорівнює похибці вимірювання. Для вимірювання подовження болта зазвичай використовують індикаторну скобу (рис. 1.19), якщо є можливість обігрунтованого доступу до торців болта (шпильки).



Рисунок 1.19 – Індикаторна скоба

Найбільше точно проконтролювати силу затягування по подовженню болта можна за допомогою тензометричних датчиків, які наклеюються на гладку

частину болта (шпильки) або заливаються в центральний отвір. Похибка забезпечення сили затягування близько + 2% [35]. Застосування такого способу складання при ремонті сільськогосподарської техніки виключене, тому що спосіб трудомісткий, вимагає наявності дорогої апаратури (підсилювач, осцилограф і т.д.) і високу кваліфікацію складальника.

На рис. 1.20 наведено застосування різних способів затягування.

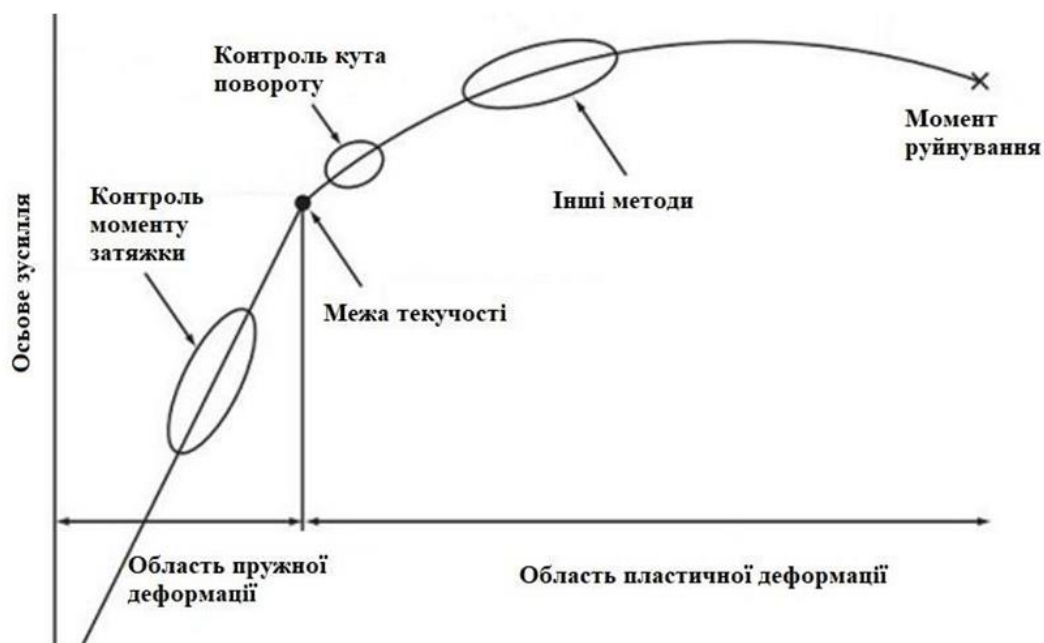


Рисунок. 1.20 – Застосування різних способів затягування

Висновки до розділу 1

Виявлено, що проблема нерівномірності затягування різьбових з'єднань при ремонті сільськогосподарської техніки виникає внаслідок неоднаковості (+25...38%) контролю сили затягування по моменту, що обумовлено змінами стану різьбових з'єднань під час експлуатації.

Неточне (нерівномірне) затягування може призвести до серйозних проблем, таких як пошкодження різьбових сполучень, деформація стягнутих деталей, або навіть розрив витків різьби, що впливає на ефективність циліндропоршневої групи та роботу двигуна в цілому.

Під час аналізу існуючих методів та засобів контролю сили затягування різьбових з'єднань, застосовуваних у виробництві сільськогосподарської техніки,

було виявлено їхню недостатню ефективність та недостатню точність. Внаслідок цього застосування цих методів не гарантує надійного з'єднання.

Для досягнення більш високої точності та однорідності затягування різьбових з'єднань при ремонті вузлів машин важливо враховувати реальний стан різьбових з'єднань.

Мета роботи – підвищення точності й рівномірності затягування різьбового з'єднання вузлів машин під час технічного сервісу.

Завдання досліджень:

1. Проаналізувати проблеми неточності (нерівномірності) затягування різьбових з'єднань ремонтованих вузлів, виявити причини виникнення нерівномірності затягування.

2. Теоретичне обґрунтування контролю сили затягування через відношення моментів: Розробити теоретичний підхід до контролю сили затягування, базуючись на відношенні моментів відгвинчування та загвинчування. Створити методику складання різьбових з'єднань ремонтованих вузлів, враховуючи цей підхід та визначаючи послідовність етапів затягування.

3. Експериментальне дослідження впливу стану різьбового сполучення на точність контролю сили затягування по моменту: Здійснити серію експериментів для визначення впливу стану різьбового сполучення на точність контролю сили затягування. Провести експериментальну оцінку точності забезпечення необхідної сили затягування через відношення моментів.

4. Експериментальне дослідження рівномірності затягування різьбових з'єднань при складанні ремонтованого вузла: Оцінити рівномірність затягування різьбових з'єднань при складанні ремонтованого вузла, використовуючи розроблену методику. Здійснити якісну оцінку рівномірності затягування та виявити можливі шляхи оптимізації.

5. Проведення заходів з забезпечення безпеки праці: Створити та впровадити комплекс заходів для гарантування безпеки під час проведення експериментів та складання ремонтованих вузлів. Узгодити процедури безпеки з персоналом та врахувати потенційні ризики.

2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНТРОЛЮ СИЛИ ЗАТЯЖКИ

2.1. Визначення коефіцієнту тертя в різьбі

Під час закручуванні гайки з боку ключа на гайку передається крутний момент $T_{заг}$, який перевищує момент тертя в різьбі T_p та на торці гайки T_m (рис. 2.1).

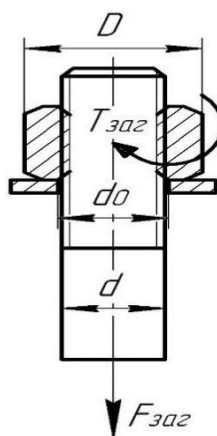


Рисунок 2.1 – Параметри різьбового з'єднання

Визначаємо крутний момент за формулою[1]:

$$T_{заг} = T_p + T_m \quad (2.1)$$

Крутний момент розподіляється наступним чином (рис. 2.2):

- тертя в різьбі 30-40%;
- тертя між гайкою і деталлю 40-50%;
- зусилля затягування 10-20%.

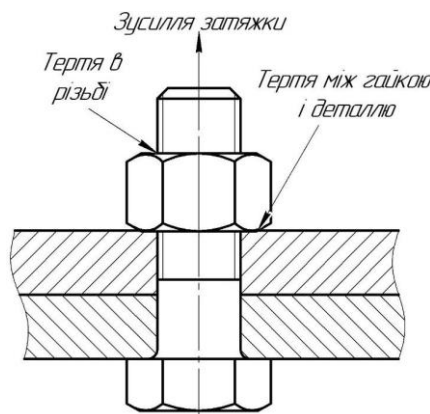


Рисунок 2.2 – Затрати прикладеного крутного моменту на подолання сил тертя

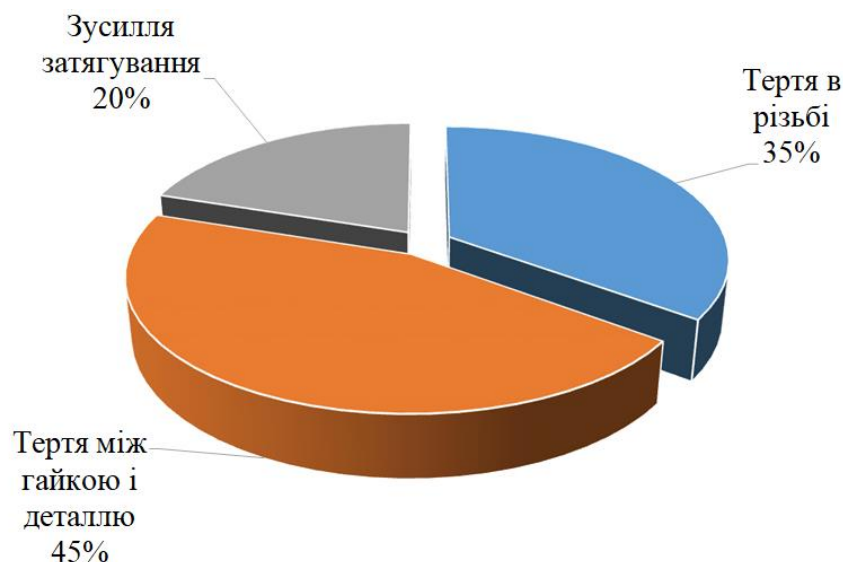


Рисунок 2.3 – Затрата прикладеного зусилля

Виникнення осьових зусиль $F_{заг}$ та моментів тертя під час затягування болта пов'язане з рядом взаємозалежних факторів:

$$T_p = F_{заг} \frac{d_2}{2} \tan(\psi + \varphi^1) \quad (2.2)$$

$$T_t = \frac{1}{3} F_{заг} f_t \frac{D^3 - d_0^3}{D^2 - d_0^2} \quad (2.3)$$

де: d_2 - середній діаметр різьби, м

ψ - кут підйому різьби.

Визначається з виразу:

$$\tan \psi = \frac{p}{\pi d_2} \quad (2.4)$$

p - крок різьби, м;

φ^1 - приведений кут тертя в різьбі, що відповідає приведенному коефіцієнту тертя в різьбі,

$$f_p^1 = \tan \phi^1 \quad (2.5)$$

D - зовнішній діаметр опорної поверхні гайки;

d_0 - внутрішній діаметр опорної поверхні (рівний отвору під болт);

f_t - коефіцієнт тертя на торці гайки.

Параметри різьб наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Параметри різьб для стандартних болтів з кутом профілю $\varphi = 60^\circ$

Діаметр d , мм	Крок P , мм	Середній діаметр d^2 , мм	Кут підйому ψ , гради	$\text{tg}\psi$	Розмір під ключ S , мм	Середній діаметр торця гайки d_T , мм
8	1,25	7,188	3,168	0,0554	13	10,9
10	1,50	9,026	3,028	0,0529	16	13,5
12	1,75	10,863	2,935	0,0513	18	15,6
14	2,00	12,701	2,869	0,0501	21	18,2
16	2,00	14,701	2,480	0,0433	24	20,8
18	2,50	16,376	2,782	0,0486	27	23,4
20	2,50	18,376	2,480	0,0433	30	26,0
22	2,50	20,376	2,236	0,0391	34	29,1
24	3,00	22,051	2,480	0,0433	36	31,2
27	3,00	25,051	2,183	0,0381	41	35,4
30	3,50	27,727	2,301	0,0402	46	39,5
36	4,00	33,402	2,182	0,0381	55	47,3

Для різьби при куті профілю 2α приведений коефіцієнт тертя f_{lp} та діючий коефіцієнт тертя f_p зв'язані залежністю:

$$f_p^1 = \frac{f_p}{\cos \alpha} \quad (2.6)$$

А також наближено

$$\varphi^1 = \frac{\varphi}{\cos \alpha} \quad (2.7)$$

Для метричних різьб (кріпильних) з кутом профілю $2\alpha = 60^\circ$ та $\cos \alpha = \cos 30^\circ = 0,866$.

