

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра надійності і ремонту машин

**П о я с н ю в а л ь н а   з а п и с к а**

до дипломної роботи  
освітнього ступеня "Магістр"  
на тему:

**ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ЗАТЯГУВАННЯ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ  
ПІД ЧАС ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ АГРЕГАТИВ МОБІЛЬНИХ  
МАШИН**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГМ-2-19  
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

\_\_\_\_\_ Фелонюк Владислав Валерійович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Колбасін Володимир Олександрович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

Дніпро 2020

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра: Надійності і ремонту машин

Освітній ступінь: "Магістр"

Спеціальність: 208 "Агроінженерія"

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

НРМ

(назва кафедри)

д.т.н. професор

(вчене звання)

Дирда В.І.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

„1” 10 2020 р.

**З А В Д А Н Н Я  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Фелонюку Владиславу Валерійовичу

1. Тема роботи: Підвищення точності затягування різьбових з'єднань під час технічного сервісу агрегатів мобільних машин

керівник роботи к.т.н. доцент Колбасін В.О.

затверджені наказом вищого навчального закладу від "08" жовтня 2020 року № 2556

2. Строк подання студентом роботи до 1.12.2020

3. Вихідні дані до роботи 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 парці в базовому підприємстві. Техніко-економічні показники роботи базового підприємства.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання та задачі досліджень. 2. Теоретичне обґрунтування сили затяжки. 3. Методика проведення експериментальних досліджень та їх результати 4. Охорона праці та захист у надзвичайних ситуаціях. 5. Техніко-економічні показники роботи. Загальні висновки та пропозиції. Список літератури. Додатки

№ п/п	формат	Позначення	Найменування	К-сть аркушів	Номер Арку ша	Примі тка
			<b>Текстові докумен- ти</b>			
	A4	49ДР.034 000. 000 ПЗ	Пояснювальна за- писка	91		
			<b>Демонстраційні матеріали</b>			
			Презентація в фор- маті <u>Microsoft PowerPoint</u>	14		

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота виконана на тему: Підвищення точності затягування різьбових з'єднань під час технічного сервісу агрегатів мобільних машин.

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

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 і розрахована техніко-економічна оцінка проектних рішень.

Дипломна робота включає в себе пояснювальну записку об'ємом 91 сторінка, а також 14 презентаційних листів виконаних у програмі Microsoft Power Point.

Ключові слова - НАДІЙНІСТЬ, РІЗЬБА, РІЗЬБОВЕ З'ЄДНАННЯ, ГРУПОВЕ РІЗЬБОВЕ СПОЛУЧЕННЯ, АВТОМОБІЛЬ, ТРАКТОР, ДОСЛІДЖЕННЯ, РОБОТОЗДАТНІСТЬ і т.д.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	10
1.1. Різьбові з'єднання. Загальні відомості.....	10
1.2. Коефіцієнти тертя в різьбових сполученнях.....	16
1.3. Аналіз причин і наслідків неточного (нерівномірного) затягування ГРС.....	19
1.4. Аналіз методів, способів і засобів контролю сили затяжки.....	23
1.5. Загальні висновки та задачі роботи.....	28
2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНТРОЛЮ СИЛИ ЗАТЯЖКИ.....	30
2.1.    Визначення коефіцієнту тертя в різь- бі.....	30
2.2. Теоретичне обґрунтування контролю сили затягування через відношення моментів відгвинчування й загвинчуван- ня.....	35
2.3.    Висновки по розді- лу.....	41
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МОМЕНТІВ ЗАТЯЖКИ ТА КОЕФІЦІЄНТУ ТЕРТЯ РІЗЬБОВОГО З'ЄДНАН- НЯ.....	43
3.1.    Аналіз дефектів різьбових з'єднань .....	43
3.2. Вибір технічних засобів, інструментів і матеріалів для проведення експериментальних досліджень.....	45
3.3. Методика дослідження впливу стану різьбового сполучення на точність контролю сили затягування по моменту.....	46
3.4. Методика оцінки точності забезпечення сили затягування при контролі через відношення моментів відгвинчування й загвинчуван- ня.....	52

3.5. Методика дослідження рівномірності затягування ГРС вузла, що ремонтується.....	53
3.6. Результати дослідження впливу стану різьбового сполучення на точність затяжки за моментом.....	57
3.7. Результати дослідження рівномірності затягування ГРС вузла, що ремонтується.....	59
3.8. Висновки.....	66
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	67
4.1. Загальні відомості про охорону праці на підприємстві.....	67
4.2. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів у відділенні з ремонту автотракторних двигунів.....	69
4.3. Заходи по забезпеченню захисту працівників від дії шкідливих та небезпечних факторів.....	70
4.4. Правила безпечного виконання робіт слюсарем при ремонті автотракторних двигунів.....	71
4.5. Дії у разі настання надзвичайної ситуації.....	75
4.6. Висновок.....	78
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОБОТИ.....	79
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	84
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	86
ДОДАТКИ.....	91

## ВСТУП

Високопродуктивне і ефективне використання машинно-тракторного парку має велике народногосподарське значення. Але сучасний стан машино-тракторного парку є спрацьованим на 65-80 %, а по деяким групам машин сягає 92-95 % [1, 2, 3] це в свою чергу робить машино-тракторний парк не надійним і стримує отримання високоякісної сільськогосподарської продукції. До речі є велика проблема випуску техніки вітчизняного виробництва та виробництва країн СНД, а саме кожна четверта машина має відхилення коефіцієнта технічної готовності від ТУ, 95-97 % машин виготовляються з відхиленнями вимог ТУ [4].

В роботі [5] автори дослідили відмови машин з яких випливає, що до 60 % відмов машини припадає на неякісне збирання, в основному це різьбові з'єднання. Саме різьбові з'єднання становлять 30-40% від усіх з'єднань машини [6].

Одним з факторів, що визначають надійність відремонтованих машин у сільському господарстві, є точність затягування різьбових сполучень.

У роботі розглянута проблема низької точності затягування групових різьбових сполучень (ГРС) ремонттованих вузлів машин. Проблема є актуальною, тому що неточне і, як наслідок, нерівномірне затягування ГРС призводить до зниження надійності вузлів і машин у цілому [7, 8].

Існують різні методи контролю осьової сили затягування (далі сили затягування) різьбових сполучень, але в більшості випадків, контроль здійснюють методом додатка обертаючого моменту за допомогою динамометричних (моментних) ключів [9].

При складанні ремонттованого вузла рекомендований технічними умовами на складання момент затягування не гарантує забезпечення необхідної (розрахункової) величини сили затягування з достатньою точністю. Причиною цьому є невідповідність фактичних коефіцієнтів тертя в різьбовому сполученні розрахунковим, що пояснюється зміною (нестабільністю) стану різь-

бових сполучень у процесі експлуатації. Відхилення створеної величини сили затягування від необхідної за різними оцінками може досягати +25....38% [7, 8, 9]. Така низька точність контролю неприпустима при складанні відповідальних і особливо відповідальних ГРС. Максимально припустиме відхилення від необхідної величини сили затягування при складанні особливо відповідальних ГРС (болти шатунів, кришок корінних підшипників і т.п.) становить +5%, відповідальних різьбових ГРС (болти головок циліндрів, піддонів картерів і т.п.) +5....-15% [10].

Дослідженню питань розрахунків і технології складання різьбових сполучень присвячене значне число наукових праць вітчизняних і закордонних авторів, зокрема: Н.Е. Жуковського, І. А. Біргера, Г. Б. Іосилевича, М. А. Саверіна, М. П. Новікова, В. Д. Продана, Н. Л. Клячкіна, В. Б. Жукова, І. Л. Блаера, С. А. Корніловича й багатьох інших.

Розроблено безліч методів, способів і засобів складання різьбових сполучень [11, 12, 13 і ін.], однак, проблема низької точності (нерівномірності) затягування ГРС вузлів у процесі ремонту сільськогосподарської техніки залишається невирішеною [1].

Загальновідомим є те, що нерівномірне затягування ГРС викликає залишкову деформацію стягнутих деталей і викривлення макрогеометрії їх привалочних поверхонь при експлуатації вузлів, а відповідальні деталі мають тверді допуски на відхилення. Приміром, гранично припустимі відхилення від площинності привалочних поверхонь головок циліндрів (ГБЦ) і блоків двигунів звичайно не більше 0.02...0.05 мм на 100 мм довжини. За офіційними даними ГОСНИТИ [14] на деформацію привалочної поверхні припадає 28% від усіх дефектів ГБЦ.

За даними робіт [15] нерівномірне затягування болтів ГБЦ, викликана низькою точністю контролю сили затягування по моменту, спотворює геометричну точність робочих поверхонь циліндрів, овальність яких може збільшуватися на 25-75%, конусність на 35-40%, що виходить за межі допуску. У свою чергу це вкрай негативно позначається на ресурсі циліндропоршневої



групи й двигуна в цілому.

Таким чином, численні несправності сільськогосподарської техніки, пов'язані з різьбовими сполученнями, а також систематичні ушкодження (руйнування) різьбових сполучень при їх зтягуванні є передумовами для пошуку нових шляхів удосконалювання технології складання ГРС ремонтіваних вузлів машин.

Підвищити точність і рівномірність зтягування ГРС пропонується застосуванням на практиці контролю сили зтягування через відношення моментів відгвинчування й загвинчування, який дозволяє експериментально скорегувати значення рекомендованого моменту зтягування, шляхом непрямого обліку реальних коефіцієнтів тертя (без установлення їх чисельних значень) у конкретному різьбовому сполученні й обчислення для нього необхідного моменту зтягування.

Об'єктом досліджень є технологічний процес складання ГРС ремонтіваних вузлів машин.

Предметом дослідження є закономірності взаємозв'язку моменту й сили зтягування.

**Апробація результатів дослідження.** Фелонюк В. В. Дослідження коефіцієнту тертя в різьбових з'єднаннях / В. В. Фелонюк. // Zbiór artykułów 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.

# 1 РОЗДІЛ

## СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ 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" [16].

#### Основні параметри різьби

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

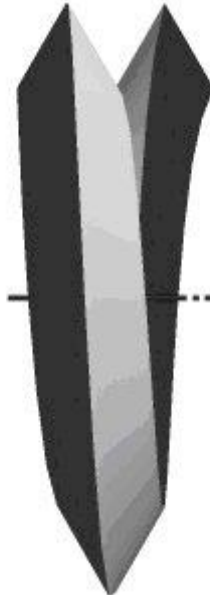


Рис. 1.1. Виток різьби

**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.

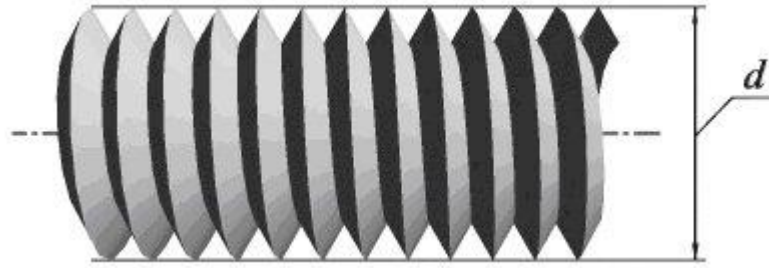


Рис. 1.2. Зовнішній діаметр різьби

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

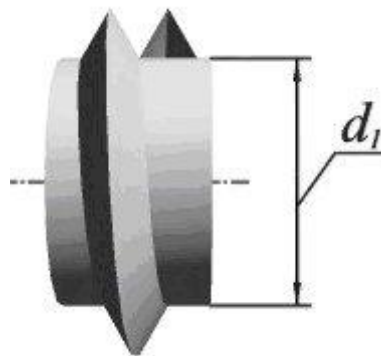


Рис. 1.3. Внутрішній діаметр різьби

**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).

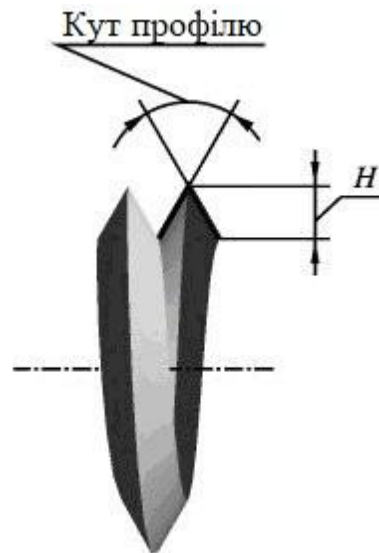


Рис. 1.4. Профіль різьби

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

**Хід різьби ( $Ph$ )** - 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  $360^\circ$ , в однозахідній різьбі хід дорівнює кроку, у багатозахідній - добутку кроку на число заходів  $n$ :  $Ph = nP$  (рис.1.5).

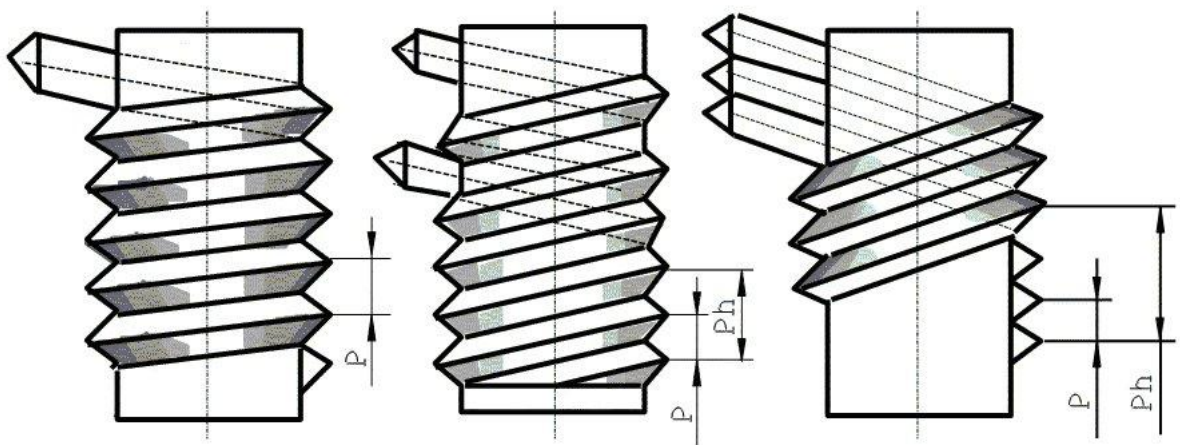


Рис. 1.5. Основні параметри різьби

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

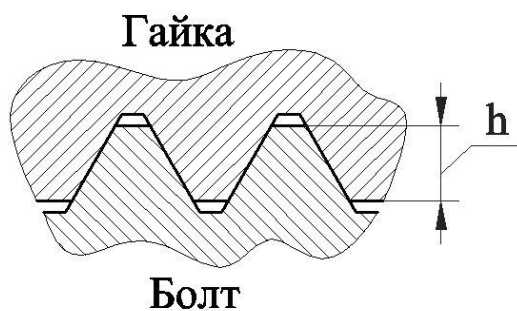


Рис. 1.6 Робоча висота профілю

### Класифікація різьб

Для класифікації різьби використовуються наступні основні ознаки (рис. 1.7):

- форма профілю;
- форма поверхні, на якій виконано різьби;
- розташування різьби;
- величина кроку;
- число й напрямок заходів;
- експлуатаційне призначення.

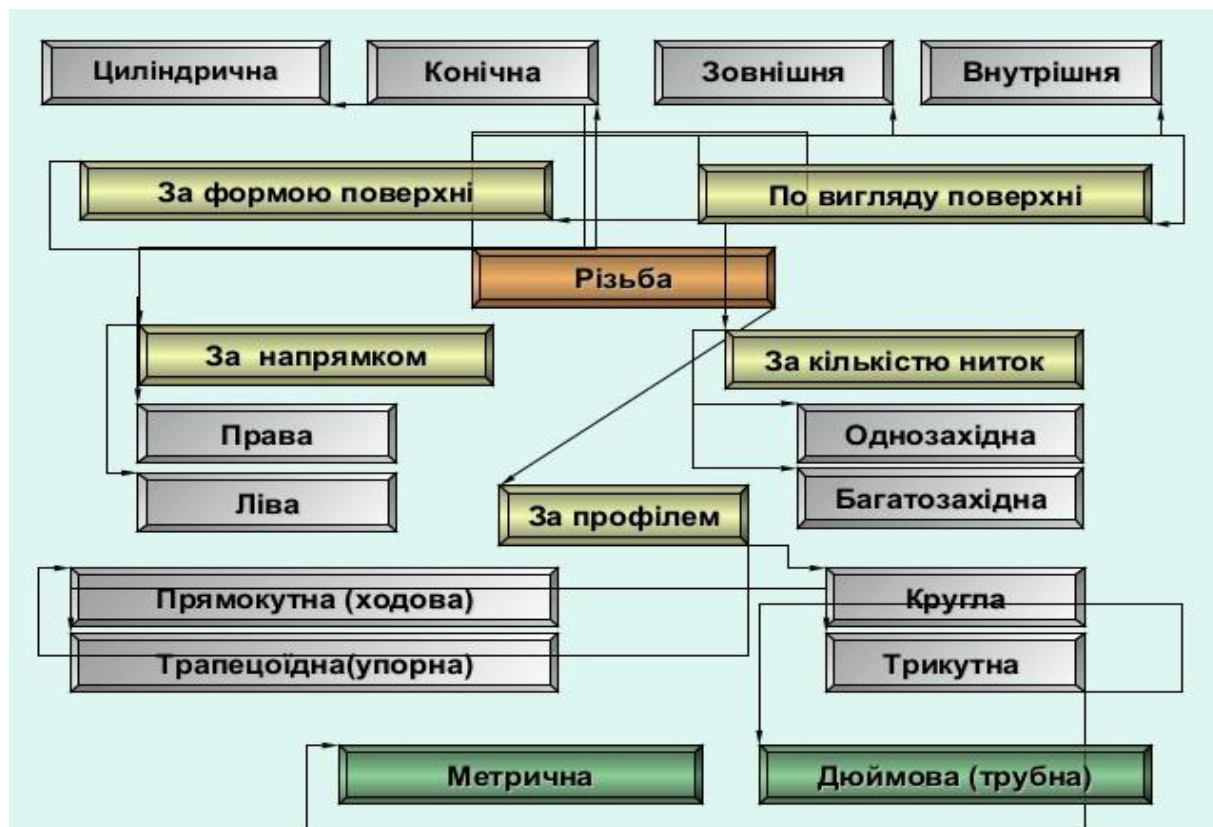


Рис. 1.7. Класифікації різьби

**Різьба метрична.** Профіль різьби встановлений ГОСТ 9150-81 і являє собою трикутник з кутом при вершині  $60^{\circ}$  ( рис. 1.8 а).

Це основний вид кріпильного різьби, призначеної для з'єднання деталей безпосередньо один з одним або за допомогою стандартних виробів, що мають метричну різьбу, таких як болти, гвинти, шпильки, гайки.

**Різьба дюймова.** Сьогодні не існує стандарт, що регламентує основні розміри дюймової різьби. Раніше існуючий ОСТ НКТП 1260 відмінний, і застосування дюймової різьби в нових розробках не допускається.

Різьби трикутного профілю з кутом при вершині  $55^{\circ}$  ( рис. 1.8 б).

**Трубна циліндрична різьба.** Відповідно до ГОСТ 6367-81 трубна циліндрична різьба має профіль дюймової різьби, тобто рівнобедрений трикутник з кутом при вершині, рівний  $55^{\circ}$ (рис. 1.8 в).

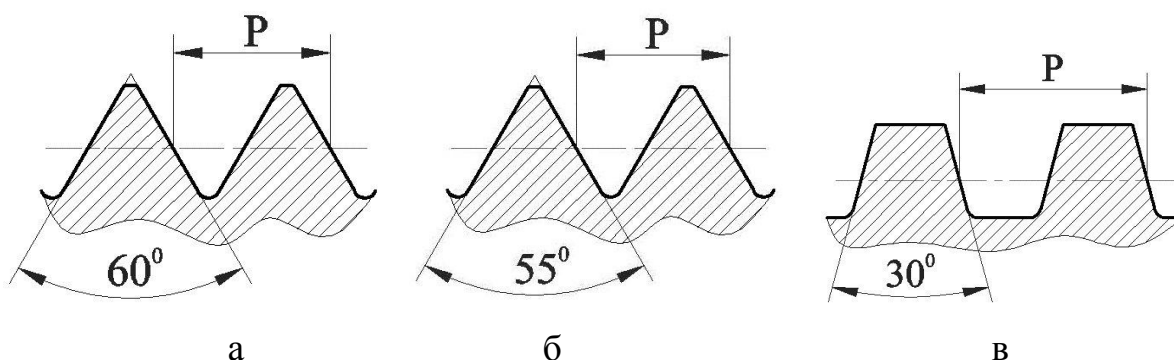


Рис. 1.8. Види різьби

**Кріпильні деталі** - деталі для нерухомого з'єднання частин машин і конструкцій. До них звичайно відносять деталі різьбових сполучень:

- болти,
- гвинти,
- шпильки,
- гайки,
- шурупи,
- шайби,
- шплінти, а також штифти.

**Болт** (рис. 1.9) - кріпильна деталь для роз'ємного з'єднання частин машин і споруджень у вигляді стрижня з різьбою на одному кінці й шести- або

чотиригранною головкою на іншому. Конструкції болтів досить різноманітні залежно від призначення болтового з'єднання. Болти виготовляють із вуглецевої, низьколегованої або спеціальної сталі, латуні й ін.

**Гвинт** (рис. 1.9) - виріб циліндричної або конічної форми з різьбовою поверхнею. Розрізняють гвинти, з потайною, напівпотайною, напівкруглою, шестигранною, циліндричною й гладкою головками.

**Гайка** (рис. 1.9) - деталь різьбового сполучення або гвинтової передачі, що має отвір з різьбою.

**Шпилька**, кріпильна деталь, що представляє собою металевий стрижень із різьбою на обох кінцях (рис. 1.9). Кінець шпильки вгвинчується в одну з деталей, що з'єднуються, а інша деталь притискається до першої при нагвинчуванні гайки на інший кінець шпильки.

**Шайба** (рис. 1.9), деталь, що підкладається під гайку або головку болта для попередження зминання поверхонь, що з'єднуються, запобігання їх від подряпин при загвинчуванні гайок, гвинтів і для перекриття зазору між стрижнем болта й отвором у деталях.

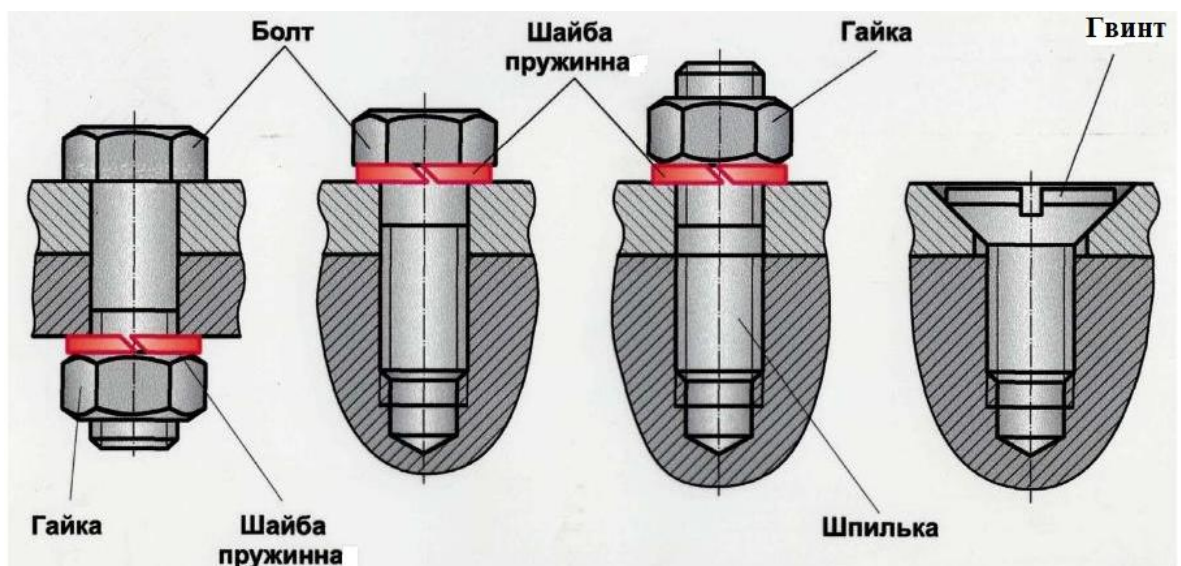


Рис. 1.9. Кріпильні деталі

Різьбові з'єднання складають близько 30 % від усіх з'єднань в машинах і механізмах (рис. 1.10). так за даними [17] на сільськогосподарській техніці встановлено близько 6000 різьбових з'єднань.

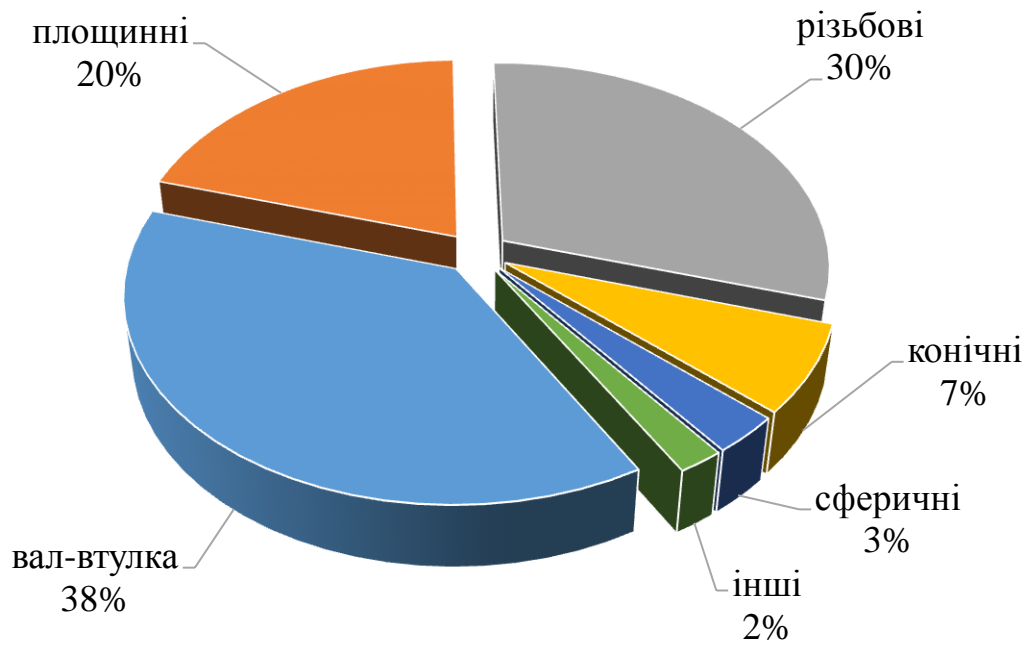


Рис. 1.10. Розподіл з'єднань машин

Відмови з'єднань наведено на рис. 1.11.

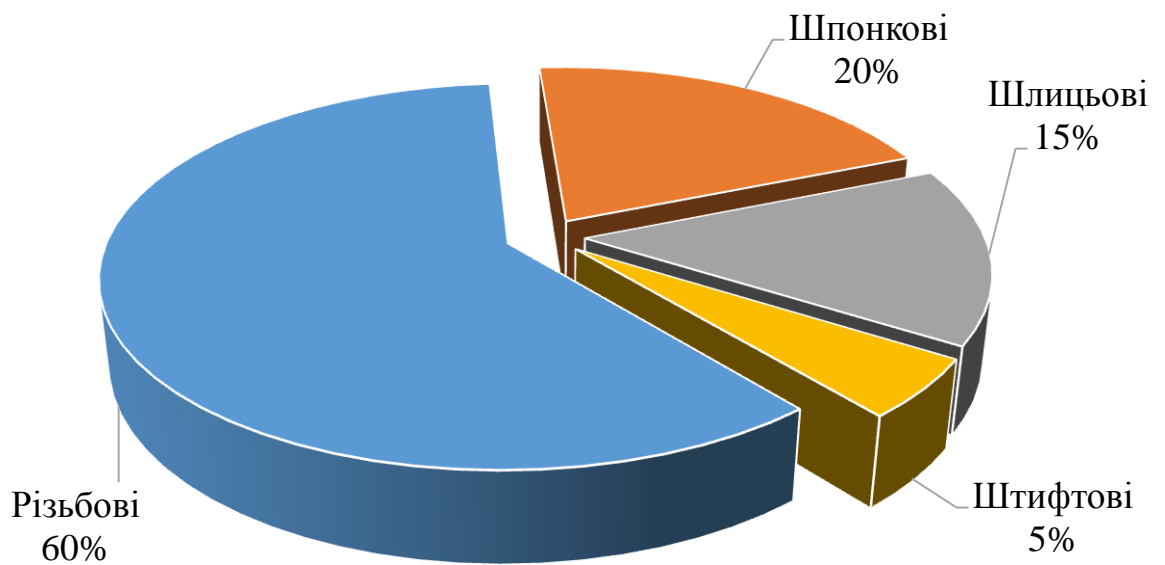


Рис. 1.11. Відмови з'єднань

## 1.2. Коефіцієнти тертя в різьбових сполученнях

По даним численних експериментальних досліджень [1, 2, 18, 19] коефіцієнти тертя в різьбових сполученнях у процесі експлуатації нестабільні



й залежать від цілого ряду факторів: шорсткості робочих різьбових поверхонь, наявності й виду змащення, наявності й виду покриття, наявності абразивних часток або корозії в зоні контакту, що сполучаються різьбових поверхонь, швидкості загвинчування і т.д.

Особливість експлуатації сільськогосподарської техніки в тому, що вона постійно піддана впливу агресивного середовища [8]. У міру наробітку стан різьбових сполучень змінюється (корозія, забруднення, зношування заводських покриттів і т.д.), при цьому коефіцієнти тертя різьбових поверхонь розсіюються в широкому діапазоні від 0.05 до 0.5 [15].

У роботі Алієва Ф. К. [20] розглянутий вплив атмосферної корозії на нарізні сполучення в процесі експлуатації сільськогосподарської техніки. У роботі підтверджується факт негативного впливу атмосферної корозії на складально-розбірні операції й надійність різьбових сполучень. Під впливом вібрацій і змінних навантажень у різьбових сполученнях виникають відносні мікропереміщення сполучених різьбових поверхонь, що є причиною їх зношування в умовах фреттинг-корозії. Корозія й абразивні частки, що попадають у різьбове сполучення, змінюють шорсткість робочих поверхонь, збільшують сили тертя, тим самим, впливають на точність затягування різьбових сполучень.

У роботі Іосилевича Г.Б. [18] представлені приблизні значення коефіцієнтів тертя в різьбі й на опорній поверхні гайки (таблиця 1.1) залежно від виду покриття й мастильного матеріалу, отримані експериментальним шляхом.

З таблиці 1.1 видно, що мастильні матеріали зменшують на 20-40% і стабілізують коефіцієнти тертя (зменшують їхнє розсіювання). Однак користуватися на практиці табличними значеннями коефіцієнтів тертя для визначення необхідних моментів затягування недоцільно [21].

У цей час усе більше знаходять своє застосування в складальних операціях різьбові фіксатори або клеї-герметики [22].