Тоді

$$f_p = 0,87 f_{lp}. \quad (2.8)$$

Під час визначення коефіцієнтів тертя f_p та f_t за величиною крутних моментів в різьбі T_p та на торці гайки T_T з формули (2.2) отримуємо:

$$\phi^1 = \arctg \frac{2T_p}{F_{зав} d_2} - \psi \quad (2.9)$$

Тоді з виразу (2.3):

$$f_t = \frac{3T_T(D^2 - d^2)}{F_{зав}(D^3 - d_0^3)} \quad (2.10)$$

Допустиме зусилля затягування болта визначають за формулою:

$$[F_{зав}] = \frac{\pi d_1^2}{4} \cdot \frac{[\sigma_p]}{1.3} \quad (2.11)$$

де d_1 - внутрішній діаметр різьби, м;

$[\sigma_p]$ - допустиме напруження на розтяг для матеріалу болта, МПа.

Середнє значення тиску q_p , що виникає від дії осьової сили $F_{зав}$ на витках різьби, при допущенні про рівномірний розподіл його по виткам, визначають з співвідношення:

$$q_p = \frac{4F_{зав}}{\pi(d^2 - d^2)z} = \frac{4F_{зав}p}{\pi(d^2 - d^2)H} \quad (2.12)$$

де z - кількість витків різьби гайки;

H - висота гайки, м;

p - крок різьби, м;

d_1 - внутрішній діаметр різьби, м;

d - зовнішній діаметр різьби, м.

Тиск на торці гайки q_T , який виникає під час дії сили $F_{зав}$, визначають з формули:

$$q_T = \frac{4F_{зав}}{\pi(D^2 - d_{отв}^2)} \quad (2.13)$$

де D - зовнішній діаметр опорної поверхні гайки, м;

$d_{отв}$ - діаметр отвору під болт, м.

Таблиця 2.2 – Значення коефіцієнтів тертя в різьбі f і на торці гайки f_T

Масильний матеріал	Покриття					
	фосфатне		без покриття		оксидне	
	f	f_T	f	f_T	f	f_T
Без мастильного матеріалу	0,15...0,23	0,09...0,12	0,32...0,52	0,14...0,24	0,50...0,84	0,20...0,43
Солідол	0,15...0,20	0,10...0,13	0,18...0,23	0,10...0,14	0,39...0,51	0,19...0,29
Машинне масло	0,15...0,19	0,09...0,13	0,16...0,21	0,11...0,14	0,37...0,47	0,19...0,29
Машинне масло з 20%-ю добавкою двусернистого молібдену	0,14...0,17	0,07...0,10	0,11...0,15	0,07...0,10	0,15...0,21	0,07...0,11
<i>Примітка.</i> Матеріал болта й гайки — сталь 45, різьба М10.						

2.2 Теоретичне обґрунтування контролю сили затягування через відношення моментів відгвинчування й загвинчування

Теоретична обґрунтованість контролю сили затягування через відношення моментів відгвинчування й загвинчування ґрунтується на розрахунках необхідного моменту затягування для досягнення визначеної сили затягування в конкретній різьбовій парі. При цьому враховується фактичний стан різьбових поверхонь шляхом врахування коефіцієнтів тертя в різьбовому сполученні. Ці коефіцієнти, які залежать від стану різьбових поверхонь, враховуються побічно, без встановлення їх конкретних числових значень, за допомогою визначення відношення моментів відгвинчування й загвинчування. Величини цих моментів експериментально вимірюються динамометричним ключем для кожного окремого різьбового з'єднання.

Момент загвинчування визначається з виразу:

$$M_{\text{заг}} = 0.5 \cdot F \cdot d_2 \left(f_T \frac{D_T}{d_2} + f_p \right) + F \cdot \frac{P}{2\pi} \quad (2.14)$$

Момент відгвинчування визначається з виразу:

$$M_{\text{від}} = 0.5 \cdot F \cdot d_2 \left(f_T \frac{D_T}{d_2} + f_p \right) - F \cdot \frac{P}{2\pi} \quad (2.15)$$

складові, виділені в дужках, позначимо як Z , тобто:

$$Z = \left(f_T \frac{D_T}{d_2} + f_p \right) \quad (2.16)$$

Виразимо Z з (2.14):

$$Z = \frac{M_{\text{заг}} - F \cdot \frac{P}{2\pi}}{F \cdot \frac{d_2}{2}} \quad (2.17)$$

Виразимо Z з (2.15):

$$Z = \frac{M_{\text{заг}} + F \cdot \frac{P}{2\pi}}{F \cdot \frac{d_2}{2}} \quad (2.18)$$

Вирішуючи спільно вирази (2.17) і (2.18), одержимо момент затяжки:

$$M_{\text{заг}} = \frac{F \cdot P}{\pi \left(1 - \frac{M_{\text{від}}}{M_{\text{заг}}} \right)} \quad (2.19)$$

Основа контролю сили затягування, визначеного через відношення моментів відгвинчування й загвинчування, описана у залежності (2.19). Для розрахунку необхідного моменту затягування необхідно знати величину потрібної

сили затягування F , крок різьби P , і виміряти моменти загвинчування $M_{заг}$ і відгвинчування $M_{від}$ за допомогою динамометричного ключа для конкретної різьбової пари.

Згідно з результатами досліджень [19], зі збільшенням сили (моменту) затягування відношення $M_{від}/M_{заг} = const$. Момент відгвинчування завжди менше за момент загвинчування, що підтверджено різними теоретичними й експериментальними дослідженнями [35, 40, та інші]. В таблиці 2.3 представлені відповідні значення $M_{заг}/M_{від}$ для широкого спектру вивчених різьбових сполучень.

Таблиця 2.3 – Значення відношення $M_{заг} / M_{від}$

$M_{заг} / M_{від}$	0.6-0.65	0.7-0.75	0.8-0.85	0.9-0.95	Всього
Кількість	14	47	139	65	265
%	5	17	53	25	100

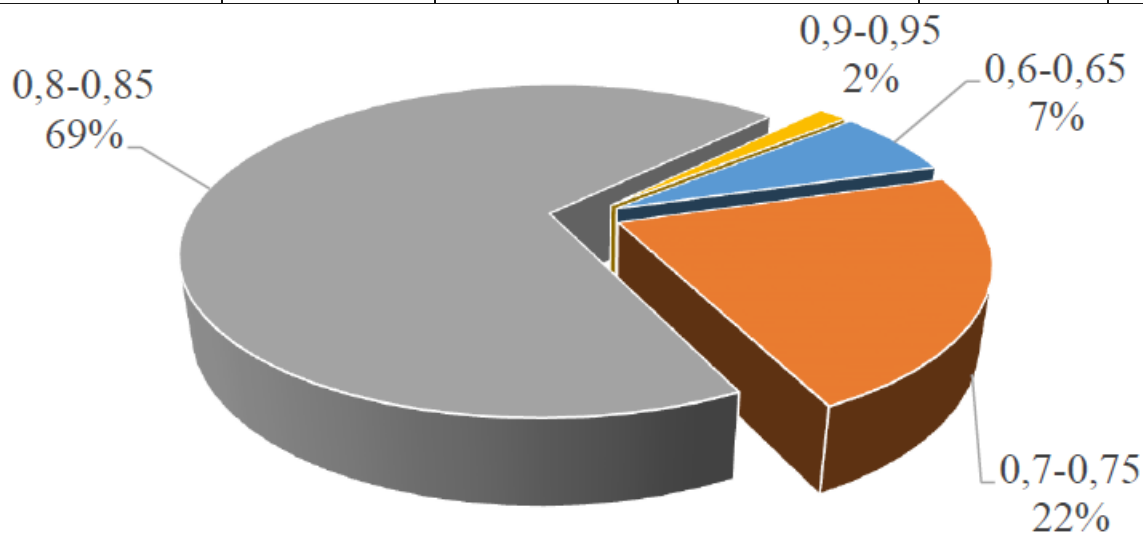


Рисунок 2.4 – Розподіл відношення $M_{заг}/M_{від}$

По-перше, залежність (2.19) була вперше розглянута Жуковим В. Б. В ході його дослідження щільності стиків різьбових з'єднань авіаційних двигунів [40].

Жуков В. Б. вперше запропонував методику визначення відношення $M_{заг}/M_{від}$. Його метод включав розрахунок певного моменту загвинчування за допомогою формули (2.20). Застосовуючи цей момент при затягуванні різьбового сполучення, він проводив вимір моменту відгвинчування під час наступного

розкручування різьбового з'єднання. Визначення відбувалося шляхом співставлення отриманих моментів.

Жуковим В. Б. була запропонована спрощена формула для розрахунку моменту загвинчування [40]:

$$M_{\text{заг}} = 0.2 \cdot F \cdot d \quad (2.20)$$

Недоліком даної методики визначення відношення $M_{\text{заг}}/M_{\text{від}}$ є те, що значення моменту відгвинчування може коливатися в залежності від швидкості обертання ключа під час загвинчування. Це пояснюється тим, що швидкість обертання впливає на збільшення сили затягування: чим вища швидкість, тим більше збільшення сили затягування при тому самому значенні моменту загвинчування і навпаки.

Крім того, при вимірі моменту відгвинчування враховуються коефіцієнти тертя у спокої, тоді як при вимірі моменту загвинчування враховуються коефіцієнти тертя при ковзанні. Відомо, що значення коефіцієнта тертя у спокої завжди більше, ніж коефіцієнти тертя при ковзанні, що може призводити до інакших значень моменту під час відкручуванні гайки. Цей аспект підтверджується іншими науковими дослідженнями. Якщо ці фактори не враховувати, то відношення $M_{\text{заг}}/M_{\text{від}}$ може бути встановлено з певною неточністю, і необхідний момент затягування розраховується з певною похибкою. Точність забезпечення сили затягування таким методом, згідно з роботами [15, 16], складає приблизно +10%. Для досягнення точності забезпечення сили затягування з плюс-мінус 10%, необхідно враховувати навіть соті частки від розподілу моментів [15, 16].

З метою отримання більш точного визначення відношення $M_{\text{заг}}/M_{\text{від}}$, запропоновано використовувати технологічний прийом (рис. 2.5). Цей прийом передбачає попереднє навантаження різьбового з'єднання 1, нанесення маркування положення гайки (головки болта) щодо корпусу деталі 2, вимір моменту загвинчування 3, повернення гайки в визначене положення 4, вимір моменту відгвинчування 5. Навантаження проводиться затягуванням різьбового

сполучення до величини, рекомендованої технічними умовами для збирання вузла.

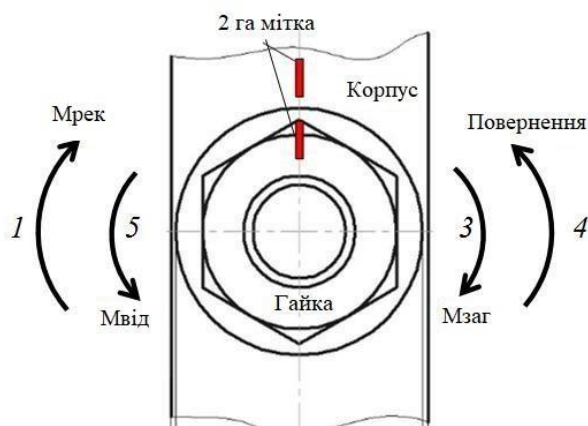


Рисунок 2.5 – Схема вимірювання моментів закручування й відкручування

Отже, перед проведенням вимірів моментів необхідно виконати затягування (навантаження) різьбового сполучення. Під час цього створюється певна сила затягування, а також розподіл контактних тисків. На корпусі деталі наноситься розмітка, щоб позначити положення гайки. Після цього динамометричним ключем вимірюється момент закручування при "рушанні гайки з місця". Гайка повертається в позначене положення, і також вимірюється момент відкручування при "рушанні гайки з місця". Отримані значення моментів порівнюються.