Таблиця 1.1 - Коефіцієнти тертя в різьбі  $f_p$  і на опорній поверхні гайки $f_T$ 

Покриття	Коефіцієнт тертя	Без мастильного матеріалу	Солідол	Машинне масло	Машинне масло з добавкою молібдену (20%)
Без покриття	$f_p$	0.32-0.52	0.18-0.23	0.16-0.21	0.11-0.15
	$f_T$	0.14-0.24	0.10-0.14	0.11-0.14	0.07-0.10
Кадмієве	$f_p$	0.24-0.32	0.15-0.25	0.16-0.22	0.11-0.15
	$f_T$	0.12-0.24	0.05-0.15	0.05-0.13	0.04-0.07
Цинкове	$f_p$	0.24-0.40	0.15-0.20	0.14-0.19	0.14-0.19
	$f_T$	0.07-0.10	0.09-0.11	0.08-0.11	0.06-0.09
Фосфатне	$f_p$	0.15-0.23	0.15-0.20	0.15-0.19	0.14-0.17
	$f_T$	0.09-0.12	0.10-0.13	0.09-0.13	0.07-0.10
Оксидне	$f_p$	0.30-0.84	0.39-0.51	0.37-0.47	0.15-0.21
	$f_T$	0.20-0.43	0.19-0.29	0.19-0.29	0.07-0.11
Матеріал болта й гайки сталь 45, різьба M10					

Різьбові фіксатори (клеї-герметики) використовують для герметизації різьбової пари від вологи, а також для запобігання можливого мимовільного відгвинчування різьбової деталі в процесі роботи вузла. Клей-герметик наноситься на різьбову поверхню, після чого проводиться затягування різьбового сполучення. У затягнутому стані відбувається відкидання клею, у результаті чого в контакті витків різьби утворюється міцний адгезійний зв'язок. Наявність клею-герметика в контакті третювх різьбових поверхонь при затягуванні також впливає на значення коефіцієнтів тертя, що необхідно враховувати при контролі сили затягування по моменту.

При ручному затягуванні динамометричними ключами необхідно враховувати, що швидкість обертання ключа впливає на значення коефіцієнтів тертя, відповідно й на значення моменту на ключі. Зі збільшенням швидкості затягування коефіцієнти тертя зменшуються, і навпаки. Тому важливо дотримувати максимально рівномірного обертання інструмента при затягуванні кожного різьбового сполучення ГРС, крім затягування «ривками».

### **1.3. Аналіз причин і наслідків неточного (нерівномірного) затягування ГРС**

Можна виділити дві групи факторів, що обумовлюють появу нерівномірності розподілу сил затягування в ГРС ремонтваного вузла:

- технологічні (що мають місце безпосередньо в процесі складання);
- експлуатаційні (виникаючі в процесі роботи вузла).

До **технологічних факторів** відносяться похибка методів і засобів контролю сили затягування, невідповідність розрахункових параметрів фактичним (коефіцієнтів тертя, геометричних розмірів різьби, коефіцієнтів піддатливості і т.д.), перенапруги сил у ГРС при послідовному затягуванні, людський фактор.

У процесі складання технологічні фактори приводять до відхилення від необхідної величини сили затягування в більшу або меншу сторону (перетягнене або недотягнуте з'єднання).

Найбільший вплив на точність затягування виявляє похибка методів контролю [23]. Найпростішим і зручним у застосуванні є метод контролю сили затягування по моменту. Однак даний контроль має велику похибку. У процесі складання різьбового сполучення ремонтovanого вузла відхилення створеної величини сили затягування від необхідної, за різними оцінками може досягати +25...38% [16, 18, 19]. Величина такої похибки неприпустима при складанні ГРС вузлів ремонтovanої сільськогосподарської техніки [23].

Причиною даного відхилення (похибки) є невідповідність фактичних коефіцієнтів тертя сполучених у процесі затягування різьбових поверхонь розрахунковим, що пояснюється зміною (нестабільністю) стану різьбових сполучень при експлуатації. Нестабільність стану різьбового сполучення обумовлена зміною шорсткості різьбових поверхонь, корозією й забрудненням, зношуванням заводських антикорозійних і противозадирних покриттів, застосуванням різних мастильних і розкислюючих матеріалів при роботі з різьбовими сполученнями й т.п. Тому при тому самому значенні моменту на ключі залежно від стану різьбового сполучення (коефіцієнтів тертя) сила затягування може ухвалювати різні, що значно відрізняються один від одного значення.

Аналіз технологічного процесу ремонту на ремонтно-сервісних підприємствах ТОВ "Агротек" м. Дніпро, ТОВ "Істок" м. Марганець та базового підприємства ФГ "Ксенія Агро" м. Марганець, показав, що різьбові деталі (шпильки, болти, гайки) зазнають інтенсивного іржавіння після технологічної операції мийки вузлів (деталей). Приміром, на рис. 1.12 і 1.13 представлені шпильки ГБЦ двигунів ЯМЗ-238 і А-41, що пройшли мийку. Наявність деякої корозії на різьбових поверхнях шпильок (болтів) не означає їх непридатність до подальшої експлуатації, однак зміна стану поверхні необхідно враховувати.

Однією із причин нерівномірного затягування ГРС ремонтваних вузлів може стати наявність (відсутність) або відмінність виду змащення в окремих різьбових сполученнях групи. Для прикладу можна привести кріплення ГБЦ двигунів, де, як правило, середній ряд болтів ГРС конструктивно розташований під кришкою ГБЦ, що не виключає влучення моторного масла в з'єднання даного ряду, а інші болти ГРС конструктивно розташовані зовні й зазнають впливу корозії й забруднення при експлуатації.



Рис. 1.12. Шпильки ГБЦ перед складанням двигуна ЯМЗ-238 після мийки



Рис. 1.13. Шпильки ГБЦ перед складанням двигуна А-41 після мийки

Особливість складання ГРС у тому, що в процесі послідовного затягування різьбових сполучень відбувається перенапруга сил затягування, тому що затягування кожного наступного болта (гайки) різьбової групи приводить до ослаблення сили затягування в раніше затягнутому болті. Тому складання ГРС завжди проводиться в кілька етапів і в певній послідовності.

Кількість етапів (звичайно 3-4) і найбільш оптимальна схема затягування болтів визначається конструктором і вказується в технічних умовах на складання вузла. Звичайно при затягуванні ГРС (в 3 етапи) на першому етапі величину сили затягування створюють до 30% від розрахункового значення, на другому етапі до 70%, на третьому 100%.

При надмірному затягуванні різьбових сполучень у процесі складання часто бувають випадки зриву різьби навіть при дотриманні рекомендованих технічними умовами на складання моментах, що пояснюється зміною стану різьбових сполучень. Приміром, по даним ТОВ "Істок" за 2019 рік зафіксовано 117 випадків зриву різьби (руйнування) силових шпильок (болтів) у процесі монтажу ГБЦ різних ремонтваних двигунів (ЯМЗ-238, ЗІЛ-130, Д-240, А-41, Д-442 і ін.) при дотриманні рекомендованих моментів затягування.

**Експлуатаційні фактори** визначають причини зниження величини сили затягування в різьбовій групі в процесі роботи вузла. До них відносяться деформаційне згладжування мікронерівностей сполучених поверхонь у стику деталей і в самих різьбових сполученнях (осаду мікронерівностей), можливі залишкові деформації стрижня болта (шпильки), релаксація напруг затягування, самовідгвинчування і т.д. [15].

Відхилення від розрахункової величини сили затягування при складанні різьбового сполучення в меншу сторону (недотягнуте з'єднання) тягне до збільшення амплітуди вібрацій деталей у процесі роботи вузла, що у свою чергу сприяє процесу самовідгвинчування різьбового сполучення й може стати причиною передчасного руйнування з'єднання від втоми [15, 16].

При експлуатації може відбуватися зниження сили затягування в різьбовому сполученні через деформаційні процеси на поверхнях стиків, що з'єднуються деталей, у контакті витків різьби й на опорній поверхні гайки.

Наприклад, допуск на відхилення від циліндричності дзеркала гільзи двигунів ЯМЗ-238 – 0.025 мм, ЗИЛ-130 – 0.03 мм, OM904LA (Mercedes-Benz) – 0.012 мм, D0824LFL (MAN) – 0.008 мм, D4DC (Hyundai) – 0.03 мм [24, 25].

У роботі Утенкова В. Д. також відзначається, що нерівномірне затягування ГРС ГБЦ спотворює геометричну точність дзеркал циліндрів, овальність яких збільшується на 25-75%, конусність на 35-40%.

На основі вищевикладеного можна стверджувати - затягування ГРС вузлів при ремонті сільськогосподарської техніки повинна проводитися з максимальною точністю і рівномірністю.

#### **1.4. Аналіз методів, способів і засобів контролю сили затяжки**

Одним з основних напрямків досліджень в області різьбових сполучень було й залишається вдосконалювання методів (способів) і засобів контролю сили затягування [17].

У цей час основними методами контролю сили затягування рис. 1.14[15, 17] є:

- контроль сили затягування по моменту;
- контроль сили затягування по куту повороту болта (гайки);
- контроль сили затягування по величині деформації стрижня болта (шпильки);
- контроль сили затягування по величині деформації шайби;
- комбінований метод контролю сили затягування по моменту й куту пороту.

Усі методи контролю мають похибку забезпечення необхідної величини сили затягування. Підвищення точності й рівномірності затягування ГРС ремонтваних вузлів машин бачиться в зменшенні похибці контролю сили

затягування з урахуванням причин, що її обумовлюють.

Можна відзначити, що найпростішим способом обмеження крутного моменту при затягуванні різьбових сполучень є вибір відповідної довжини рукояті ключа [19]. Однак сила руки збирача й швидкість обертання ключа в процесі затягування можуть змінюватися в широких межах, що не забезпечить точне й рівномірне затягування ГРС. За даними роботи [26] при складанні ГРС даним способом розкид сил затягування може досягати 200%. Тому, даний спосіб застосовується тільки при ненормованому затягуванні маловідповідальних різьбових сполучень.



Рис. 1.14. Методи контролю сили затягування

**Метод контролю сили затягування по моменту.** Даний метод набув широкого застосування в складальних операціях, у тому числі при ремонті сільськогосподарської техніки. Переваги цього методу в простоті його здійснення, зручності контролю й великій номенклатурі інструмента - різні граничні і індикаторні динамометричні ключі (рис. 1.16).



Рис. 1.16. Динамометричні ключі



а - шкальний, б – електронний, в – індикаторний, г - граничний

Даний метод контролю полягає в створенні на гайці (болті) обертаючого моменту (моменту затягування), що побічно забезпечує необхідну величину сили затягування. В основі методу лежить математична залежність моменту від сили затягування [15], яка враховує коефіцієнти тертя різьбових поверхонь:

$$M_{зат} = 0.5 \cdot F \cdot d_2 \left( f_T \frac{D_T}{d_2} + f_P \right) + F \cdot \frac{P}{2\pi}$$

де  $F$  — сила затягування, Н;

$d_2$  — середній діаметр різьби, м;

$f_T$  — коефіцієнт тертя на опорній поверхні гайки;

$f_P$  — наведений коефіцієнт тертя в різьбі;

$D_T$  — середній діаметр опорної поверхні гайки, м;

$P$  — крок різьби, м.

Точність даного методу контролю багато в чому визначається значеннями коефіцієнтів тертя в різьбовому сполученні, що є його головним недоліком [15, 17]. У дійсності в різьбових сполучень ремонтіваних вузлів реальні значення коефіцієнтів тертя можуть варіюватися в досить широкому діапазоні від 0.05 до 0.5. Низька точність даного контролю при складанні вузлів, що мають наробіток, (за різними оцінками + 25...38%) визначає низьку надійність з'єднань при експлуатації сільськогосподарської техніки.

**Метод контролю сили затягування по куту повороту болта (гайки).**

Даний метод полягає у вимірі величини кута повороту болта, яка пов'язана з величиною сили затягування залежністю [15] рис. 1.17:

$$\varphi = 360 \cdot \frac{F}{P} \cdot \left( \sum_{i=1}^n \lambda_{B_i} + \sum_{j=1}^k \lambda_{D_j} \right)$$

де  $\lambda_B, \lambda_D$  - коефіцієнти податливостей болта й деталей відповідно, м/Н;

$i$  - кількість ділянок болта (шпильки) з різною площею поперечного переріза (при наявності);

$j$  - кількість деталей, що з'єднуються.



Рис. 1.17. Метод контролю сили затяжки по углу поворота болта (гайки)

На відміну від попереднього методу контролю, даний метод виключає вплив коефіцієнтів тертя, однак, він мало застосовуємо в практиці складання різьбових сполучень за рахунок труднощів у визначенні нульового кута повороту  $\varphi_0$ , при якому відбувається обтиснення стику й вибірка зазорів у з'єднанні. До того ж не представляється можливим визначити кут, на який необхідно повернути болти ГРС при перенапрузі сил затягування в процесі послідовного складання ГРС ручним інструментом.

Контроль сили затягування по куту повороту болта (гайки) здійснюється за допомогою транспортних ключів, шаблонів або кутомірів (рис. 1.17). При цьому похибка виміру кута звичайно становить 10-15 градусів [15], а точність забезпечення необхідної сили затягування не вище + 20-23% [15,18, 20].

Даний метод контролю непридатний при складанні твердих з'єднань із короткими болтами або шпильками тому, що величина розрахункового кута затягування при цьому мала й дорівнює похибці методу.

**Метод контролю сили затягування по величині деформації болта.**  
Даний метод вважається одним з найбільш точних методів контролю сили

затягування (точність + 5%) [15]. Його застосовують при контролі сили затягування особливо відповідальних з'єднань (наприклад, шатунних болтів). Метод заснований на вимірі величини подовження стрижня болта (шпильки) під дією сили затягування.

Сила затягування в цьому випадку визначається [27]:

$$F = \frac{\delta}{\lambda_B}$$

де  $\delta$  - відносне подовження болта, м.

Величина подовження болта визначається [27]:

$$\delta = F \cdot \lambda_B = F \cdot \frac{l_B}{E_B \cdot A_B}$$

$l_B$  - довжина болта, м;

$E_B$  - модуль пружності матеріалу болта, Н/м<sup>2</sup>;

$A_B$  - площа поперечного переріза болта, м<sup>2</sup>.

Даний метод застосовують, коли різьбова деталь має значну довжину, тому, що величина подовження в цьому випадку більш відчутна й може бути точніше обмірювана. Метод неприйнятний для коротких і твердих болтів (тому, що величина деформації болта мала (20...60 мкм) і дорівнює похибці виміру). Для виміру величини подовження болта звичайно використовують індикаторну скобу (рис. 1.18) якщо існує можливість двостороннього доступу до торців болта (шпильки).



Рис. 1.18. Індикаторна скоба

Найбільше точно проконтролювати силу\_затягування по подовженню стрижня болта можна за допомогою тензометричних датчиків, які наклеюються на гладку частину болта (шпильки) або заливаються в центральний отвір. Похибка забезпечення сили затягування близько + 2% [15]. 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. 1.19 наведено можливості застосування різних способів затягування.

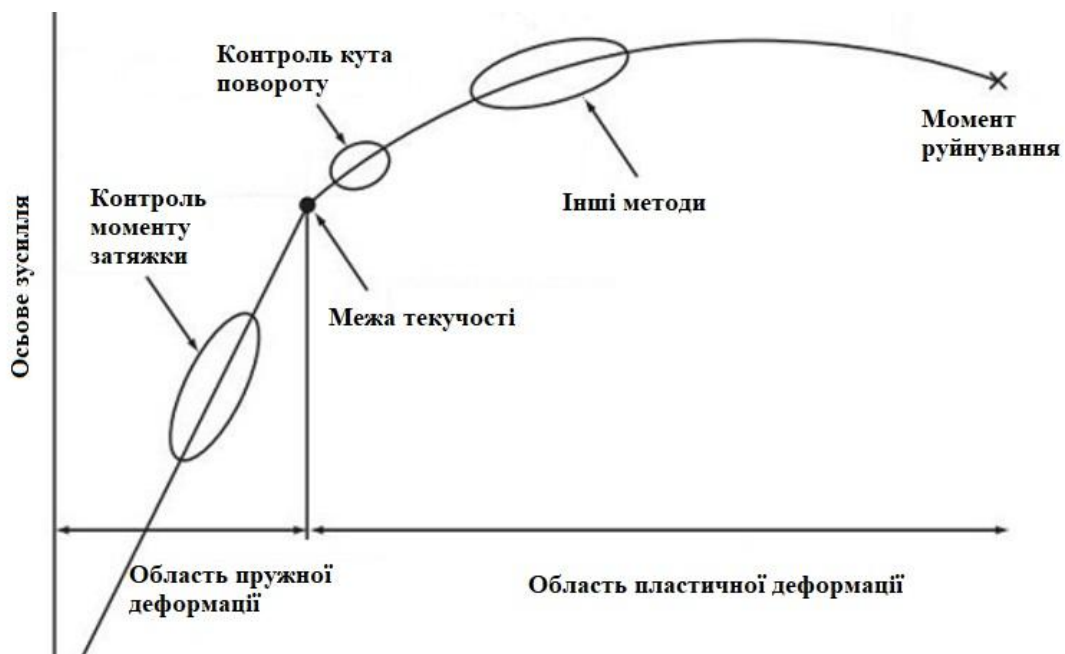


Рис. 1.19. Застосування різних способів затягування

### 1.5. Загальні висновки та задачі роботи

Аналіз стану проблеми показав, що нерівномірність затягування ГРС вузлів при ремонті сільськогосподарської техніки обумовлена низькою точністю (+ 25..38%) контролю сили затягування по моменту, внаслідок зміни стану різьбових сполучень при експлуатації.

Результатом неточної (нерівномірної) затягування ГРС може стати руйнування різьбових сполучень, деформація стягнутих деталей, деформація

або зрив витків різьби, розгерметизація стиків вузлів і т.д. Нерівномірне затягування болтів ГБЦ впливає на ресурс циліндропоршневої групи й двигуна в цілому.

Як показав аналіз способи, що існують і методи контролю сили затягування різьбових сполучень, які можуть бути застосовані в ремонтному виробництві сільськогосподарської техніки, недостатньо ефективні з погляду точності затягування і їх застосування не гарантує надійного з'єднання.

Для підвищення точності й рівномірності затягування ГРС ремонтованих вузлів машин необхідно враховувати фактичні стани різьбових сполучень.

**Метою роботи** є підвищення точності й рівномірності затягування групових різьбових сполучень вузлів машин, що ремонтуються.

#### **Завдання досліджень:**

1. Зробити аналіз проблеми неточності (нерівномірності) затягування ГРС ремонтованих вузлів, виявити причини виникнення нерівномірності затягування.

2. Теоретично обґрунтувати контроль сили затягування через відношення моментів відгвинчування й загвинчування, на основі чого розробити методіку складання ГРС ремонтованих вузлів.

3. Експериментально досліджувати вплив стану різьбового сполучення на точність контролю сили затягування по моменту. Зробити експериментальну оцінку точності забезпечення необхідної сили затягування при контролі через відношення моментів відгвинчування й загвинчування.

4. Експериментально досліджувати рівномірність затягування ГРС при складанні ремонтованого вузла, зробити якісну оцінку рівномірності затягування ГРС при складанні за розробленою методикою.

5. Провести заходи з забезпечення безпеки праці.

6. Провести техніко-економічну оцінку роботи.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНТРОЛЮ СИЛИ ЗАТЯЖКИ

#### 2.1. Визначення коефіцієнту тертя в різьбі

При закручуванні гайки різьбового з'єднання з боку ключа на гайку передається крутний момент  $T_{заг}$ , який перевищує момент в різьбі  $T_p$  й на торці гайки  $T_m$  (рис. 2.1).

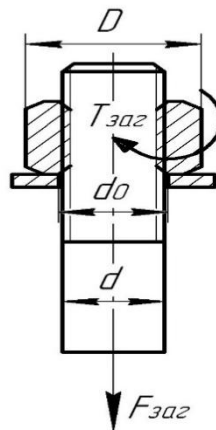


Рис. 2.1. Схема параметрів різьбового з'єднання

Визначаємо крутний момент [1]:

$$T_{заг} = T_p + T_m \quad (2.1)$$

Витрата крутного моменту розподіляється наступним чином рис. 2.2.:

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

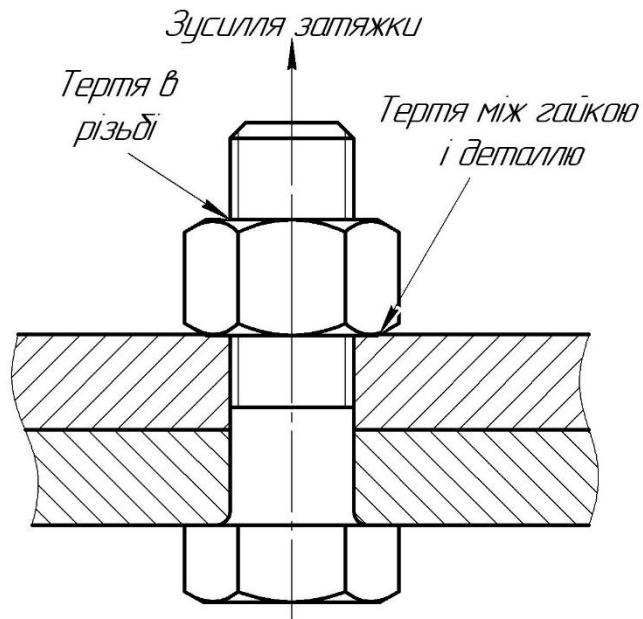


Рис. 2.2. Витрата прикладеного обертального моменту на подолання сил тертя

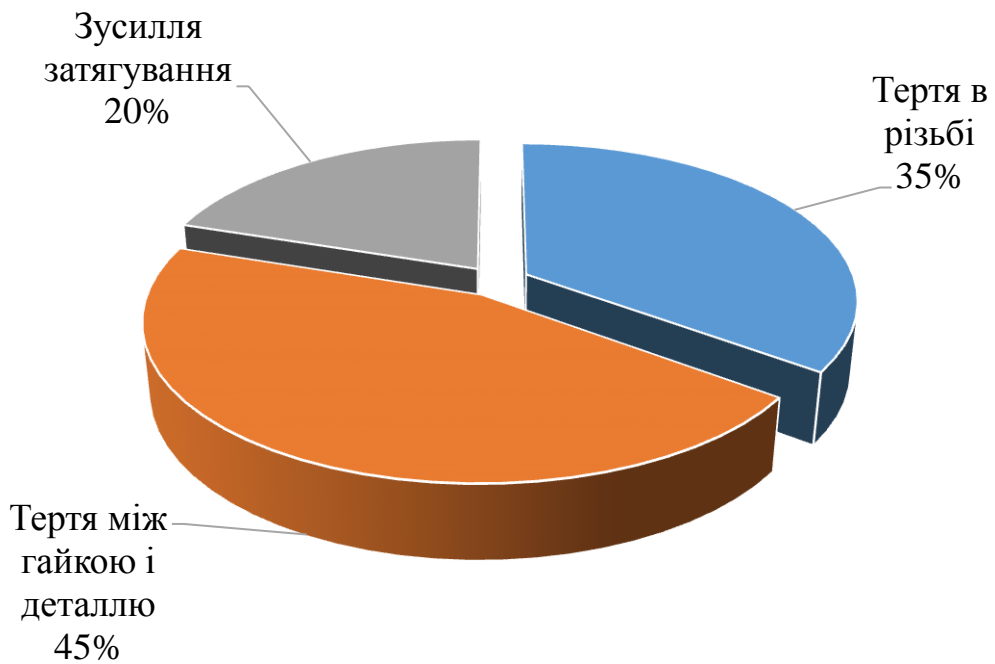


Рис. 2.3. Витрата прикладеного зусилля

Виникаюче в момент затяжки болта осьове зусилля  $F_{заг}$  й моменти тертя зв'язані залежностями:

$$T_p = F_{заг} \frac{d_2}{2} \operatorname{tg}(\psi + \phi^1), \quad (2.2)$$

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

де:  $d_2$  - середній діаметр різьби, м

$\psi$  - кут підйому різьби.

Знаходиться з виразу

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

$p$  - крок різьби, м;

$\phi^1$  - приведений кут тертя в різьбі, що відповідає приведеному коефіцієнту тертя в різьбі,

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

$D$  - 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.

Для різьб з кутом профілю  $2\alpha$  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

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



Таблиця 2.1 - Параметри різьб для стандартних болтів при куті профілю  $\varphi = 60^\circ$

Діаметр $d$ , мм	Крок $P$ , мм	Середній діаметр $d^2$ , мм	Кут підйому $\psi$ , гради	$\text{tg}\psi$	Розмір підключ $S$ , 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 метричних різьб (кріпильних) з кутом профілю  $2\alpha = 60^\circ$  та  $\cos\alpha = \cos 30^\circ = 0,866$ .

Тоді

$$f_p = 0,87 f_{1p}. \quad (2.8)$$

При визначенні коефіцієнтів тертя  $f_p$  та  $f_t$  по величині крутних моментів в різьбі  $T_p$  та на торці гайки  $T_T$  з формули (2) отримуємо:

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

А з формули (2.3):

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

Допустиме зусилля затяжки болта визначають по формулі:

$$[F_{зав}] = \frac{\pi d_1^2 [\sigma_P]}{4 \cdot 1,3}, \quad (2.11)$$

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:

$$q_P = \frac{4F_{зав}}{\pi(d^2 - d_1^2)z} = \frac{4F_{зав}p}{\pi(d^2 - d_1^2)H}, \quad (2.12)$$

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  $q_T$ , виникаючий при дії сили  $F_{зав}$ , визначають по формулі:

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

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

*Примітка.* Матеріал болта й гайки — сталь 45, різьба М10.

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

Сутність даного контролю полягає в обчисленні необхідного моменту затягування для забезпечення необхідної сили затягування конкретної різьбової пари з обліком її фактичного стану через відношення моментів відгвинчування й загвинчування. Коефіцієнти тертя в різьбовому сполученні, які залежать від стану різьбових поверхонь, побічно враховуються (без установлення їх чисельних значень) відношенням моментів відгвинчування й загвинчування, величини яких експериментально вимірюються динамометричним ключем для конкретного різьбового сполучення.

Визначимо момент загвинчування:

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

Визначимо момент відгвинчування

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

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):

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

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

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

Залежність (2.19) лежить в основі контролю сили затягування через відношення моментів відгвинчування й загвинчування. Для визначення необхідного моменту затягування потрібно знати величину необхідної сили затягування  $F$ , крок різьби  $P$ , і зробити вимір моментів загвинчування  $M_{\text{заг}}$  і відгвинчування  $M_{\text{від}}$  динамометричним ключем для конкретної різьбової пари.

За даними роботи [21] зі збільшенням сили (моменту) затягування відношення  $M_{\text{від}} / M_{\text{заг}} = \text{const}$ . Момент відгвинчування завжди менше моменту загвинчування, що підтверджують численні теоретичні й експериментальні дослідження [14, 19, 21 і ін.]. У таблиці 2.3 наведені значення  $M_{\text{заг}} / M_{\text{від}}$ , для загальної кількості досліджених різьбових сполучень.

Таблиця 2.3 - Значення відношенн  $M_{\text{заг}} / M_{\text{від}}$

$M_{\text{заг}} / M_{\text{від}}$	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

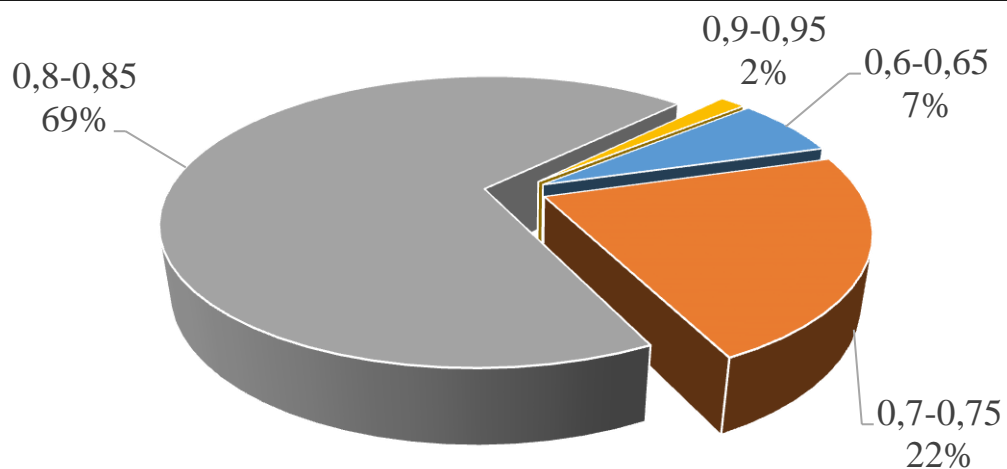


Рис. 2.4. Розподіл відношення  $M_{\text{заг}} / M_{\text{від}}$

Уперше залежність (2.19) була отримана Жуковим В. Б. у ході наукового дослідження щільності стиків різьбових сполучень авіаційних двигунів [28].

Методика визначення відношення  $M_{\text{заг}} / M_{\text{від}}$ , запропонована Жуковим В. Б., полягала в розрахунках деякого моменту загвинчування по формулі

(2.20), зтягуванню різьбового сполучення із цим моментом, у наступному відгвинчуванні різьбового сполучення з одночасним виміром моменту відгвинчування, співвідношенні отриманих моментів.

Спрощена формула визначення моменту загвинчування [28]:

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

Недоліком даної методики визначення відношення  $M_{\text{заг}} / M_{\text{від}}$  є те, що значення моменту відгвинчування може варіюватися залежно від швидкості обертання ключа при загвинчуванні, тому що швидкість обертання впливає на величину збільшення сили зтягування. Чим більше швидкість обертання ключа - тим більше збільшення сили зтягування, при тому самому значенні моменту загвинчування, і навпаки.

До того ж, при вимірі моменту відгвинчування мають місце коефіцієнти тертя - спокою, а при вимірі моменту загвинчування - ковзання. Як відомо, коефіцієнти тертя - спокою завжди більше коефіцієнтів тертя - ковзання на деяку величину, тому, коли гайка «рушає з місця» момент, що прикладається, має трохи більше значення. Даний висновок узгодиться з висновками інших дослідників. Якщо це не враховувати, то відношення моментів  $M_{\text{заг}} / M_{\text{від}}$  буде встановлено не точно й необхідний момент зтягування буде розрахований з деякою помилкою. Точність забезпечення сили зтягування таким способом за даними робіт [16, 19] становить + 10%. Для того, щоб забезпечити силу зтягування з точністю + 10% необхідно враховувати навіть соті частки від розподілу моментів [16, 19].

Для більш точного визначення відношення  $M_{\text{заг}} / M_{\text{від}}$  нами було запропоновано технологічний прийом (рис. 2.5), що полягає в попередньому навантаженні різьбового сполучення 1, нанесенні розмітки положення гайки (головки болта) щодо корпусу деталі 2, вимірі моменту загвинчування 3, поверненні гайки в розмічене положення 4, вимірі моменту відгвинчування 5. На-

вантаження проводиться затягуванням різьбового сполучення до величини рекомендованого (технічними умовами на складання вузла) моменту.