Цей технологічний прийом дозволяє уникнути недоліків, які були визначені в методиці визначення відношення $M_{заг}/M_{від}$, запропонованій Жуковим В. Б.

При використанні даного методу контролю сили затягування важливо використовувати динамометричні ключі, які здатні точно вимірювати значення моментів до сотих часток.

Також слід відзначити, що застосування виразу для визначення моменту затягування для відповідних різьбових з'єднань ремонтіваних вузлів згідно з залежністю (2.20) є неприпустимим. Це обумовлено тим, що при отриманні цієї залежності передбачалося, що коефіцієнти тертя на опорній поверхні гайки та в різьбленні однакові за величиною, а середній діаметр різьблення дорівнює зовнішньому діаметру. У реальності ж коефіцієнти тертя неоднакові, і, як

правило, коефіцієнти тертя в різьбленні більше, ніж на опорному торці гайки. Більше того, у різьбового сполучення, яке має певний наробіток, фактичні значення коефіцієнтів тертя не відповідають табличним.

Враховуючи ці особливості, виразивши з формули (2.19) силу затягування, отримаємо:

$$F = \frac{\pi \cdot M_{\text{заг}} \cdot \left(1 - \frac{M_{\text{від}}}{M_{\text{заг}}}\right)}{P} \quad (2.21)$$

Отже, згідно з формулою (2.21), можна визначити силу затягування при певному моменті, враховуючи крок різьби та відношення моментів відгвинчування та загвинчування.

В аналізі проведених досліджень [15, 16, 40 та інші], було виявлено, що технічні умови на складання вузлів сільськогосподарської техніки не надають (розрахункову) величину сили затягування для різьбових сполучень. Отже, величину сили затягування F не вказують у технічних умовах на складання вузлів сільськогосподарської техніки, а визначити її у ремонтних умовах є завданням неможливим.

У ході вивчення практики назначення сили затягування для різьбових сполучень ми розробили функціональну залежність (2.22), яка дозволяє обчислити момент затягування, враховуючи умову збереження щільності стику деталей або міцності болта. У цьому виразі не враховані величина затягування та коефіцієнти тертя різьбових поверхонь, але вони впливають на результат, враховуючи їх у неявному вигляді.

При прикладанні зовнішньої сили до різьбового сполучення в осьовому напрямку, виходячи з умови збереження щільності стику деталей, величина необхідного моменту затягування визначається за формулою:

$$M_{\text{заг}} = \frac{0.25 \cdot d_1^2 \cdot K \cdot \sigma_T \cdot P}{\left(1 - \frac{M_{\text{від}}}{M_{\text{заг}}}\right)} = \frac{0.25 \cdot (d - 1.0825 \cdot P)^2 \cdot K \cdot \sigma_T \cdot P}{\left(1 - \frac{M_{\text{від}}}{M_{\text{заг}}}\right)} \quad (2.22)$$

де d - внутрішній діаметр різьби болта (шпильки), м;

K - коефіцієнт, що залежить від матеріалу болта: легована сталь (0.5... 0.6), вуглецева сталь (0.6... 0.7);

d - зовнішній діаметр різьби болта (шпильки), м.

Внутрішній діаметр метричної трикутної різьби дорівнює [29]:

$$d_1 = d - 1.0825 \cdot P \quad (2.23)$$

Отримана формула (2.22) відкриває нові перспективи у вигляді розробки методики збирання різьбових з'єднань при ремонті вузлів машин, оскільки всі складові цієї формули можуть бути визначені в умовах ремонтного виробництва.

Процедура затягування групового різьбового сполучення виглядає наступним чином:

1. Болти (гайки) вкручуються до того моменту, коли вони зіткнуться з опорною поверхнею.
2. Застосовуючи динамометричний ключ, здійснюється поетапне затягування різьбових з'єднань відповідно до значень моментів та рекомендаціями технічних умов на складання.
3. Затягування усіх різьбових з'єднань проводиться рівномірно та плавно, з однаковою швидкістю обертання ключа, уникайте різких "ривків".

Ця методика дозволяє ефективно та точно збирати різьбові з'єднання під час робіт по технічному сервісу, забезпечуючи необхідний момент затягування для кожного елемента.

Висновки по розділу 2

Представлені теоретичні підстави для контролю сили затягування різьбових з'єднань через відношення моментів відгвинчування й загвинчування піддані аналізу. Здійснений докладний розгляд силового взаємовідношення в різьбових сполученнях під час загвинчування й відгвинчування, а також проведені розрахунки сили затягування для різьбових з'єднань.

Теоретично обґрунтовано метод контролю сили затягування різьбових з'єднань через відношення моментів відгвинчування й загвинчування. Результатом є нові функціональні залежності для визначення необхідного моменту затягування, враховуючи умови збереження щільності стику деталей та міцності болта, без врахування впливу сили і коефіцієнтів тертя.

На підставі проведених наукових досліджень розроблена ефективна методика складання різьбових з'єднань, основана на контролі сили затягування за допомогою відношення моментів відгвинчування й загвинчування.

3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Аналіз дефектів різьбових з'єднань

Як було зазначено раніше, різьбові з'єднання є невід'ємною частиною всіх машинних конструкцій, але вони також стають основним джерелом проблем при експлуатації. Знищення різьбових сполучень може виникати поступово або раптово. Серед основних причин виходу різьбових з'єднань з ладу виділяється неправильне їх складання чи розбирання.

Часто слюсарі, монтуючи чи розбираючи вузол, не керуються рекомендаціями належного складання. Внаслідок цього різьбові сполучення можуть бути затягнуті з надмірним напругом, що призводить до їх перетягування. З іншого боку, недбале встановлення може призвести до недотягування з'єднань, що в свою чергу сприяє поломці.

Нижче перераховані основні дефекти різьбових з'єднань, які виникають внаслідок неправильного монтажу чи демонтажу:

1. Перетягування різьбових сполучень. Викликається затягуванням з'єднань з надмірними зусиллями при складанні, що може призвести до пошкоджень.

2. Недотягування з'єднань. Виникає, коли різьбові сполучення не затягуються належним чином, що призводить до ненадійності з'єднань та їх поломок.

3. Викручування різьби. Може виникнути при спробі відкрутити з'єднання, яке було перетягнуте або встановлене занадто жорстко.

Враховуючи ці аспекти та дотримуючись рекомендацій щодо правильного монтажу та розбирання, можна уникнути численних проблем, пов'язаних з різьбовими з'єднаннями.



Рисунок 3.1 – Руйнування шатунного болта внаслідок виникнення мікротріщини, яка в свою чергу виникла із-за перетягування з'єднання

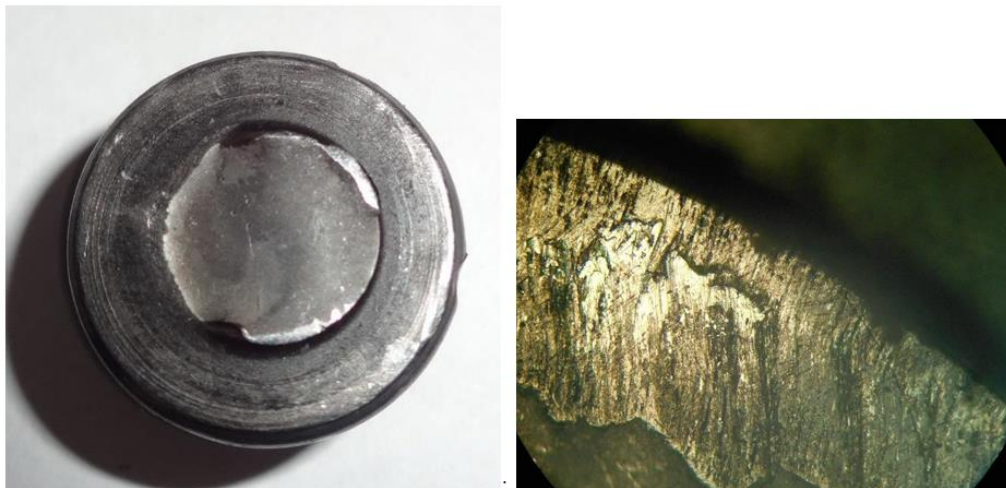


Рисунок 3.2 – Відламана головка шатунного болта та зона початку розвитку мікротріщини



Рисунок 3.3 – Знос різьби болта кріплення колеса внаслідок недотягування



Рисунок 3.4 – Злам шпильки



Рисунок 3.5 – Стан болтових з'єднань

3.2 Вибір технічних засобів, інструментів і матеріалів для проведення експериментальних досліджень

У проведенні експериментів використовувалися наступні засоби, інструменти та матеріали: тарований динамометричний ключ із важелем довжиною 600 мм та ціною розподілу індикаторної головки 0.001 мм; лабораторна установка для тестування різбових сполучень ДМ-27 із ціною поділки індикаторної головки динамометричної пружини 0.001 мм; різемір; моторне масло Aral HighTronic SAE 5W-40; розчин WD-40; молибденове мастило SONAX MoS2 Oil; технічний спирт; азотна кислота; дистильована вода; ватман формату А2; копіювальний папір.

3.3 Методика дослідження впливу стану різбового з'єднання на точність контролю сили затягування по моменту

Коефіцієнт тертя в різьбі визначається на спеціальній установці (зображено на рис. 3.6), заснованій на вимірюваннях моменту затягування гайки та осьової сили на болту. Для вимірювання крутного моменту використовується динамометричний ключ. Вимірювальний блок (індикатор та пружина 2), приєднаний до корпусу 1 гвинтами 10, виготовлений у формі пружини, що дозволяє визначити силу на болту через його деформацію. Переміщення вимірюється за допомогою годинникового типу індикатора.

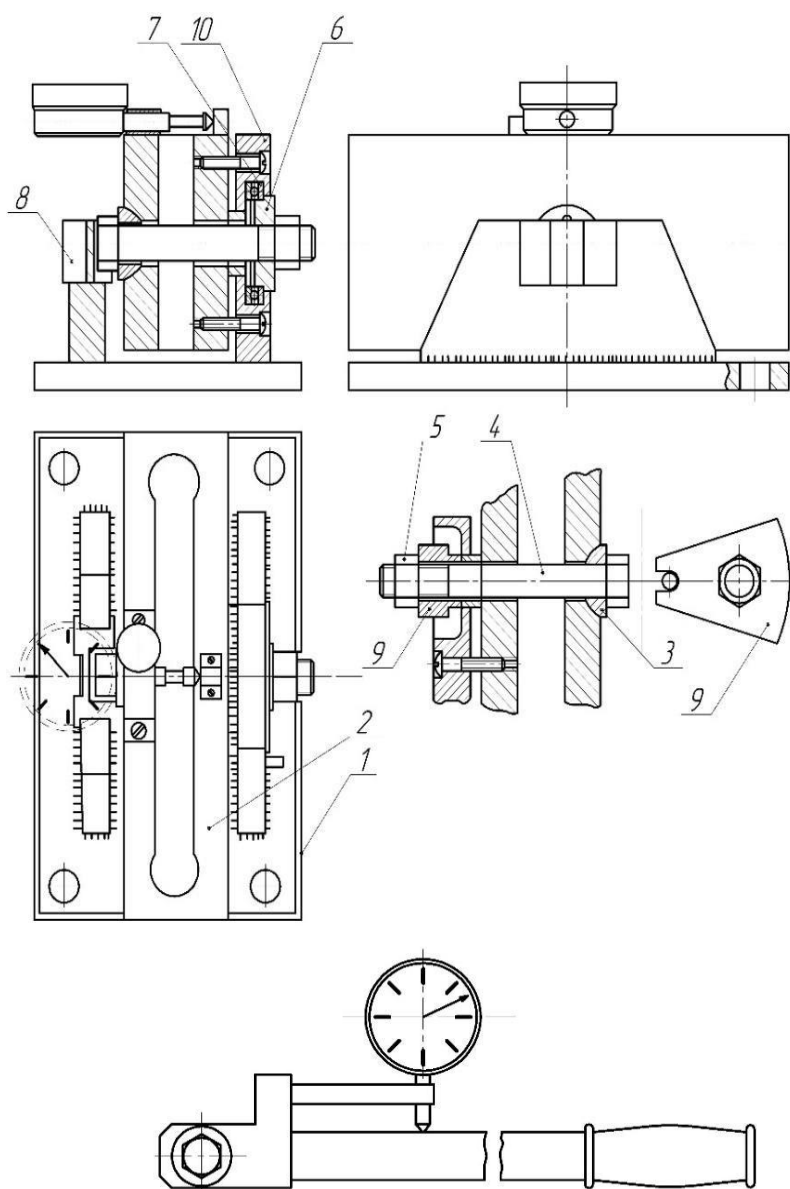


Рисунок 3.6 – Схема установки ДМ-27: 1 – корпус; 2 - динамометрична пружина; 3 - сферична шайба; 4 - досліджуваний болт; 5 – гайка; 6 – втулка; 7 - упорний підшипник; 8 - змінний сухар; 9 – обмежувач; 10 - кріпильні гвинти.

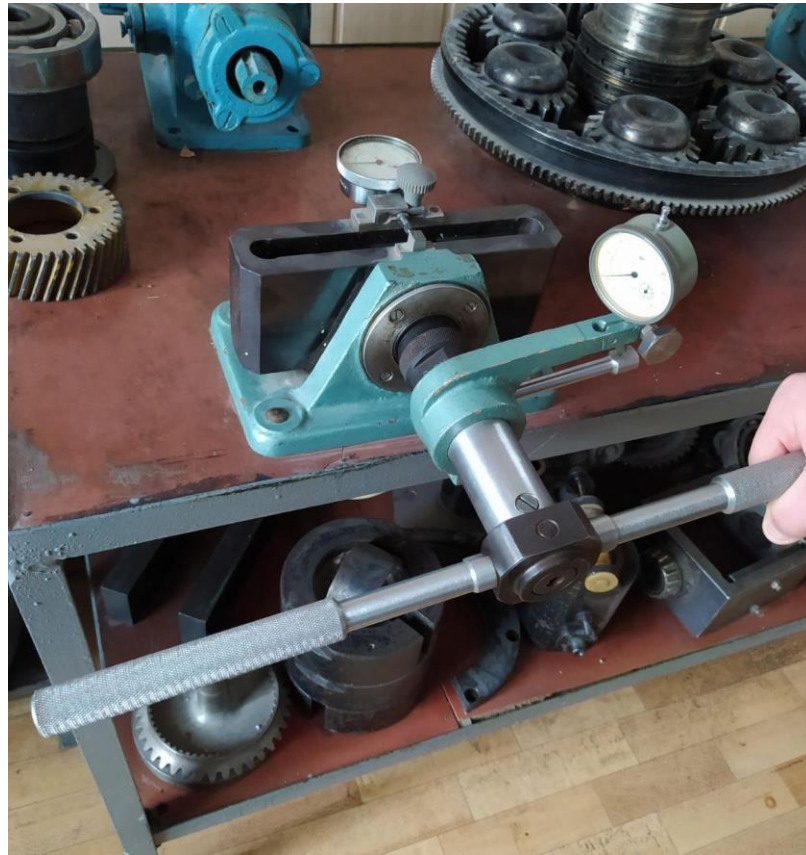


Рисунок 3.7 – Установка ДМ–27 в роботі

Для уникнення впливу сили тертя на торці гайки використовується кульковий підшипник кочення 7. Під час вимірювання коефіцієнта тертя на торці гайки проводяться вимірювання без застосування підшипника. Під час закручування гайки різбового з'єднання за допомогою ключа передається крутний момент $T_{заг}$, який перевищує момент у різьбі T_p і на торці гайки T_m .

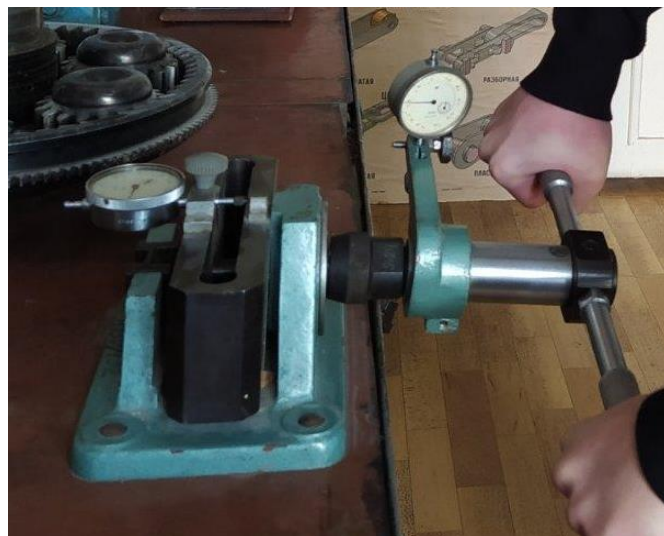


Рисунок 3.8 – Вимірювання зусилля затягування

На рисунку 3.9 і 3.10 наведені графіки тарувальних характеристик динамометричного ключа та пружини.

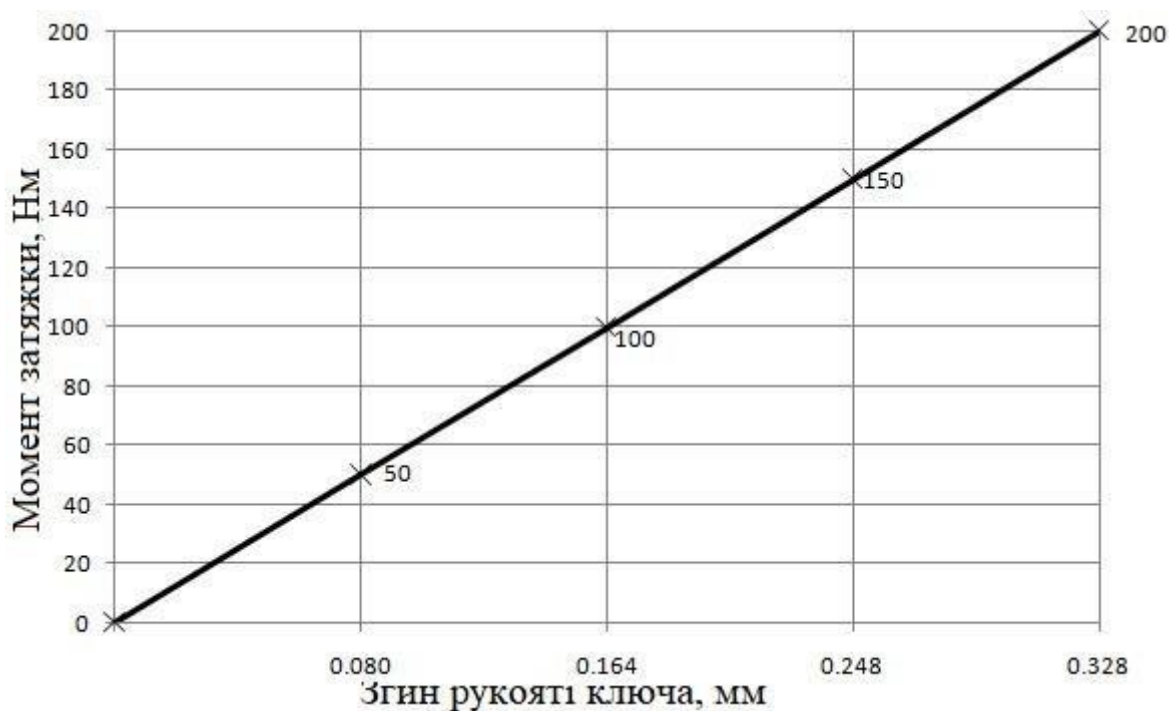


Рисунок 3.9 – Тарувальна характеристика динамометричного ключа



Рисунок 3.10 – Тарувальна характеристика динамометричної пружини

Під час цього експерименту були піддані випробуванням болти з різьбою М12х1.75 (покриття оксидне). В ході проведення досліджень здійснювались

виміри сили затягування при різних станах різьбової пари. Зміна стану різьбової пари відбувалася шляхом її корудування в розчині азотної кислоти, а також застосуванням різних мастильних матеріалів.

Після обробки різьбової пари розчином азотної кислоти процес корудування відбувався у затягнутому стані. Для стягування використовувалась втулка (рис. 3.11). Після цього різьбова пара розбиралася, різьба очищувалась металевією щіткою. Ступінь корудування можна було візуально оцінити за рисунком 3.12.



Рисунок 3.11 – Різьбова пара в процесі корудування



Рисунок 3.12 – Різьбова пара після корудування

Перед обробкою різьбової пари залишки попереднього мастильного матеріалу видалялися шляхом промивання в технічному спирті.

Під час кожного етапу дослідження різьбова пара затягувалася до однакового значення моменту затягування, при цьому використовувалася

однакова, по можливості, швидкість обертання ключа, і реєструвалися значення сили затягування.

Були вивчені наступні стани різьбової пари: 1 - нова різьбова пара без використання мастильних матеріалів; 2 - нова різьбова пара змазана моторним маслом; 3 - нова різьбова пара оброблена молібденовим змащенням; 4 - різьбова пара після корудування оброблена розчином WD-40; 5 - різьбова пара після корудування змазана моторним маслом; 6 - різьбова пара після корудування оброблена молібденовим мастилом.

Під час кожного етапу визначалося відношення моментів $M_{від}/M_{заг}$ для подальшого аналізу

3.4. Методика оцінки точності забезпечення зусилля затягування під час контролю через відношення моментів відгвинчування й загвинчування

Оцінку точності забезпечення сили затягування при контролі через відношення $M_{від}/M_{заг}$ робили за допомогою лабораторної установки для випробування різьбових сполучень ДМ 27 і динамометричного ключа (рис. 3.6). При експерименті використовували різьбову пару М12х1,75, покриття оксидне.

Алгоритм експерименту:

- «навантаження» різьбової пари до 15 кН;
- розмітка положення гайки;
- замір моменту $M_{заг}$ при «рушанні гайки з місця», реєстрація значення;
- повернення гайки в розмічене положення;
- замір моменту $M_{від}$ при «рушанні гайки з місця», реєстрація значення;
- визначення середнього значення відношення $M_{від}/M_{заг}$.
- обчислення необхідного моменту затягування по залежності (2.19);
- затягування різьбового сполучення до величини обчисленого моменту

й реєстрація величини створеної сили затягування (5 раз).

Виміри моментів $M_{від}$, $M_{заг}$ при «рушанні гайки з місця» виконували по 3 рази. Методами обробки експериментальних даних [2] оцінювали точність забезпечення сили затягування при контролі через відношення моментів

відгвинчування й загвинчування.