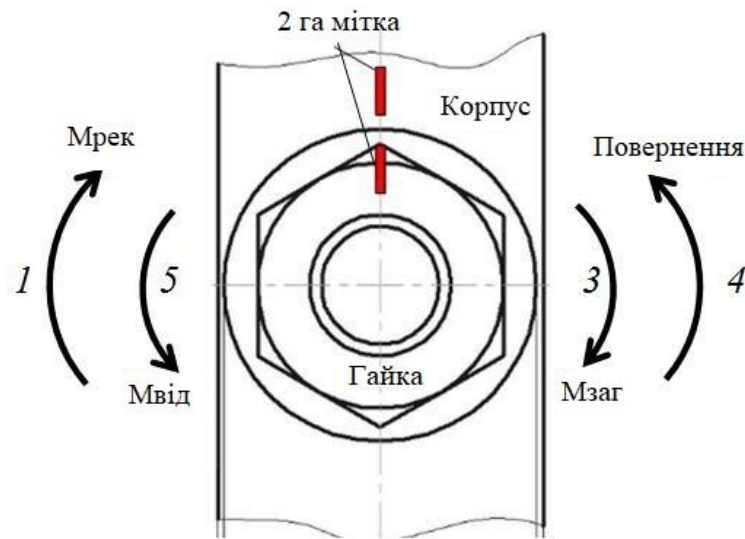


Рис. 2.5. До виміру моментів загвинчування й відгвинчування

Тобто перед виконанням вимірів моментів необхідно затягти (навантажити) різьбове сполучення (при цьому в різьбовому сполученні створюється деяка сила затягування й розподіл контактних тисків) і нанести розмітку положення гайки щодо корпусу деталі. Потім динамометричним ключем зробити вимір моменту загвинчування при «рушанні гайки з місця», повернути гайку в розмічене положення й зробити вимір моменту відгвинчування також при «рушанні гайки з місця». Отримані значення моментів і співвідносяться. Даний технологічний прийом дозволяє виключити недоліки, відзначені в методиці визначення відношення  $M_{\text{заг}} / M_{\text{від}}$  запропонованою Жуковим В.Б.

При контролі сили затягування даним способом необхідно використовувати динамометричні ключі, що дозволяють визначати значення моментів з точністю до сотих часток.

Варто відзначити, що призначення моменту затягування для відповідальних ГРС ремонтіваних вузлів по залежності (2.20) неприпустимо, тому що при одержанні даної залежності було допущено, що коефіцієнти тертя на опорній поверхні гайки й у різьбленні однакові по величині, середній діаметр різьблення дорівнює зовнішньому діаметру. У дійсності ж коефіцієнти тертя не однакові й, як правило, коефіцієнти тертя в різьбленні більше, чим на опо-

рному торці гайки (див. таблицю 1.1), до того ж у різьбового сполучення, що має деякий наробіток, фактичні значення коефіцієнтів тертя не відповідають табличним.

Виразивши з формули (2.19) силу затягування, одержимо:

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

По залежності (2.21) можна визначити силу затягування при деякому моменті, залежно від кроку різьби й значення відношення моментів відгвинчування й загвинчування.

З аналізу робіт [16, 17, 22 та ін] стало очевидним, що в технічних умовах на складання вузлів сільськогосподарської техніки необхідна (розрахункова) величина сили затягування різьбових сполучень не вказується. Величина сили затягування  $F$  у технічних умовах на складання вузлів сільськогосподарської техніки не вказується, а встановити її в умовах ремонтного виробництва не представляється можливим.

У результаті дослідження практики призначення сили затягування різьбових сполучень, нами була отримана функціональна залежність (2.22) для обчислення моменту затягування, виходячи з умови збереження щільності стику деталей або міцності болта сили, що не враховують величини, затягування й коефіцієнтів тертя різьбових поверхонь у явному виді.

При дії зовнішньої сили на різьбове сполучення в осьовому напрямку, виходячи з умови збереження щільності стику деталей, величина необхідного моменту затягування визначиться:



$$M_{\text{зат}} = \frac{0,25 \cdot d_1^2 \cdot K \cdot \sigma_T \cdot P}{\left(1 - \frac{M_{\text{від}}}{M_{\text{зат}}}\right)} = \frac{0,25 \cdot (d - 1,0825 \cdot P)^2 \cdot K \cdot \sigma_T \cdot P}{\left(1 - \frac{M_{\text{від}}}{M_{\text{зат}}}\right)}.$$

(2.22)

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

$K$  - коефіцієнт, що залежить від виду сталі 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 залежність (2.22) дала можливість розробки методики складання ГРС ремонтваних вузлів машин, оскільки всі складові даної залежності можуть бути відомі в умовах ремонтного виробництва.

Затягування групового різьбового сполучення:

1. Болти (гайки) нагвинчуються до зіткнення з опорною поверхнею.
2. Динамометричним ключем проводиться поетапне затягування різьбових сполучень у рекомендованій технічними умовами на складання послідовності до величин обчислених моментів згідно із заповненою таблицею (додаток А).
3. Затягування всіх різьбових сполучень проводиться плавно, з однаковою, по можливості, швидкістю обертання ключа, крім затягування «ривками».

### 2.3. Висновки по розділу

Наведені теоретичні передумови контролю сили затягування різьбових сполучень через відношення моментів відгвинчування й загвинчування.

Зроблений аналіз силового співвідношення в різьбовому сполученні при загвинчуванні й відгвинчуванні, а також розрахунків величини сили затягування різьбових сполучень.

Теоретично обґрунтований контроль сили затягування різьбових сполучень через відношення моментів відгвинчування й загвинчування. Отримані нові функціональні залежності для визначення необхідного моменту затягування, виходячи з умови збереження щільності стику деталей, а також міцності болта затягування, що не враховують силу, і коефіцієнти тертя в явному виді.

На основі наукових досліджень розроблена методика складання ГРС, заснована на контролі сили затягування через відношення моментів відгвинчування й загвинчування.

## РОЗДІЛ 3

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МОМЕНТІВ ЗАТЯЖКИ ТА КОЕФІЦІЄНТУ ТЕРТЯ РІЗЬБОВОГО З'ЄДНАННЯ

#### 3.1. Аналіз дефектів різьбових з'єднань

Як зазначалось раніше різьбові з'єднання займають левову долю всіх з'єднань машини. І як всі деталі поступово або раптово виходять з ладу. Стосовно різьбових сполучень основна причина їх виходу з ладу, не правильне складання або розбирання, дуже часто складаючи вузол слюсарі не користуються рекомендаціями на складання вузлів і затягують різьбові сполучення з запасом, тим самим перетягуючи їх. Слюсарі які складають з'єднання з обережністю недотягують з'єднання, що призводить також до поломки з'єднання. Нижче наведено основні дефекти різьбових з'єднань.

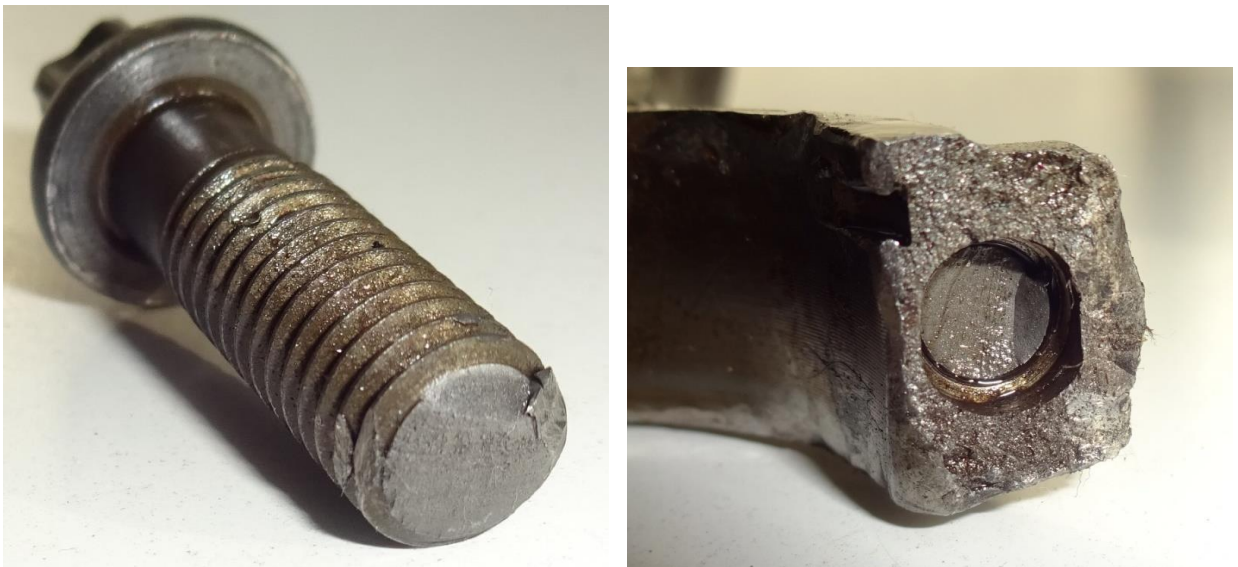


Рис. 3.1. Руйнування шатунного болта внаслідок виникнення мікротріщини, яка в свою чергу виникла із-за перетягування з'єднання

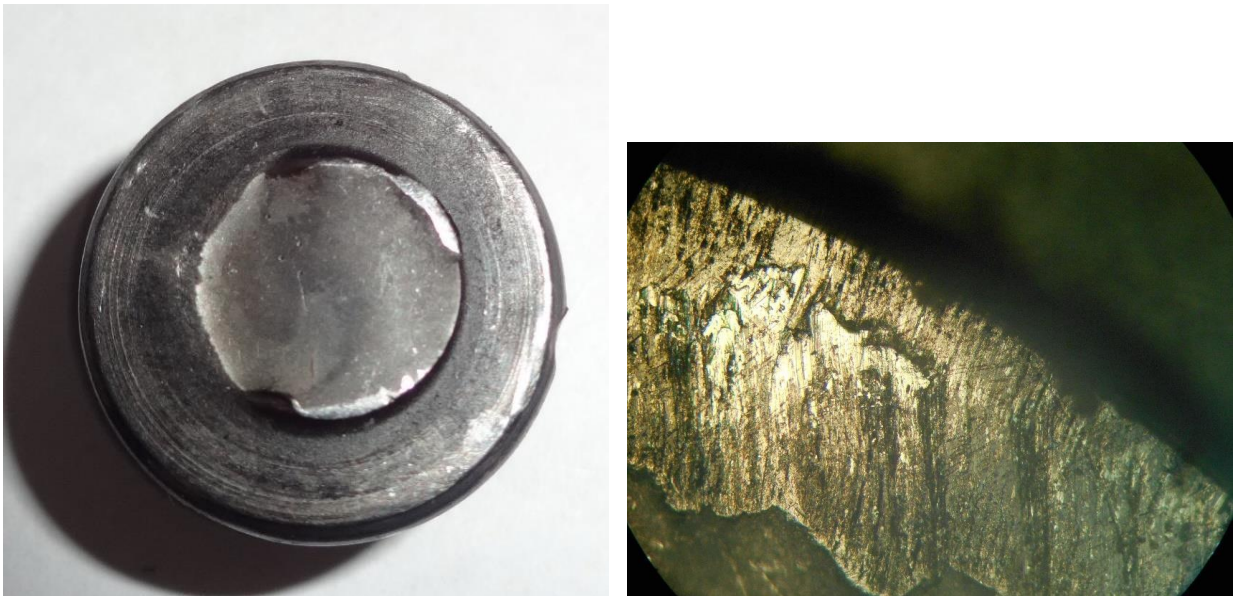


Рис. 3.2. Відламана головка шатунного болта та зона початку розвитку мікротріщини



Рис. 3.3. Знос різьби болта кріплення колеса внаслідок недотягування



Рис. 3.4. Злам шпильки



Рис. 3.5. Стан болтових з'єднань

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

При виконанні експериментів використовувалися наступні прилади, інструменти й матеріали:

- тарований динамометричний ключ (довжина важеля ключа 600 мм,



- ціна розподілу індикаторної головки ключа 0.001 мм);
- лабораторна установка для випробування різьбових сполучень ДМ-27 (ціна поділки індикаторної головки динамометричної пружини 0.001 мм);
- різемір;
- моторне масло Castrol Magnatec 5W-40;
- розчин WD — 40;
- молибденове змащення Hi-Gear 5531;
- спирт технічний;
- кислота азотна;
- вода дистильована;
- ватман (формат А2);
- копіювальний папір.

### **3.3. Методика дослідження впливу стану різьбового сполучення на точність контролю сили затягування по моменту**

Коефіцієнт тертя в різьбі визначаємо на спеціальній установці (рис. 3.6) на основі вимірювань моменту затяжки гайки й осьової сили на болту. Крутний момент вимірюється динамометричним ключем. До корпусу 1 гвинтами 10 приєднано вимірювальний блок (індикатор та пружину 2) виготовлений в вигляді пружини, що дозволяє визначити силу на болту по його деформації. Переміщення вимірюється за допомогою індикатора годинникового типу.

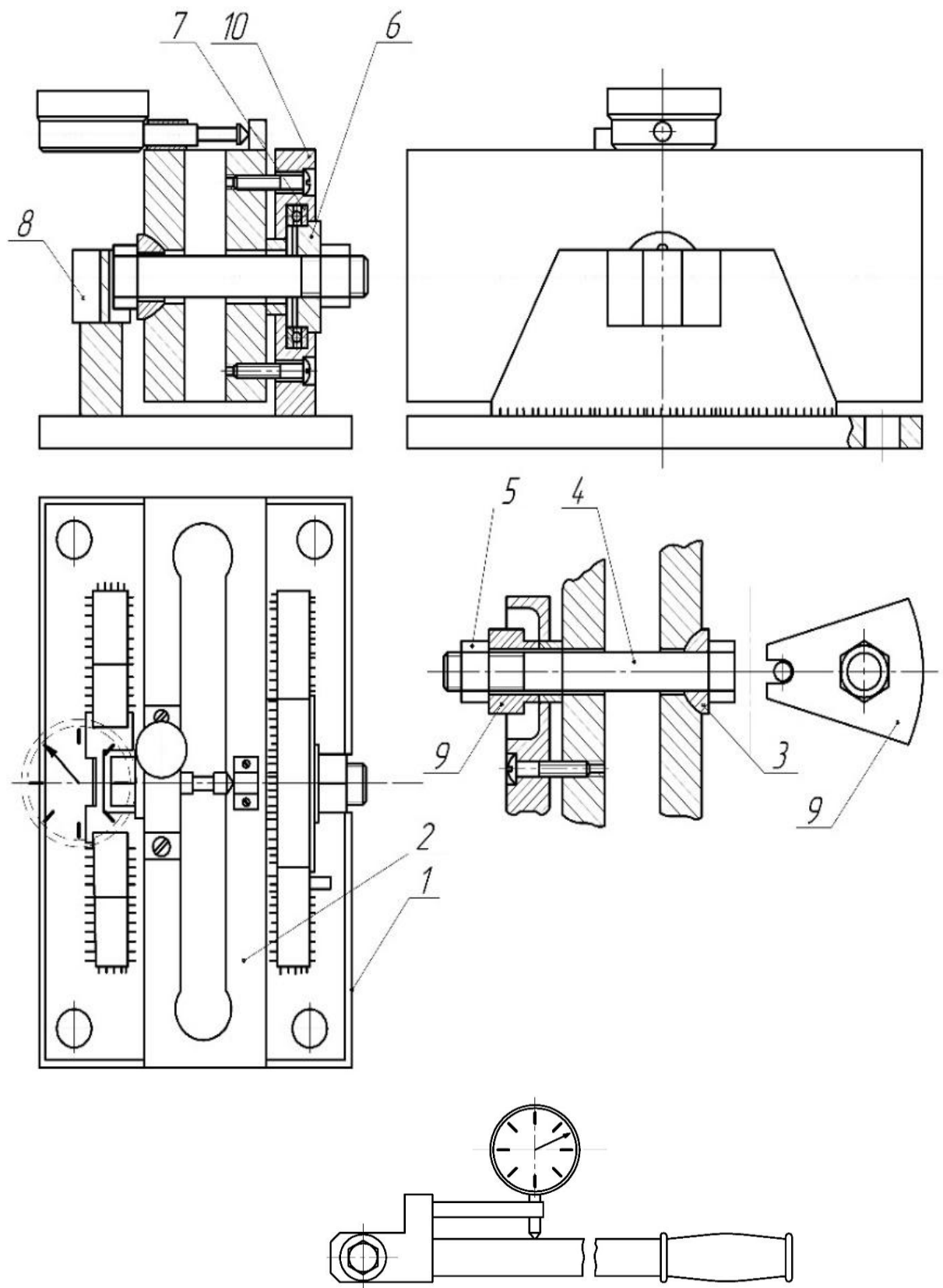


Рис. 3.6. Схема установки ДМ-27

1-корпус, 2-динамометрична пружина, 3-сферична шайба, 4-досліджуваний болт, 5-гайка, 6-втулка, 7-упорний підшипник, 8-змінний су-хар, 9-обмежувач, 10-кріпильні гвинти