3.5 Методика дослідження рівномірності затягування різьбових з'єднань під час технічного сервісу вузла

Дослідження рівномірності затягування різьбового з'єднання ремонтovanого вузла (агрегату), зокрема кріплення головки блоку циліндрів двигуна, проводилося з використанням розробленої технологічної процедури, що базується на вимірюванні моментів загвинчування й відгвинчування для кожного різьбового з'єднання. Двигун з двома головками, кріпленими 17-ма болтами M12×1.75 (покриття оксидне, клас міцності 10.9, границя текучості 900 МПа), був обраний як об'єкт експерименту з напрацюванням 252 тис. км.

Алгоритм визначення відношення $M_{від}/M_{заг}$ у різьбовому з'єднанні включав наступні кроки:

1. Розбирання різьбового з'єднання.
2. Промивання різьбових сполучень розчином WD-40.
3. Дефектовка різьбових поверхонь, включаючи візуальний огляд на наявність деформації або обриву витків різьби.
4. Змащення різьбових з'єднань моторним маслом.
5. Нагвинчування болтів до зіткнення з опорною поверхнею.
6. Поетапне затягування болтів до величини рекомендованого моменту (80 Нм) за рекомендованою послідовністю.
7. Нанесення розмітки положень головок болтів щодо корпусу головки блока циліндрів за допомогою маркера.
8. Замір моменту загвинчування при «рушанні болта з місця» на кожному різьбовому з'єднанні та реєстрація вимірних значень.
9. Повернення болтів у розмічені положення.
10. Замір моменту відгвинчування при «рушанні болта з місця» на кожному різьбовому сполученні та реєстрація вимірних значень.
11. Обробка даних і визначення співвідношення моментів $M_{від}/M_{заг}$.

Перед промиванням на різьбових поверхнях болтів головки виявлено сліди корозії та абразивних часток. У болтах, що розташовані всередині вузла, спостерігалася залишкова масляна плівка та абразивні частки. Виміри моментів відгвинчування й загвинчування виконувалися по тричі для кожної різьбової пари, а середні значення використовувалися для подальшого аналізу.



Рисунок 3.13 – Розмітка болтів ГБЦ

На підставі отриманих даних за залежністю (2.21) проводили визначення сил затягування при рекомендованому моменті 80 Нм і стежили за їхнім розкидом у різьбових з'єднаннях.

За допомогою методу контактних відбитків проводилася оцінка якості прилягання привалочних поверхонь головки блока циліндрів (ГБЦ) і блоку двигуна під час затягування різьбових з'єднань із рекомендованим технічним моментом (80 Нм), а також при складанні різьбових з'єднань за розробленою методикою (з контролем сили затягування через відношення моментів відгвинчування й загвинчування). Для цього вирізані за формою прокладки ГБЦ ватман і копіювальний папір розташовувалися на привалочній поверхні блока циліндрів під прокладкою (див. рис. 3.14). Потім головка акуратно встановлювалася на блок двигуна.

У першому випадку різьбові з'єднання головки затягувалися до рекомендованого моменту 80 Нм. У другому випадку затягування різьбових з'єднань головки виконувалося за розробленою методикою. Після демонтажу головки виймали ватман і, враховуючи інтенсивність фарбування поверхні відбитка, аналізували розподіл контактних тисків (сил затягування в болтах) та якість прилягання привалочних поверхонь. Відхилення від площинності

привалочних поверхонь залишалися в межах допустимих норм і не перевищували 0.15 мм на всій довжині поверхні та 0.05 мм на довжині 100 мм [31].



Рисунок 3.14 – Знімання контактних відбитків



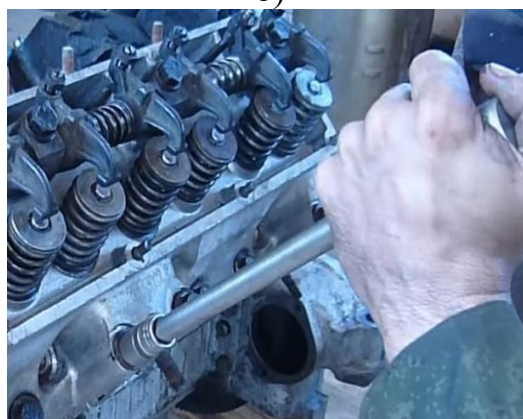
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.15 – Нанесення на болти моторної оливи та їх встановлення

Висновки до розділу 3

Розроблена унікальна методика експериментального дослідження впливу стану різьбового з'єднання на точність контролю сили затягування за моментом. Вивчено методи оцінки точності забезпечення зусилля затягування через відношення моментів відгвинчування та загвинчування. Також розроблено методику дослідження рівномірності затягування різьбових з'єднань і оцінки якості прилягання привалочних поверхонь ремонтovanого вузла.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Результати дослідження впливу стану різьбового з'єднання на точність затяжки за моментом

Під час експериментального дослідження взаємозв'язку між силою затягування та моментом в різних станах різьбової пари були використані методи математичного планування експерименту [2]. Залежність між силою затягування (позначеною як Y) та моментом затягування (позначеним як X) була обрана як результативна змінна.

Для аналізу отриманих даних був застосований кореляційний і регресійний аналіз [2]. Кореляційний аналіз використовувався для визначення характеру та ступеня зв'язку між величинами X та Y . Регресійний аналіз служив для встановлення рівняння регресії, яке дозволяє прогнозувати значення результативної змінної Y при відомій факторній змінній X .

Згідно з вимогами [2, 23], мінімальна кількість проведених вимірів для кожного стану різьбової пари становила 5 разів:

$$t_{a,n}^2 \cdot \left(\frac{S_x}{\Delta x}\right)^2 \leq n \quad (4.1)$$

де $t_{a,n}^2 = 2.015$ – коефіцієнт Стьюдента при числі вимірів n і рівні значимості $a = 0.05$ [30];

S_x – середньоквадратичне відхилення вимірюваної величини;

Δx - довірчий інтервал при $\Delta x = S_x$ при $a = 0.05$ [30].

Верхній рівень інтервалу варіювання фактора обмежений вимірювальною можливістю використовуваного устаткування.

У таблиці 4.1 наведені результати замірів зусилля затягування досліджуваної різьбової пари M12x1.75.

Таблиця 4.1 – Результати випробувань різьбової пари M12x1.75

X , Нм	Значення Y при різному стані різьбової пари, Н					
	1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7
6	2446	2905	2966	1835	2140	2232

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7
12	5260	5810	5871	4189	4678	4831
24	10795	11315	11988	8073	9357	9755
36	15810	17003	17615	12446	13761	14495
48	21620	22996	23608	17125	18715	19082
$M_{від}/M_{заг}$	0.75	0.73	0.72	0.80	0.78	0.77

З таблиці 4.1 випливає, що сили затягування значно відрізняються в залежності від стану різьбової пари при однаковому моменті. Різниця між максимальною (стан 3) та мінімальною (стан 4) силами затягування складає 6.5 кН, що дорівнює 27% від максимального значення. Порівняно сили затягування при станах 3 і 6 показує, що внаслідок процесу корозії при тому самому моменті та типі мастильного матеріалу сила затягування у середньому зменшилась на 23%. Спостерігається, що застосування мастильного матеріалу призводить до зменшення відношення $M_{від}/M_{заг}$, що свідчить про тенденцію цього відношення до одиниці зі збільшенням коефіцієнтів тертя в різьбовому з'єднанні.

На рис. 4.1 представлений графік експериментальних і теоретичних залежностей $F = f(M_{заг})$, для 6-ти станів різьбової пари М12 х 1.75.

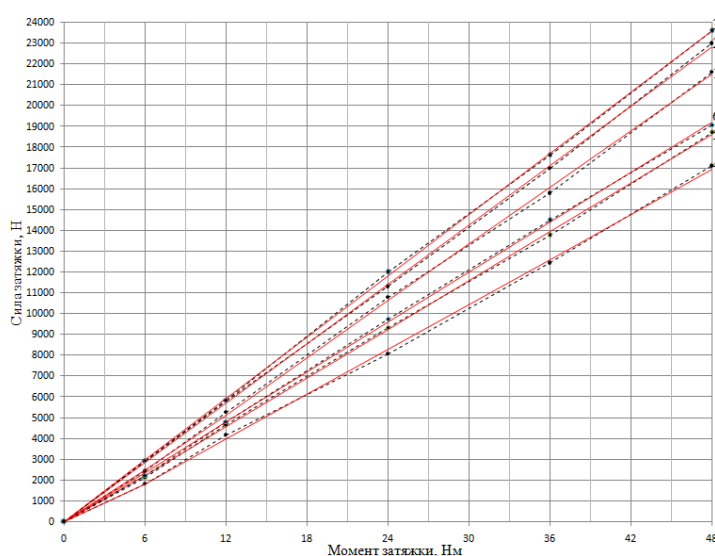


Рисунок 4.1 – Графік експериментальних (штрихові лінії) і теоретичних (суцільні лінії) залежностей $F = f(M_{заг})$, для 6-ти станів різьбової пари М12х1.75

4.2 Результати дослідження рівномірності затягування різьбових з'єднань вузла пвд час технічного сервісу

Дослідження вказують на те, що відхилення значень відношення $M_{від}/M_{заг}$ для 34 болтів двох голов блоків циліндрів знаходилося в діапазоні від 0.7 до 0.83. Це свідчить про різноманітність станів різьбових з'єднань у цих різьбових парах, що, у свою чергу, є причиною нерівномірного затягування. З цього можна зробити висновок, що при затягуванні головок циліндрів даного двигуна із рекомендованим моментом 80 Нм розкид сил затягування перебував в інтервалі від 24 до 43 кН.

Результати вимірів моментів, середні значення відношення $M_{від}/M_{заг}$ і сил затягування F представлені в таблицях 4.4 і 4.5. Згідно з умовою забезпечення міцності болта, необхідна сила затягування для болтів даної групи становить 36075 Н. Аналіз таблиць 4.4 і 4.5 показує, що при затягуванні різьбових з'єднань із рекомендованим технічним моментом, різьбові пари з меншими значеннями відношення $M_{від}/M_{заг}$ виявляються перетягнутими, тоді як ті, у яких це відношення більше, виявляються недотягнутими.

Таблиця 4.2 – Значення зусилля затягування за умовою міцності болта

Клас міцності	5.8	6.8	8.8	10.9	12.9	
Межа текучості, МПа	400	480	640	900	1080	
Крок різьби 1.5 мм						
Діаметр різьби, мм	M10	<u>11015</u>	<u>13218</u>	<u>17624</u>	<u>24784</u>	<u>29741</u>
		13218	15862	21149	29741	35689
	M12	<u>16903</u>	<u>20284</u>	<u>27046</u>	<u>38033</u>	<u>45639</u>
		20284	24341	32455	45639	54767
	M14	<u>24048</u>	<u>28857</u>	<u>38476</u>	<u>54107</u>	<u>64929</u>
		28857	34629	46172	64929	77915
	M16	<u>32448</u>	<u>38938</u>	<u>51917</u>	<u>73008</u>	<u>87610</u>
		38938	46725	62300	87610	105132
	M18	<u>42104</u>	<u>50525</u>	<u>67367</u>	<u>94735</u>	<u>113682</u>
		50525	60630	80840	113682	136418

Продовження таблиці 4.2

Крок різьби, 1.75 мм						
Діаметр різьби, мм	M10	10315	12378	16504	23209	27850
		12378	14854	19805	27850	33420
	M12	16033	19240	25653	36075	43290
		19240	23088	30784	43290	51948
	M14	23008	27609	36812	51794	62120
		27609	33131	44174	62120	74544
	M16	31238	37485	49981	70285	84342
		37485	44982	59977	84342	101211
	M18	40724	48869	65159	91629	109955
		48869	58643	78190	109955	131946
Крок різьби 2 мм						
Діаметр різьби, мм	M10	9638	11565	15420	21685	26022
		11565	13878	18504	26022	31226
	M12	15186	18223	24298	34168	41002
		18223	21868	29157	41002	49203
	M14	21990	26388	35185	49478	59374
		26388	31666	42221	59374	71249
	M16	30051	36061	48081	67614	81137
		36061	43273	57697	81137	97364
	M18	39367	47240	62987	88576	106291
		47240	56688	75585	106291	127549
Чисельник – легована сталь Знаменник – вуглецева сталь						
Механічні властивості болтів (шпильок) згідно ДСТУ 52627-2006						

Зробивши дослідно-статистичну обробку експериментальних даних [30], для оцінки характеру розподілу величини $M_{від}/M_{заг}$, зведемо результати вимірів у статистичний ряд (таблиця 4.3).