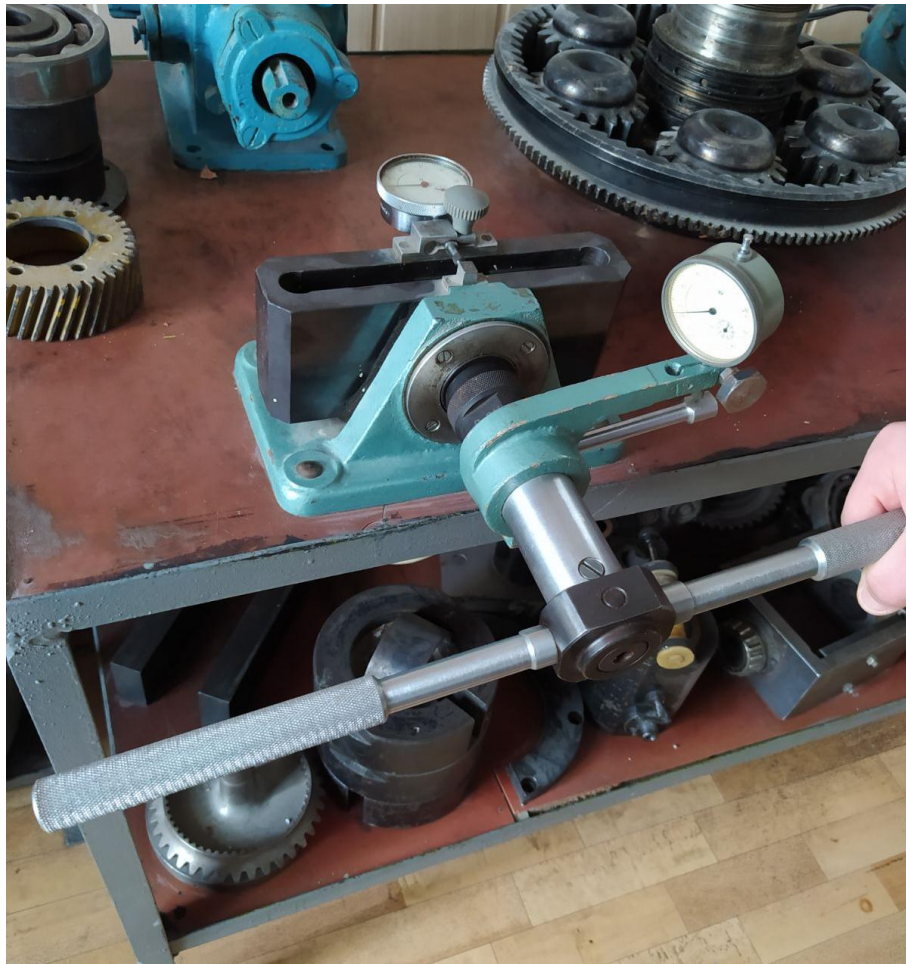


Рис. 3.7. Установка ДМ 27 підготовлена до роботи

Для виключення сили тертя на торці гайки, під неї підкладається кульковий підшипник кочення 7. При вимірюванні коефіцієнту тертя на торці гайки вимірювання проводяться без підшипника. При закручуванні гайки різьбового з'єднання з боку ключа на гайку передається крутний момент  $T_{заг}$ , який перевищує момент в різьбі  $T_p$  й на торці гайки  $T_m$ .





Рис. 3.8. Замір сили затягування

На малюнку 3.9 і 3.10 представлені тарувальні характеристики динамометричного ключа й пружини відповідно.

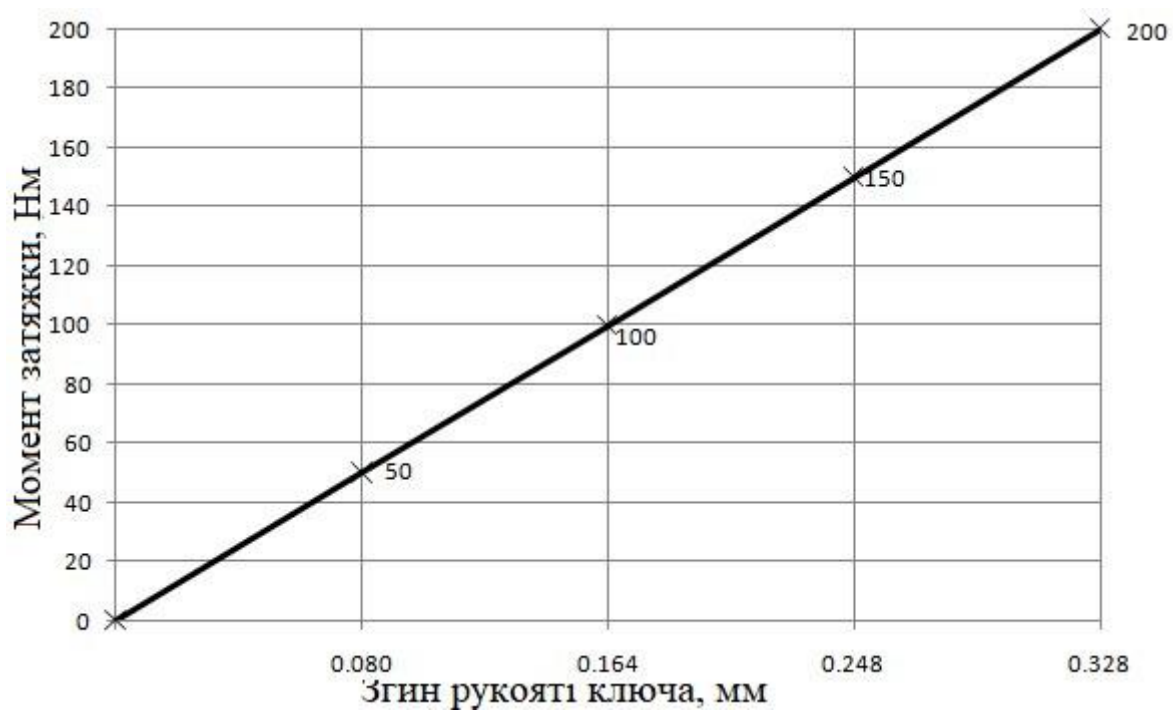


Рис. 3.9. Тарувальна характеристика динамометричного ключа



Рис. 3.10. Тарувальна характеристика динамометричної пружини

При даному експерименті були випробувані болти з різьбою M12x1.75, (покриття оксидне). У ході дослідів проводилися виміри сили затягування при різних станах різьбової пари. Стан різьбової пари змінювався шляхом її

корудування в розчині азотної кислоти, а також застосуванням різних мастильних матеріалів.

Після обробки різьбової пари розчином азотної кислоти процес корудування відбувався в затягнутому стані. У якості деталей, що стягаються, використовували втулку (рис. 3.11). Потім різьбова пара розбиралася, різьба зачищалась металевою щіткою. Візуально ступінь корудування можна оцінити по рис. 3.12.



Рис. 3.11. Різьбова пара в процесі корудування



Рис. 3.12. Різьбова пара після корудування

Перед обробкою різьбової пари одним з мастильних матеріалів залишки попереднього усувалися шляхом промивання в технічному спирті.

При кожному стані різьбова пара зтягалася до однакового значення моменту зтягування з однаковою, по можливості, швидкістю обертання ключа й реєструвалися значення сили зтягування.

Досліджувалися наступні стани різьбової пари:

- 1 - нова різьбова пара без застосування 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 змащенням.

При кожному стані визначалося значення відношення моментів  $M_{від} / M_{заг}$ .

#### **3.4. Методика оцінки точності забезпечення сили зтягування при контролі через відношення моментів відгвинчування й загвинчування**

Оцінку точності забезпечення сили зтягування 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 M12x1,75, 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 зна-

чення;

- 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 [30] оцінювали точність забезпечення сили затягування при контролі через відношення моментів відгвинчування й загвинчування.

### **3.5. Методика дослідження рівномірності затягування ГРС вузла, що ремонтується**

Дослідження рівномірності затягування ГРС ремонтovanого вузла (агрегату) робили на прикладі кріплення ГБЦ двигуна ЗІЛ-130. У подібний двигун має дві ГБЦ, кожна з яких кріпиться 17-тю болтами з різьбою  $M12 \times 1.75$  (покриття оксидне, клас міцності 10.9, границя текучості 900 МПа). Наробіток двигуна на момент експерименту становив 252 тис. км.

Виконували виміри моментів загвинчування й відгвинчування для кожного різьбового сполучення в ГРС відповідно розробленому технологічному прийому (розділ 2) з наступним визначенням відношення  $M_{від} / M_{заг}$ .

Алгоритм визначення відношення  $M_{від} / M_{заг}$  у ГРС:

1. Розбирання ГРС;
2. Промивання різьбових сполучень розчином WD-40;
3. Дефектовка різьбових поверхонь (візуальний огляд на наявність деформації або обриву витків різьби);
4. Змащення різьбових сполучень моторним маслом;
5. Нагвинчування болтів до зіткнення з опорною поверхнею;
6. Поетапне затягування болтів до величини рекомендованого моменту (80 Нм) у рекомендованій послідовності;



7. Нанесення розмітки положень головок болтів щодо корпусу ГБЦ за допомогою маркера (рис. 3.13);

8. Забір моменту загвинчування при «рушанні болта з місця» на кожному різьбовому сполученні, реєстрація вимірних значень;

9. Повернення болтів у розмічені положення;

10. Забір моменту відгвинчування при «рушанні болта з місця» на кожному різьбовому сполученні, реєстрація вимірних значень;

11. Обробка даних, співвідношення моментів  $M_{від} / M_{заг}$ .

Перед промиванням на різьбових поверхнях болтів ГБЦ, конструктивно розташованих зовні вузла, спостерігалися сліди корозії й наявність абразивних часток. У болтів, розташованих усередині вузла (під кришкою клапанів), на різьбовій поверхні спостерігалися залишки масла, що прикипіло, і абразивні частки. Виміри моментів відгвинчування й загвинчування при «рушанні болта з місця» для кожної різьбової пари виконували по 3 рази й ухвалювали їхні середні значення.



Рис. 3.13. Розмітка болтів ГБЦ

На основі отриманих даних по залежності (2.21) визначали сили затягування при рекомендованому моменті 80 Нм і спостерігали їхній розкид у ГРС.

Методом контактних відбитків оцінювали якість прилягання привалочних поверхонь ГБЦ і блоку двигуна при затягуванні ГРС із рекомендованими технічними умовами моментом (80 Нм) і при складанні ГРС за розробленою

методикою (тобто з контролем сили затягування через відношення моментів відгвинчування й загвинчування). Для цього вирізані за формою прокладки ГБЦ ватман і копіювальний папір уклали на привалочну поверхню блоку циліндрів під прокладку (рис. 3.14). Потім акуратно встановлювали ГБЦ на блок двигуна.

У першому випадку ГРС ГБЦ затягували до величини рекомендованого моменту 80 Нм. У другому випадку затягування ГРС ГБЦ робили за розробленою методикою. У кожному випадку після демонтажу ГБЦ акуратно виймали ватман і по інтенсивності фарбування поверхні відбитка аналізували характер розподілу контактних тисків (сил затягування в болтах) і якість прилягання привалочних поверхонь. Відхилення від площинності привалочних поверхонь перебували в межах допуску й не перевищували 0.15 мм на всій довжині поверхні й 0.05 мм на довжині 100 мм [31].

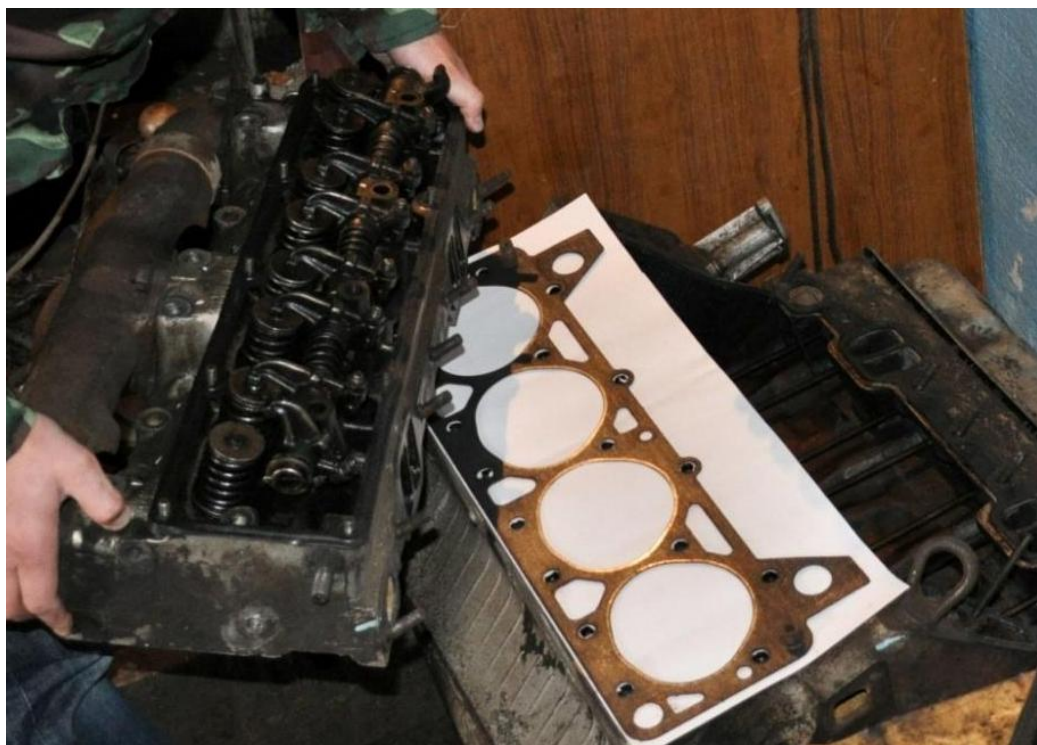


Рис. 3. 14. До методу контактних відбитків



a



б



в





Г

Рис. 3.15. Нанесення на болти моторного масла і їх встановлення

### **3.6. Результати дослідження впливу стану різьбового сполучення на точність затяжки за моментом**

При експериментальному дослідженні залежності сили затягування від моменту при різному стані різьбової пари були застосовані методи математичного планування експерименту [5, 30]. Результативною змінною  $Y$  була сила затягування, фактором, що впливає, був момент затягування  $X$ . На основі отриманих даних був проведений кореляційний і регресійний аналіз [30].

Кореляційний аналіз застосовували для знаходження характеру й тісноти зв'язки між величинами  $X$  та  $Y$ . Регресійний аналіз застосовували для знаходження рівняння регресії, що дозволяє знайти значення результативної змінної  $Y$  при відомій факторній змінній  $X$ .

Мінімальна кількість вимірів при кожному стані різьбової пари ухвалювалося згідно з умовою [30] і склало 5 раз:

$$t_{a,n}^2 \cdot \left( \frac{S_x}{\Delta x} \right)^2 \leq n \quad (3.1)$$

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

$S_x$  - середньоквадратичне відхилення вимірюваної величини;

$\Delta x$  - довірчий інтервал  $\Delta x = S_x$  при  $\alpha = 0.05$ ) [30].

Верхній рівень інтервалу варіювання фактора обмежений виміральною можливістю використовуваного встаткування.

У таблиці 3.1 наведені результати вимірів сили затягування випробуваної різьбової пари M12x1.75.

Таблиця 3.1. Результати випробувань різьбової пари M12x1.75

X, Нм	Значення Y при різному стані різьбової пари, Н					
	1	2	3	4	5	6
6	2446	2905	2966	1835	2140	2232
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
Мвід / Мзаг	0.75	0.73	0.72	0.80	0.78	0.77

З таблиці 3.1 видно, що залежно від стану різьбової пари при тому самому моменті сили затягування значно відрізняються одна від одної. Різниця між максимально створеною величиною сили затягування (стан 3) і мінімальної (стан 4) склала 6.5 кН, що рівно 27% від максимального значення. Якщо проаналізувати сили затягування при станах 3 і 6 видно, що в результаті процесу корудування при тому самому моменті й виді мастильного матеріалу сила затягування зменшилась в середньому на 23%. Спостерігалось, що при застосуванні мастильного матеріалу відношення Мвід / Мзаг зменшується,

що свідчить про те, що зі збільшенням коефіцієнтів тертя в різьбовому сполученні відношення  $M_{від} / M_{заг}$  прагне до одиниці.

На рис. 3.16 представлений графік експериментальних і теоретичних залежностей  $F = f(M_{заг})$ , для 6-ти станів різьбової пари M12 x 1.75.

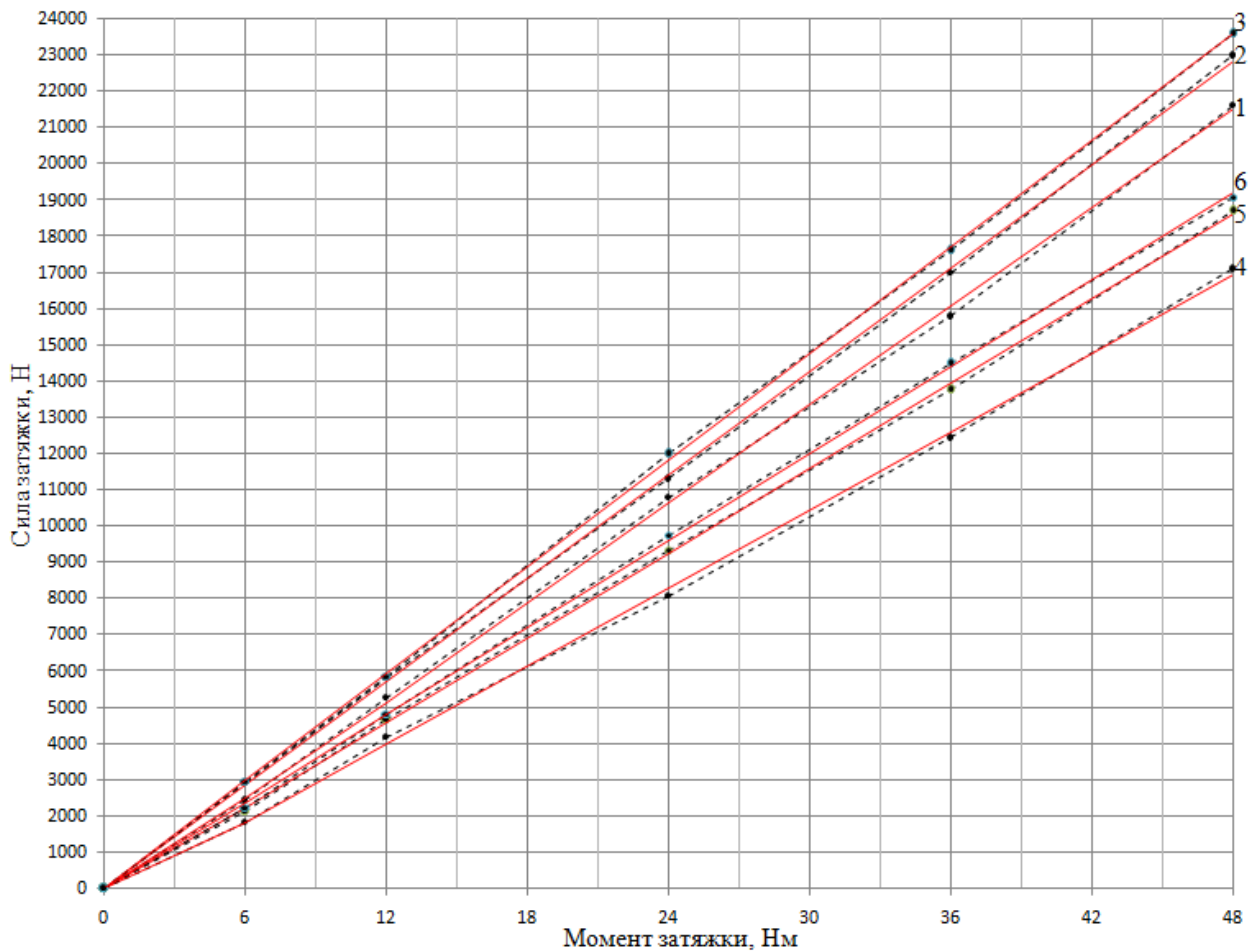


Рис. 3.16. Графік експериментальних (штрихові лінії) і теоретичних (суцільні лінії) залежностей  $F = f(M_{заг})$  для різьбової пари M12x1.75

### 3.7. Результати дослідження рівномірності затягування ГРС вузла, що ремонтується

Дослідження показали, що розкид значень  $M_{від} / M_{заг}$  для 34 болтів двох ГБЦ перебував в інтервалі від 0.7 до 0.83, що підтверджує неоднаковість (різницю) станів різьбових сполучень у ГРС, а це, у свою чергу, і є причиною нерівномірного затягування. Із цього випливає, що при затягуванні ГРС головок циліндрів даного двигуна з рекомендованим моментом 80 Нм

розкид сил затягування перебував в інтервалі від 24 до 43 кН.

У таблицях 3.2 і 3.3 представлені результати вимірів моментів, середні значення відношення  $M_{від} / M_{заг}$  і значення сил затягування  $F$ , визначених по залежності (2.22).

За умовою збереження міцності болта необхідна величина сили затягування для болтів даної групи становить 36075Н (таблиця 3.4). З таблиць 3.2, 3.3 видно, що при затягуванні ГРС із рекомендованим технічними умовами моментом різьбові пари з меншими значеннями відношення  $M_{від} / M_{заг}$  виявляються перетягненими, з більшими значеннями  $M_{від} / M_{заг}$  — недотягнутими.

Таблиця 3.4 - Значення сили затяжки по умові 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	$\frac{11015}{13218}$	$\frac{13218}{15862}$	$\frac{17624}{21149}$	$\frac{24784}{29741}$	$\frac{29741}{35689}$
	M12	$\frac{16903}{20284}$	$\frac{20284}{24341}$	$\frac{27046}{32455}$	$\frac{38033}{45639}$	$\frac{45639}{54767}$
	M14	$\frac{24048}{28857}$	$\frac{28857}{34629}$	$\frac{38476}{46172}$	$\frac{54107}{64929}$	$\frac{64929}{77915}$
	M16	$\frac{32448}{38938}$	$\frac{38938}{46725}$	$\frac{51917}{62300}$	$\frac{73008}{87610}$	$\frac{87610}{105132}$
	M18	$\frac{42104}{50525}$	$\frac{50525}{60630}$	$\frac{67367}{80840}$	$\frac{94735}{113682}$	$\frac{113682}{136418}$

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

Зробимо дослідно-статистичну обробку експериментальних даних [30]. Для оцінки характеру розподілу величини  $M_{від} / M_{заг}$  зведемо результати вимірів у статистичний ряд (таблиця 3.5).

Таблиця 3.5 - Групування результатів вимірів

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	1
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 3.2 – Результати замірів моментів затягування ГБЦ 1

№	Замір 1		Замір 2		Замір 3		Мзаг, Нм	Мвід, Нм	Мвід / Мзаг	F, Н
	Мзаг, Нм	Мвід, Нм	Мзаг, Нм	Мвід, Нм	Мзаг, Нм	Мвід, 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	<b>39618</b>
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	<b>24259</b>
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 3.3 – Результати замірів моментів затягування ГБЦ 2

№	Замір 1		Замір 2		Замір 3		Мзаг, Нм	Мвід, Нм	Мвід / Мзаг	F, Н
	Мзаг, Нм	Мвід, Нм	Мзаг, Нм	Мвід, Нм	Мзаг, Нм	Мвід, Нм				
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
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	<b>42632</b>
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	<b>30000</b>
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

Як показав експеримент, у різьбовій групі ГБЦ 1 (таблиця 3.2) різниця між максимальним і мінімальним значеннями сил затягування рівне 15367 Н, що становить 39 % від максимального значення. У різьбовій групі ГБЦ 2 (таблиця 3.3) дана різниця склала 12638 Н (30% від максимального значення).

Якщо представити ГБЦ 1 у вигляді прямокутної поверхні, на яку в 17-ти крапках перпендикулярно діють сили, рівні силам затягування, а місця розташування крапок на поверхні відповідають місцям розташування болтів ГБЦ, тоді згідно даним таблиці 3.2 графік розподілу величини  $F$  на цій поверхні в тривимірному просторі буде мати такий вигляд (рис. 3.17).

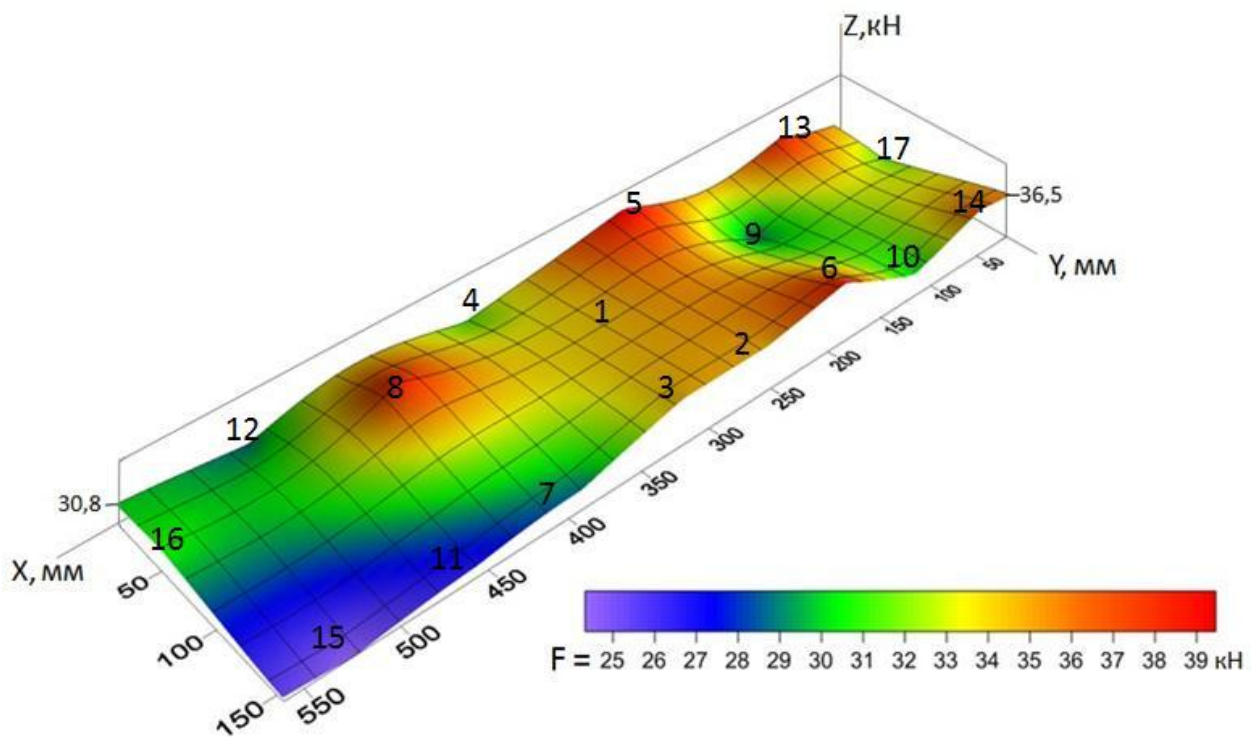


Рис. 3.17. Розподіл зусиль затягування болтів ГБЦ

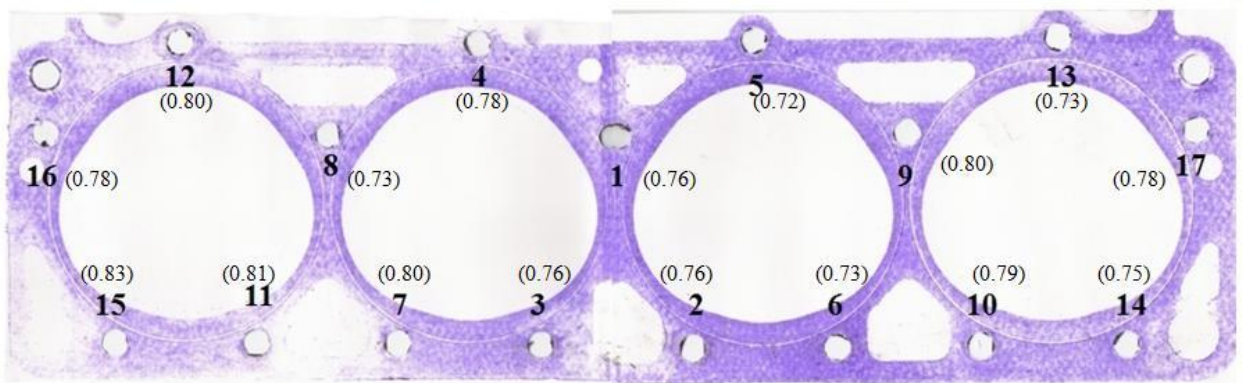
Експериментальна оцінка якості прилягання привалочних поверхонь ГБЦ 1 і блоку двигуна методом контактних відбитків підтвердила висновки про нерівномірність сил затягування в ГРС при однаковому моменті затягування 80 Нм. На рис. 3.18 представлені отримані відбитки ГБЦ 1.

На рис. 3.18 а видно, що в області РС під номерами 7, 11, 12, 15 інтенсивність фарбування менше. Нерівномірність фарбування відбитка свідчить про нерівномірність контактних тисків, що діють із боку ГБЦ, а, отже, і про

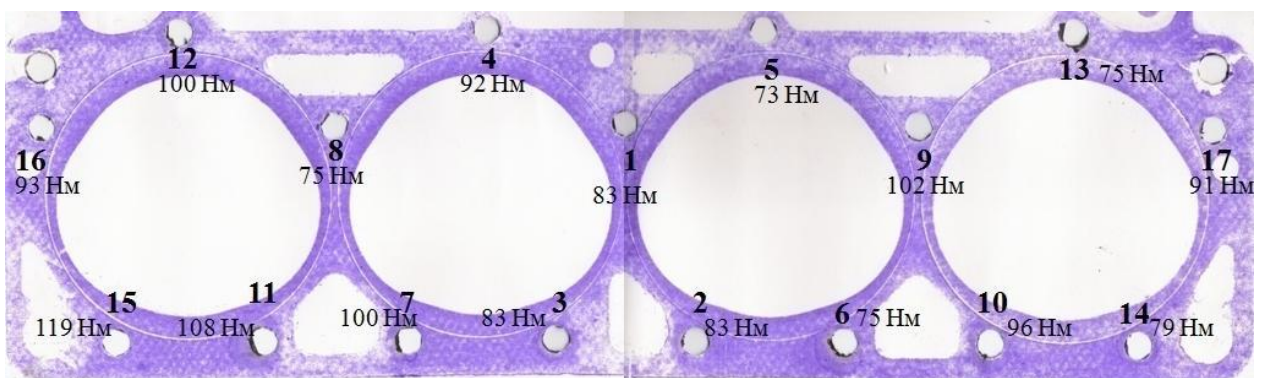


нерівномірність сил затягування в ГРС. З аналізу даних таблиці 3.2, тривимірного графіка (рис. 3.17) і відбитка (рис. 3.18 а) стає очевидно, що РС (7, 9, 10, 11, 12, 15) при затягуванні з рекомендованим моментом 80 Нм виявилися недотягнутими. Значення відношення моментів  $M_{від} / M_{заг}$  для даних РС були ближче до одиниці, що свідчить про відносно високі коефіцієнти тертя в цих різьбових парах і пояснює недостатність у них сил затягування. У той час як РС (8, 5, 6, 13) виявилися перетягнутими.