Таблиця 4.3 – Групування результатів вимірювань

Інтервал	0.68- 0.709	0.71- 0.739	0.74- 0.769	0.77- 0.799	0.8- 0.829	0.83- 0.859
Частота влучання	1	8	12	8	4	I
Ймовірність влучання	0.03	0.23	0.36	0.23	0.12	0.03
Частка влучання, %	3	23	36	23	12	3
Середнє значення вибірки	0.703	0.727	0.751	0.784	0.804	0.831

Таблиця 4.4 – Результати замірів моментів затягування першої головки

№	Замір 1		Замір 2		Замір 3		М _{заг} , Нм	М _{від} , Нм	М _{від} / М _{заг}	F, Н
	М _{заг} , Нм	М _{від} , Нм	М _{заг} , Нм	М _{від} , Нм	М _{заг} , Нм	М _{від} , Нм				
1	83.414	63.293	82.683	63.293	82.683	62.195	82.926	62.927	0.759	34593
2	81.951	62.195	81.951	62.195	80.487	60.732	81.463	61.707	0.757	34881
3	81.219	60.732	80.487	62.195	80.487	60.732	80.731	61.219	0.758	34737
4	82.683	64.756	80.487	62.927	82.683	64.390	81.951	64.024	0.781	31436
5	81.219	58.902	82.683	58.902	82.683	60.732	82.195	59.512	0.724	39618
6	82.683	59.634	81.219	60.000	81.219	59.634	81.707	59.756	0.731	38613
7	81.219	65.488	80.487	64.756	81.951	64.756	81.219	65.000	0.800	28708
8	81.219	58.902	81.951	60.000	82.683	60.732	81.951	59.878	0.731	38613
9	83.414	66.220	83.414	67.683	83.414	66.951	83.414	66.951	0.803	28277
10	82.683	64.390	81.951	66.951	82.683	64.390	82.439	65.244	0.791	30000
11	83.414	68.415	83.414	67.683	82.683	66.951	83.170	67.683	0.814	26699
12	82.683	66.951	81.951	64.756	82.683	66.220	82.439	65.956	0.800	28708
13	81.219	59.634	81.951	59.634	81.951	60.000	81.707	59.756	0.731	38613
14	81.219	60.732	81.219	60.732	81.951	60.732	81.463	60.732	0.746	36460
15	82.683	67.683	81.219	68.415	81.219	67.683	81.707	67.927	0.831	24259
16	81.951	64.390	81.219	63.659	81.951	64.390	81.707	64.146	0.785	30862
17	83.414	65.488	81.219	63.293	81.951	63.293	82.194	64.024	0.779	31723

Таблиця 4.5 – Результати замірів моментів затягування другої головки

№	Замір 1		Замір 2		Замір 3		М _{заг} , Нм	М _{від} , Нм	М _{від} / М _{заг}	F, Н
	М _{заг} , Нм	М _{від} , Нм	М _{заг} , Нм	М _{від} , Нм	М _{заг} , Нм	М _{від} , Нм				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	81.951	59.634	80.487	59.634	80.487	58.902	80.975	59.390	0.733	38326
2	82.683	61.463	82.683	62.195	82.683	62.195	82.683	61.951	0.749	36029
3	82.683	62.927	81.951	63.293	82.683	62.927	82.439	63.049	0.765	33732
4	81.219	60.000	81.951	60.732	81.219	60.000	81.463	60.244	0.742	37034
5	81.951	63.659	81.219	62.927	81.219	62.195	81.463	62.927	0.772	32727
6	81.219	60.000	80.487	60.366	81.951	60.732	81.219	60.366	0.743	36890
7	82.683	62.195	82.683	62.195	81.951	62.195	82.439	62.195	0.754	35311
8	81.951	58.171	81.219	59.634	81.951	59.634	81.707	59.146	0.724	39618
9	81.219	58.902	80.487	58.902	81.951	59.634	81.219	59.146	0.728	39043
10	80.487	59.634	80.487	60.000	80.487	60.000	80.487	59.878	0.744	36747

Продовження таблиці 4.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
11	81.219	64.390	82.683	64.756	81.951	63.659	81.951	64.268	0.784	31005
12	80.487	57.439	80.487	58.171	81.219	57.439	80.731	57.683	0.715	40909
13	81.219	56.707	80.487	56.707	81.219	57.439	80.975	56.951	0.703	42632
14	81.219	61.463	81.219	60.000	81.219	60.000	81.219	60.488	0.745	36603
15	82.683	65.488	81.951	65.488	82.683	64.756	82.439	65.244	0.791	30000
16	81.951	62.195	81.219	62.195	81.951	61.463	81.707	61.951	0.758	34737
17	81.951	64.756	80.487	64.390	82.683	64.390	81.707	64.512	0.789	30287

Під час експерименту виявлено, що для різьбової групи ГБЦ 1 (див. таблицю 4.4) різниця між максимальним і мінімальним значеннями сил затягування становила 15367 Н, що дорівнює 39% від максимального значення. У різьбовій групі ГБЦ 2 (див. таблицю 4.5) ця різниця склала 12638 Н (30% від максимального значення). Представимо ГБЦ 1 у вигляді прямокутної поверхні, на яку в 17 точках перпендикулярно діють сили, рівні силам затягування, а місця розташування точок на поверхні відповідають місцям розташування болтів ГБЦ. Згідно з даними таблиці 4.4 графік розподілу величини F на цій поверхні в тривимірному просторі матиме такий вигляд (рис. 4.2).

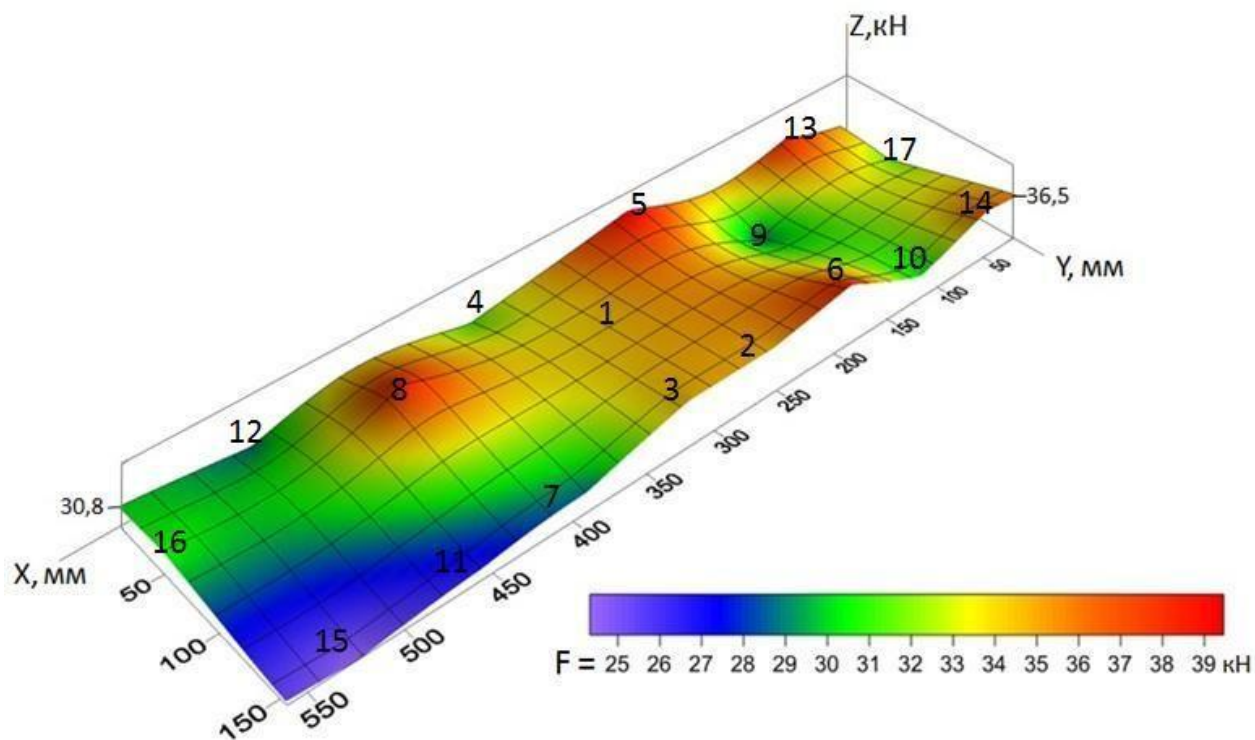


Рисунок 4.2 – Розподіл зусиль затягування болтів ГБЦ

Експериментальне дослідження якості прилягання привалочних поверхонь головки циліндрів 1 і блоку двигуна методом контактних відбитків підтверджує висновки про нерівномірність сил затягування в різьбових з'єднаннях при затягуванні однаковим моментом - 80 Нм. На рис. 4.3 представлені отримані відбитки головки циліндрів 1.

На рис. 4.3 а помітно, що в області різьбових з'єднань під номерами 7, 11, 12, 15 спостерігається менша інтенсивність фарбування. Це нерівномірне фарбування вказує на нерівномірність контактних тисків, що діють на головку циліндрів, і, відповідно, на нерівномірність сил затягування в різьбових з'єднаннях. З аналізу таблиці 4.2, тривимірного графіка (рис. 4.2) і відбитка (рис. 4.3 а) стає очевидним, що різьбові з'єднання (7, 9, 10, 11, 12, 15) при затягуванні із рекомендованим моментом 80 Нм виявилися недотягнутими. Значення відношення моментів $M_{від}/M_{заг}$ для цих різьбових з'єднань були близькі до одиниці, що свідчить про високий коефіцієнт тертя в цих різьбових парах і пояснює недостатню силу затягування. У той час, як різьбові з'єднання (8, 5, 6, 13) виявилися перетягнутими.

На рис. 4.3 б спостерігається більш рівномірне фарбування відбитка, що свідчить про більш рівномірний розподіл сил затягування в різьбових з'єднаннях при складанні за розробленою методикою (тобто із застосуванням контролю сили затягування через відношення моментів відгвинчування й загвинчування).

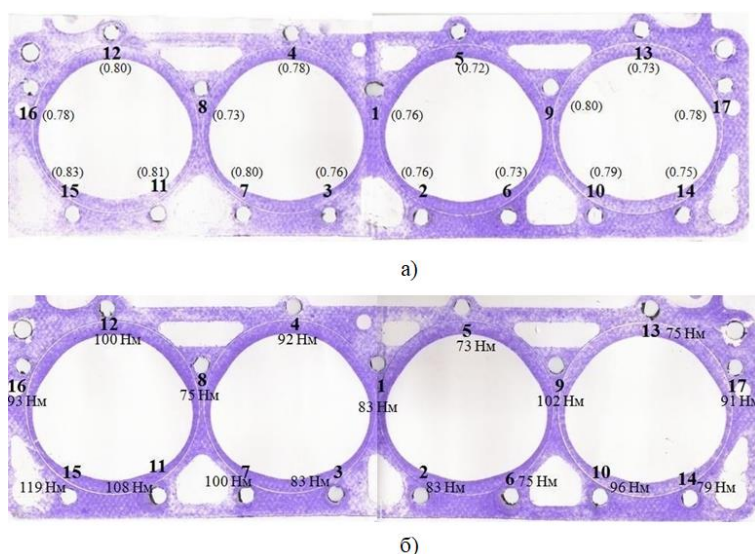


Рисунок 4.3 – Відбиток головки циліндрів 1: а – затяжка 80 Нм, в дужках значення відношення $M_{від}/M_{заг}$, б – затяжка по запропонованій методиці.

Висновки до розділу 4

Експериментально встановлено та оцінено вплив стану різьбового з'єднання на точність контролю сили затягування за моментом. При однаковому моменті виявлено різницю між створеними силами затягування, що склала 6.5 кН (27% від максимального значення). Під час корудування та використання того самого виду мастильного матеріалу сила затягування при однаковому моменті зменшилась на 23%.

Оцінка точності забезпечення сили затягування через відношення моментів відгвинчування та загвинчування показала, що точність затягування при такому контролі становить +5%.

Дослідження рівномірності затягування різьбових з'єднань ремонтowanego вузла, представленого кріпленням головки двигуна, вказало на розкид значень відношення $M_{від}/M_{заг}$ в інтервалі від 0.7 до 0.83. Це свідчить про нерівномірність сил затягування в межах від 24 до 43 кН при затягуванні різьбових з'єднань з рекомендованим моментом 80 Нм. Аналіз якості прилягання привалочних поверхонь також підтвердив рівномірний розподіл сил затягування при складанні різьбових з'єднань за розробленою методикою.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Ремонтне виробництво є особливо несприятливим з точки зору техніки безпеки, пожежної безпеки та виробничої санітарії. Це обумовлено тим, що автомобілі, які надходять в ремонт та технічне обслуговування можуть бути забруднені речовинами, шкідливими для здоров'я людини, горючими матеріалами, а пошкоджені деталі можуть бути причиною травмування. Специфікою ремонтного виробництва є також те, що робітники постійно працюють з різними об'єктами ремонту і виконують різні операції, їх робочі місця, як правило, не є постійними [7, 26].

Поліпшення умов праці є одним із резервів росту її продуктивності та екологічної ефективності виробництва, а також подальшого покращення соціального стану і здоров'я працівників.

Проблема поліпшення умов праці безпосередньо пов'язана з санітарно-побутовими умовами, режимом роботи і медичним обслуговуванням працівників, організацією відпочинку, харчування та інших факторів.

Збитків, яких сьогодні завдає виробничий травматизм і професійні захворювання на виробництві, можна позбавитись за рахунок розробки спеціальних заходів додержання вимог трудового законодавства, спеціальних нормативних та інших документів, а також впровадження в виробництво найновіших досягнень науки і передового досвіду з охорони праці.

5.1. Структурно-функціональний аналіз технологічних процесів складання та розбирання машин

Технологічний процес заміни вузлів і агрегатів включає наступні операції:

- миття і очищення деталей агрегатів і вузлів та кріпильних деталей;
- виконання допоміжних операцій для створення доступу до вузлів, що потребують заміни;
- готування і встановлення технологічного обладнання;
- виконання основних операцій заміни агрегатів і вузлів;
- контроль технічного стану агрегатів, вузлів та деталей;

- транспортування знятих вузлів деталей для їх заміни.

У процесі виконання вище перелічених операцій можуть виникати такі травмонебезпечні ситуації [7, 26]:

- під час миття, очищення деталей та зливання технологічних робочих матеріалів:

- розбризкування мийного розчину або технологічних матеріалів і попадання їх на обличчя, руки та інші відкриті ділянки тіла;
- загоряння мийного розчину на основі горючих матеріалів або технологічних рідин;

- забруднення робочого місця;

- під час виконання допоміжних операцій для створення доступу до агрегатів і вузлів, що потребують заміни:

- наявність на деталях відколи, зазубрин і стружки;
- падіння деталей і складальних одиниць;
- зіскакування ключів з граней гайок;

- підготовка і встановлення технологічного обладнання:

- намотування одягу на обертові деталі обладнання (силовий гвинт);
- затискання одягу або частин тіла елементами обладнання, падіння, перекидання обладнання;
- наїзд мобільним обладнанням на перешкоди, виконавців робіт або на інших присутніх осіб;

- виконання основних операцій заміни агрегатів і вузлів:

- наявність на деталях відколів, зазубрин і стружки;
- зіскакування ключів з граней гайок;
- падіння деталей і складальних одиниць;

- під час виконання основних операцій заміни агрегатів і вузлів:

- зіскакування ключів з граней гайок;
- наявність на деталях гострих кромки і відшарування металу;
- падіння деталей зі стола;

- під час контроль технічного стану агрегатів, вузлів та деталей:

- випадання з рук мірного інструменту та пристроїв для дефектування;
- неправильне використання інструментів та пристроїв;
- під час транспортування знятих вузів деталей для їх заміни:
- падіння деталей і складальних одиниць з обладнання;
- перекидання обладнання разом з транспортованими вузлами;
- наїзд мобільним обладнанням на виконавців робіт або на інших присутніх осіб;
- наїзд мобільним обладнанням на інше обладнання, автомобілі або їх складові частини;

Небезпечні умови операції (НУ):

- використання шкідливих для здоров'я мийних розчинів (НУ₁):
- використання легкозаймистих речовин (НУ₂):
- несправні інструменти (НУ₃):
- несправне обладнання (НУ₄):
- порушення вимог безпеки праці (НУ₅):

Небезпечні дії (НД):

- розбризкування мийного розчину, витікання технологічних рідин (НД₁):
- користування інструментом, що спричинює іскроутворення, значний нагрів або відкритого полум'я, паління цигарок (НД₂):
- та використання відкритого полум'я (НД₃):
- потрапляння горючих матеріалів на нагріті деталі:
- використання несправного обладнання (НД₅):

Небезпечна ситуація (НС):

- потрапляння агресивних речовин на шкіру та в очі (НС₁):
- займання горючих речовин (НС₂):
- зіскакування інструментів з деталей (НС₃):
- падіння деталей, інструментів обладнання або непередбачена траєкторія їх руху (НС₄):
- необачні або невмілі дії виконавця (НС₅)

На підставі співставлення небезпечних умов операцій (НУ), небезпечних дій (НД), та небезпечних ситуацій (НС) складаємо модель процесу [7, 26].

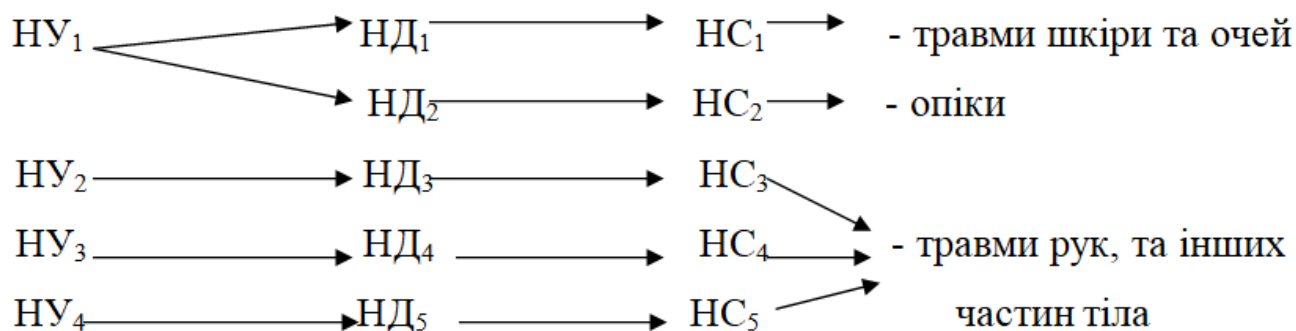


Рис. 5.1 Модель процесу

5.2. Вимоги безпеки до території, приміщень, обладнання і виробничих процесів ремонтних підрозділів

Територія ремонтних майстерень, виробничих, санітарно-побутових та інших приміщень повинна відповідати технологічному процесу ремонтного виробництва та вимогам санітарних норм проектування. Поверхня має бути вирівняна й спланована так, щоб забезпечити відведення стічних вод до водостоків від будівель, майданчиків, проїздів та пішохідних доріжок. Ширина дороги для руху техніки і пішохідних доріжок до майстерні, санітарно-побутових, допоміжних і інших приміщень при однобічному русі повинна бути на 1,8 м, а при двобічному - на 2,7 м більша за ширину сільськогосподарської машини. Ширина пішохідних доріжок має бути не менша 1,5 м.

Майданчики для зберігання автомобілів, тракторів, комбайнів та іншої сільськогосподарської техніки повинні бути рівними, з твердим покриттям (асфальт, бетон та ін.).

Виробничі процеси, які супроводжуються забрудненням робочої зони шкідливими речовинами (отруйні гази, пари, пил і т.д.), треба проводити в окремих приміщеннях, обладнаних вентиляцією.

Підлога в приміщеннях цехів повинна бути щільною, з твердим покриттям, зручним для очищення і ремонту. В приміщеннях, де користуються водою, підлогу влаштовують з похилом для стоку [10-12]. На оглядових ямах та естакадах треба встановлювати напрямні для коліс автомобілів, тракторів і

комбайнів, а також обладнувати з двох боків сходи для спуску в яму. На естакадах по всій довжині мають бути поручні висотою не менш як 1м.

Усі зовнішні входи та виходи, в'їзди у виробничі приміщення обладнують тамбурами для запобігання протягам і тепловим завісам.

Дахи та карнізи будівель у зимовий час треба регулярно очищати від снігу та льоду.

Проходи між стелажми, полицями, шафами у складських приміщеннях повинні бути шириною не менше 1м.

5.3.Розробка заходів щодо безпеки в надзвичайних ситуаціях

Захист цивільного населення у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій є одним з найважливіших завдань, яке покладається на службу з охорони праці на підприємстві.

Захист населення базується на дотриманні систем заходів, що забезпечують виконання організаційних, протиепідемічних та інших заходів у сфері запобігання і ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, сюди включають [24, 25, 29]:

- розробку наглядно-методичних та інформативних заходів
- планування та проведення навчально-практичних занять з питань надзвичайних ситуацій.
- ознайомлення всіх працюючих з функціональними обов'язками системи дій при надзвичайних ситуаціях
- ознайомлення всіх працюючих з системою оповіщення при надзвичайних ситуаціях на підприємстві.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Наведені теоретичні підстави для контролю сили затягування різьбових з'єднань через відношення моментів відгвинчування й загвинчування враховують аналіз силового співвідношення в різьбових сполученнях при виконанні операцій загвинчування й відгвинчування, а також проведені розрахунки для визначення сили затягування.

Контроль сили затягування різьбових з'єднань теоретично обґрунтовано через використання нових функціональних залежностей, які враховують умови збереження щільності стику деталей та міцності болта затягування, і враховують коефіцієнти тертя в явному виді, не враховуючи вплив силового фактору.

Методика складання різьбових з'єднань, розроблена на основі наукових досліджень, ґрунтується на контролі сили затягування через відношення моментів відгвинчування й загвинчування, що дозволяє оптимізувати процес складання та забезпечити необхідну силу затягування для забезпечення надійності різьбового з'єднання.

Розроблена методика експериментального аналізу впливу стану різьбового сполучення на точність контролю зусилля затягування за моментом. Розроблена також методика оцінки точності забезпечення сили затягування при використанні контролю через відношення моментів відгвинчування та загвинчування.

У проведеному дослідженні визначено та оцінено вплив стану різьбового сполучення на точність контролю сили затягування при однаковому моменті. Зафіксовано, що максимальна різниця між створеними силами затягування склала 6.5 кН, що представляє собою 27% від максимального значення. Під час процесу корозії за однакових умов, враховуючи той же вид мастильного матеріалу, сила затягування при тому ж моменті зменшилась на 23%.

Оцінка точності забезпечення сили затягування через відношення моментів відгвинчування та загвинчування, використовуючи розроблений технологічний прийом для виміру моментів, показала точність затягування на рівні +5%.

Дослідження рівномірності затягування різьбових з'єднань у ремонтваному вузлі (агрегаті), на конкретному прикладі кріплення головки

блока двигуна, продемонструвало розкид значень відношення моментів відгвинчування до загвинчування у діапазоні від 0.7 до 0.83. Це вказує на те, що при затягуванні різьбових з'єднань головки циліндрів даного двигуна з рекомендованим моментом 80 Нм, сили затягування знаходилися в інтервалі від 24 до 43 кН.

Експериментальна оцінка якості прилягання привалочних поверхонь головки блока двигуна за допомогою контактних відбитків підтвердила висновки щодо нерівномірності сил у різьбових з'єднаннях при затягуванні за рекомендованим моментом 80 Нм. Оцінка якості прилягання привалочних поверхонь також підтвердила більш рівномірний розподіл сил затягування при складанні різьбових з'єднань за розробленою методикою. Також в розділі проведений аналіз впливу шкідливих та небезпечних факторів на робочому місці, таких як шум та переміщення габаритних і важких деталей.

Розроблено заходи щодо поліпшення умов праці робітників, а також наведено рекомендації для робітників та населення з питань безпеки праці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автомобілі КрАЗ: 65055, 65055-02, 6130С4, 6230С4 – самоскиди; 65053, 65053-02 – шасі; 64431, 64431-02 - сідельні тягачі. Посібник з експлуатації. Кременчук, Холдингова Компанія "АвтоКрАЗ", 2009. 174 с.
2. Армашов Ю.В. Надійність сільськогосподарської техніки: навчальний посібник. Ю.В. Армашов, П.К. Охмат. Дніпропетровськ. РВВ ДДАУ, 2008. 208 с.
3. Вантажні автомобілі MAN L2000. Посібник з ремонту. СПб. Вид-во "Терція", 2006. 180 с.
4. Вантажні автомобілі MERCEDES-BENZ АТЕGO. Технічне обслуговування, посібник з ремонту, схеми електрообладнання. СПб. Вид-во "Дієз", 2010. 496 с.
5. Войтюк В. Д. Розробка методики забезпечення якості різьбових з'єднань зернових сівалок. В. Д. Войтюк, В. І. Рубльов, В. Г. Опалко. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК. 2015. Вип. 226. С. 168-177. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_tech_2015_226_21 (дата звернення: 20.08.2023р.)
6. Деталі машин: підручник. Дирда В.І., Овчаренко Ю.М., Рижков Є.І. та ін. Луганськ: Вид-во ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2010. 308 с.
7. Довідник з охорони праці в сільському господарстві: Запитання і відповіді. Лехман С.Д. Київ "Урожай", 1990. 399 с.
8. Михайлович Я. М. Нарізні з'єднання зернозбиральних комбайнів – об'єкт обслуговування. Я. М. Михайлович, А. М. Рубець. Пропозиція. 2006. № 8. С. 124–126.
9. Дорошенко О. В. Обґрунтування методів та параметрів діагностування паливних систем мобільних сільськогосподарських машин. О. В. Дорошенко, Є. В. Калганков. Zbiór artykułów naukowych z Konferencji Międzynarodowej Naukowo-Praktycznej "Nowy sposób rozwoju Inżynieria i Technologia" Sp. z o.o. «Diamond trading tour» Warszawa. 2017. С. 44–50.
10. ДСН 3.3.6.037-99 „Державні санітарні норми шуму, ультразвуку та інфразвуку”.

11. ДСН 3.3.6.039-99 "Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу".

12. ДСН 3.3.6.042-99 „Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень”.

13. Економіка ремонтного підприємства. В.К. Аветісян та ін.; За ред.. В.К. Аветісяна. Харків, ХНТУСГ, 2005. 389 с.

14. Жуков, В. Б. Дослідження щільності стиків різьбових з'єднань авіаційних двигунів: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 214 - двигуни літальних апаратів та їх технологія. В. Б. Жуков. Харків, 1970. 29 с.

15. І.Я. Кулинич, І.О. Ніщенко. Моделювання процесу взаємного орієнтування різьбових деталей. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. Львів: Держ. ун-т “Львівська політехніка”, 1995. Випуск 32. С.84-89.

16. І.Я. Кулинич, І.О. Ніщенко. Умови взаємного орієнтування різьбових деталей. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. Львів: Держ. ун-т “Львівська політехніка”, 2003. Випуск 37. С.28-32.

17. Костромський М. В. Сучасний стан технічного забезпечення аграрної сфери економіки України. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/>. (дата звернення: 02.09.2023)

18. Кулинич І. В. Технологічно-адаптивне забезпечення складання різьбових з'єднань машин: автореф. дис. на здобуття наук, ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.08 „Технологія машинобудування”. І. В. Кулинич. Тернопіль, 2005. 19 с.

19. Михайлович Я. М. Використання різьбових з'єднань зернозбиральних комбайнів. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: збірник наукових праць. Я. М. Михайлович, А. М. Рубець. Український науково-дослідний інститут

прогнозування та випробування техніки і технологій для сільського господарства імені Леоніда Погорілого. Дослідницьке, 2009. Вип. 13 (27). С. 301–310.

20. Лебеде́нко О.В. Методичні рекомендації з економічного обґрунтування дипломних проектів і робіт для студентів факультету механізації сільського господарства, (кафедра надійності і ремонту машин) за напрямом підготовки "Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва". Лебеде́нко О.В. Дніпропетровськ: ДДАУ, 2011. 16 с.

21. Матеріали Міністерства аграрної політики України. URL: <http://www.minagro.gov.ua>. (дата звернення 08.07.2023).

22. Метрична різьба. URL: <https://dinmark.com.ua/blog/metrychna-rizba>. (дата звернення 03.05.2023).

23. Надійність сільськогосподарської техніки. С.Г. Гранкін та ін. За ред. В.Ю. Черкуна. Київ: «Урожай», 1998. 208с.

24. НПАОП 0.00-7.11-12 "Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників".

25. НРБУ-97/Д-2000 Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення.

26. Охорона праці Навчальний посібник. Катренко Л.А., Кіт Ю.В., Пістун І.П., Суми 2009, 540 с.

27. Петраков Ю.В., Мельничук П.П. Автоматизація технологічних процесів у машинобудуванні засобами мікропроцесорної техніки: Навчальний посібник. Житомир: ЖІТІ, 2001. 194 с.

28. Практикум з ремонту машин. Технологія ремонту машин, обладнання та їх складових частин. Том 2. О.І. Сідашенко, та інші. За ред. О.І.Сідашенко, О.В. Тіхонова. Навчальний посібник. Харків: ТОВ «Пром-Арт», 2018. 491с.

29. Радіоактивне забруднення. URL: http://pidruchniki.com/10560412/bzhd/radioaktivne_zabrudnennya. (дата звернення 08.10.2023).

30. Ремонт автомобілів: Навчальний посібник. Упор. В.Я. Чабанний. Кіровоград: Кіровоградська районна друкарня, 2007. 720 с.

31. Ремонт машин та обладнання: Підручник. О.І. Сідашенко та ін.; за ред. проф. О.І.Сідашенка, О.А.Науменка. Київ: Агроосвіта, 2014. 665 с.

32. Ремонт машин. Дипломне проектування: навчально-методичний посібник. Кобець А.С., Дирда В.І., Сокол С.П та ін. Дніпропетровськ: Журфонд, 2016. 284 с.

33. Ремонт машин. Моделювання процесів розбирання і складання об'єктів ремонту. Методичні рекомендації до виконання розрахунково-графічних, курсових та дипломних робіт для студентів факультету механіки та енергетики спеціальностей 7.091902, 8.091902 "Механізація сільського господарства". Чухрай В.Є. Львівський нац. аграр. ун-т, 2008. 31 с.

34. Різьбове з'єднання. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki>. (дата звернення 08.07.2023)

35. Рубець А. М. Проблема технічного обслуговування різьбових з'єднань зернозбиральних комбайнів. А. М. Рубець. Техніка АПК. 2007. №10. С. 37–39.

36. Посібник з експлуатації автомобіля КрАЗ-6510. За ред. головного конструктора Д. Л. Ястребова. Харків. Вид-во: "Прапор", 1992. 167с.

37. Сідашенко О. І., Науменка О.А. Ремонт машин та обладнання Київ 2014, 665 с.

38. Технологія ремонту машин та обладнання. Курс лекцій. / Сідашенко О.І. та інші. Навч. посібник. Харків: ХНТУСГ, 2017. 361 с.

39. Трактори та автомобілі Частина 1 автотракторні двигуни. Київ 2000, 354.

40. Фелонюк В. В. Дослідження коефіцієнту тертя в різьбових з'єднаннях. В. В. Фелонюк. // Zbior artykułow naukowych. Konferencji Międzynarodowej Naukowo-Praktycznej " Inżynieria i technologia. Współczesne tendencje w nauce i edukacji " Paris: Sp. z o.o. "Diamond trading tour". 2020. №34. С. 40–45.

41. Черновол М.І. Надійність сільськогосподарської техніки. Кіровоград: Код, 2010. 320 с.

42. Чухрай В., Кулинич І. Обґрунтування умов наживлення різьбових деталей: Машинознавство, 2002. № 9. С.42–45.

43. Чухрай В., Левчук О., Рис В., Кордоба В. Механізоване розбирання і складання різьбових з'єднань. Методичні рекомендації до виконання практичної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти з дисципліни «Ремонт автомобілів». Дубляни, 2023. 11 с.

44. Чухрай В.Є. Визначення кількості можливих варіантів послідовностей виконання операцій розбирання об'єкта ремонту/Інженерія аграрного виробництва у вимірах бережливості. Колективна монографія. За ред. Д.Семковича, О.В.Сидорчука, І.М. Флиса, С.Й.Ковалишина. Львів: Львів. держагроуніверситет. 2006. С. 267-290.

45. Чухрай В.Є. Моделювання процесів розбирання і складання об'єктів ремонту/Ремонт машин/ Моделювання процесів розбирання і складання об'єктів ремонту. Методичні рекомендації до виконання розрахунково-графічних, курсових та дипломних робіт для студентів факультету механіки та енергетики спеціальностей 7.091902, 8.091902 “Механізація сільського господарства”. Чухрай В.Є. Львівський нац. аграр. ун-т, 2008. 31 с

46. Шарибура А., Левчук О., Рис В., Кордоба В. Дефектування головок блоку циліндрів ДВЗ. Методичні рекомендації до виконання практичної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти з дисципліни «Ремонт автомобілів». Дубляни, 2023. 20 с.

47. Iwan Kulinicz. Adaptacyjne urządzenia do montozu polanczen qwintowych // Technologia i automatyzacja montazu. Kwartalnik naukowo-techniczny. №4. 1997. С.21-23.