На рис. 3.18 б спостерігається більш рівномірне фарбування відбитка, що надає право судити про більш рівномірний розподіл сил затягування в ГРС при складанні за розробленою методикою (тобто із застосуванням контролю сили затягування через відношення моментів відгвинчування й загвинчування).



а



б

Рис. 3.18. Відтиск ГБЦ 1

а – затяжка 80 Нм, в дужках значення відношення  $M_{від} / M_{заг}$ , б – затяжка по розробленій методиці

### 3.8. Висновки

Розроблена методика експериментального дослідження впливу стану різьбового сполучення на точність контролю сили затягування по моменту.

Розроблена методика оцінки точності забезпечення сили затягування при контролі через відношення моментів відгвинчування й загвинчування.

Розроблена методика дослідження рівномірності затягування ГРС і оцінки якості прилягання привалочних поверхонь ремонтovanого вузла.

Установлений і оцінений вплив стану різьбового сполучення на точність контролю сили затягування по моменту. При однаковому моменті максимальна різниця між створеними силами затягування склала 6.5 кН, що дорівнює 27 % від максимального значення. У результаті процесу корудування при наявності того самого виду мастильного матеріалу сила затягування при однаковому моменті зменшилась на 23%.

Оцінка точності забезпечення сили затягування при контролі через відношення моментів відгвинчування й загвинчування із застосуванням розробленого технологічного прийому по виміру моментів показала, що точність затягування при такому контролі становить + 5%.

Дослідження рівномірності затягування ГРС ремонтovanого вузла (агрегату) на прикладі кріплення ГБЦ двигуна ЗИЛ 130 показало, що розкид значень  $M_{від} / M_{заг}$  для 34 болтів двох ГБЦ перебував в інтервалі від 0.7 до 0.83. Це означало, що при затягуванні ГРС головок циліндрів даного двигуна з рекомендованим моментом 80 Нм сили затягування перебували в інтервалі від 24 до 43 кН.

Експериментальна оцінка якості прилягання привалочних поверхонь ГБЦ і блоку двигуна методом контактних відбитків підтвердила адекватність висновків про нерівномірність сил у ГРС при затягуванні з рекомендованим моментом 80 Нм. Оцінка якості прилягання привалочних поверхонь також підтвердила більш рівномірний розподіл сил затягування при складанні ГРС

за розробленою методикою.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### 4.1. Загальні відомості про охорону праці на підприємстві

Організація охорони праці в сільському господарстві і АПК - це передбачений чинним законодавством комплекс заходів щодо державного регулювання охорони здоров'я працівників АПК, забезпечення виконання основних вимог законодавства з охорони праці безпосередньо на підприємствах, дотримання кожним працівником правил і норм охорони праці.

"Охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності" [32].

Відповідно до Закону України "Про охорону праці" [32], дія якого поширюється на всіх юридичних та фізичних осіб, які відповідно до законодавства використовують найману працю, та на всіх працюючих, обов'язок створення на робочому місці в кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечення дотримання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці покладається на керівника господарства. З цією метою керівник господарства забезпечує функціонування системи управління охороною праці, яка повинна передбачати підготовку, прийняття і реалізацію завдань щодо здійснення організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності найманих працівників у процесі їх трудової діяльності.

Стосовно базового господарства ФГ "Ксенія Агро" м. Марганець заходи з охорони праці проводяться керівником господарства Жигою О.Г., так як господарство має 42 працівники і посада спеціаліста з охорони праці не передбачена штатним розкладом і законодавством. Всі робітники господарства

і відділення з ремонту двигунів проходять обов'язкове соціальне страхування як і передбачено чинним законодавством [33], а окремо з ініціативи керівництва робітники також мають медичне страхування і можуть лікуватись за рахунок медичного страхування.

Господарство умовно можна розділити на дві складові це: рослинництво і ремонтно-експлуатаційна служба.

В дипломній роботі ми розглядаємо вплив якості затягування різьбових з'єднань на роботу відремонтованих вузлів, в основному це кріплення головок циліндрів. І всі роботи виконуються на ділянці з ремонту двигунів.

При роботі в господарстві та у майстерні виникають певні небезпечні та шкідливі фактори [34]. В цілому по господарству є вимоги до його роботи так як господарство знаходиться в 30 кілометровій зоні Запорізької АС, відстань від господарства до АС 17 км. Тому в господарстві окрім звичайних заходів, що притаманні даному виробництву розробляють ще й заходи з радіаційної безпеки згідно норм радіаційної безпеки [35, 36] та заходи захисту в разі виникнення надзвичайної ситуації.

Також в господарстві є нафто господарство де зберігається та видається паливо та мастильні матеріали, на зварювальній ділянці користуються киснем та ацетиленом, на складі зберігають ядохімікати якими оброблюють рослини від захворювань та шкідників.

На ділянці з ремонту двигунів відсутні об'єкти підвищеної небезпеки згідно переліку [34], але проводяться ремонти двигунів вага яких сягає 500 кг і їх треба пересувати та транспортувати, що в свою чергу робить ці роботи небезпечними. Також на ділянці є елементи вібрації та підвищеного шуму.

#### **4.2. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів у відділенні з ремонту автотракторних двигунів**

У відділенні з ремонту двигунів де і проводились дослідження по дипломній роботі мають наступні шкідливі та небезпечні виробничі фактори:

- переміщення крупно габаритних масивних деталей;
- підвищений шум.

Переміщення крупно габаритних масивних деталей у відділенні це поперше сам двигун вага якого в середньому становить 500 кг. Тому транспортування на ділянку та встановлення на підставки є досить важким та небезпечним процесом бо транспортування відбувається за допомогою візка "кран-гусь" який штовхають робітники.

В нашій роботі моделювався процес контролю рівномірності затягування болтів і приходилось знімати та встановлювати головку циліндрів, вага якої становить 17 кг (Зіл 130), а при ремонті двигунів слюсарі постійно переміщують головки циліндрів, колінчасті вали-вага яких в середньому 50 кг та інші деталі.

Ці деталі становлять загрозу так як можуть травмувати кінцівки, а при неправильному переміщенні, що досить часто трапляється (робітники не використовують підйомно-транспортне обладнання, а перевертають чи переміщують агрегати в руках) ушкоджують спину.

Так в 2017 році внаслідок падіння шатуна с поршнем в зборі слюсар травмував ногу (був забій та тріщина кістки), акт про травмування не складали, а керівництво відшкодувало лікування.

Шум – це безладна комбінація різних за рівнем і частоті звуків. Шум у відділенні з ремонту двигунів виникає в наслідок ударів, роботи компресорного обладнання для продування та приводу інструменту (гайковерти, знімачі). Також враховуючи те, що майстерня не велика всі роботи по відновленню деталей двигуна теж проводяться на ділянці з ремонту двигунів, наприклад притирання клапанів до сідел проводять за допомогою електродріля з спеціальним пристосуванням і т.д.

З фізіологічної точки зору шумом є всякий небажаний, неприємний для

сприйняття людини шум. Шум погіршує умови праці, виявляючи шкідливий вплив на організм людини. При тривалому впливі шуму на організм людини відбуваються небажані явища [37, 38]:

- знижується гострота зору, слуху;
- підвищується кров'яний тиск;
- знижується увага.

Сильний тривалий шум може бути причиною функціональних змін серцево-судинної й нервової систем, що приводить до захворювань серця й підвищеної нервозності.

Вухо людини сприймає звукові коливання із частотою від 16 до 20000 Гц. Звуки із частотою нижче 16 Гц називають інфразвуками, а вище 20000 Гц - ультразвуками. Інфразвуки й ультразвуки також впливають на людину, але він їх не чує.

Гігієнічні норми припустимих рівнів звукового тиску й рівня звуку на робочих місцях приводяться в [37, 38].

#### **4.3. Заходи по забезпеченню захисту працівників від дії шкідливих та небезпечних факторів**

- Заходи по забезпеченню захисту працівників поділяються на дві групи:
- організаційні;
  - технологічні.

Для уникнення травмувань у відділенні з ремонту двигунів як і у всьому господарстві проводяться інструктажі з охорони праці та безпечній роботі на пристроях. Організувати регулярне щорічне проходження медичних оглядів.

Впроваджено згідно законодавства регламентовані години роботи та відпочинку [39].

У відділенні необхідно встановити кран-укосину для переміщення вантажів, бо пересувний кран-гусь не зручний при знятті та встановленні деталей на агрегат і їх переміщенні з одного робочого місця на інше.

Більш суворо слідкувати за робітниками, щоб вони дотримувались правил роботи з важкими деталями [40].

Заходу щодо зниження рівня шуму на робочих місцях.

Зниження шуму, створюваного на робочих місцях внутрішніми джерелами, а також шуму, що проникає ззовні, здійснюється наступними методами:

зменшенням шуму в джерелі;

раціональним плануванням приміщення;

зменшенням шуму по шляху його поширення.

Рекомендується використовувати нове менш гучне встаткування. Зниження шуму в джерелі випромінювання можна забезпечити й застосуванням звукобірних панелей і перегородок. Можливе використання прокладок, що амортизують (підбивки під принтери, столи, на яких вони розташовані). Не менш важливим для зниження шуму в процесі експлуатації є питання правильного й своєчасного регулювання, змазування або заміни механічних вузлів шумливого встаткування.

Також необхідно винести компресор за межі ділянки бо він є найбільш інтенсивним джерелом шуму.

#### **4.4. Правила безпечного виконання робіт слюсарем при ремонті автотракторних двигунів**

##### **Загальні вимоги**

До самостійної роботи з ремонту автомобіля допускаються особи, що мають відповідну кваліфікацію, що пройшли вступний інструктаж на робочому місці по охороні праці. Слюсар, що не пройшов вчасно повторний інструктаж з охорони праці й відповідну щорічну перевірку знань не повинен



приступати до роботи. При надходженні на роботу слюсар повинен проходити попередній медогляд, а надалі - періодичні медогляди, установлені Міністерством охорони здоров'я.

Забороняється користуватися інструментом, пристосуваннями, устаткуванням, роботою з якими слюсар не навчений.

Слюсар зобов'язаний дотримуватися правил внутрішнього трудового розпорядку, а також правила пожежної безпеки, які затверджені на підприємстві. Палити дозволяється тільки в спеціально відведених місцях. Вживати спиртні напої й наркотичні речовини перед і (або) у процесі роботи забороняється.

Слюсар повинен знати, що найнебезпечнішими й шкідливими виробничими факторами, що діють на нього в процесі виконання робіт є:

- Легкозаймисті рідини та їхні пари, гази
- Етиловий бензин
- Устаткування, інструмент, пристосування.

Легкозаймистий рідини та їх пари, газ - при порушенні правил пожежної безпеки в роботі з ними можуть стати причиною пожежі й вибуху. Крім того, пари й гази, потрапляючи в органи дихання, викликають отруєння організму.

Етиловий бензин - діє отруючи на організм, при вдиханні його парів, забрудненні ним тіла, одягу, потраплянні його в організм із їжею й питною водою.

Слюсар повинен працювати в спецодязі і якщо буде потреба використовувати інші засоби індивідуального захисту.

Слюсар повинен виконувати тільки роботу, доручену йому безпосереднім керівником. Під час роботи він повинен бути уважним, не відволікатися на сторонні справи й розмови.

Про замічені порушення вимог безпеки на своєму робочому місці, а також про несправності встаткування, пристосувань, інструмента й засобів індивідуального захисту слюсар повинен повідомити свого безпосереднього

керівника й не приступати до роботи до усунення замічених порушень і несправностей.

Слюсар повинен уміти надавати першу допомогу потерпілому відповідно до інструкції по наданню першої допомоги при нещасному випадку.

Про кожний нещасний випадок, очевидцем якого він був, слюсар повинен негайно повідомити адміністрації підприємства, а потерпілому надати першу допомогу, викликати лікаря або допомогти доставити потерпілого в здравпункт або найближчу медичну установу.

Якщо нещасний випадок відбувся із самим слюсарем, він повинен по можливості звернутися в здравпункт, повідомити про те, що трапилося, адміністрацію підприємства або попросити зробити це когось із навколишніх.

### **Вимоги безпеки перед роботою**

Перед початком роботи необхідно підготувати необхідні для роботи засоби індивідуального захисту. Надягти й заправити спецодяг, застебнути манжети рукавів. Одержати завдання на роботу у свого безпосереднього керівника. Не виконувати роботу без одержання завдання й на прохання водіїв або інших осіб.

Оглянути й підготувати своє робоче місце, забрати всі зайві предмети, не захарашуючи проходів.

Перевірити стан підлоги на робочому місці. Якщо підлога слизька або волога, зачекати, що б її витерли або посипали, або зробити це самому.

Перевірити наявність і справність інструмента, пристосувань і встаткування. Не працювати несправним інструментом і пристосуваннями або на несправному встаткуванні й не тільки робити самому усунення несправностей.

Перевірити наявність пожежного інвентарю на ділянці й у випадку відсутності такого сповістити про це своєму керівникові.

Включити приточно - витяжну вентиляцію і якщо буде потреба місцеву вентиляцію.

Для виключення ураження електричним струмом електроінструменти заземлюють.

### **Вимоги безпеки під час роботи**

Приступаючи до роботи з технічного обслуговування й ремонту автомобіля, вжити заходів, що виключають проливання палива з паливного бака, паливопроводів і приладів системи живлення. Переконатися в тім, що закрито зливні й магістральні вентиля і чи немає в газопроводах газу під тиском.

При ремонті вжити заходів по запобіганню іскроутворення шляхом зняття клем з акумулятора або його відключення спеціальним пристроєм.

Знешкодити перед розбиранням карбюратори й бензонасоси, що працюють на етиловому бензині, а також їхні деталі.

Робити мийку деталей тільки в місцях, відведених для цієї мети. Мийні ванни з керосином по закінченні закривати кришками.

Робити розбирання й ремонт у спеціальних верстатах або стендах. Користуватися тільки спеціальними пристосуваннями.

Перевірку надійності пуску двигуна й регулювання мінімальних обертів холостого ходу робити на спеціальних постах, обладнаних місцевим відсосом газів якщо пости, розташовані в приміщенні зони ПР.

Перед запуском двигуна перевірити, чи загальмований автомобіль стояночним гальмом і є чи спеціальні упори під колесами, чи встановлений важіль на перемиканнях передач (контролера) у нейтральне положення.

Для безпеки переходу через оглядові канави, а також для роботи попереду й з позаду автомобіля користуватися перехідними містками, а для спуску в оглядову канаву - спеціально встановленими для цієї мети сходами.

У ремонтній зоні забороняється:

Користуватися відкритим вогнем, переносними горнами, паяльними лампами й т.п. У ті приміщення де застосовуються легкозаймисті горючі рідини (бензин, гас і т.п.), також у приміщеннях з легкозаймистими матеріалами (деревообробні, шпалерні й т.п.);

Установлювати в зоні автомобілі в кількості, що перевищує норму, або порушувати спосіб їхнього розміщення .

Захаращувати запасні ворота, як усередині, так і зовні

На кожні 50 м<sup>2</sup> повинен бути один вогнегасник, але не менше двох на кожне приміщення.

У приміщення встановлюють ящики із сухим піском з розрахунку 0,5 м<sup>3</sup> на 100 м<sup>2</sup> площі, але не менш одного на кожне окреме приміщення. Ящики офарблюють у червоний колір і постачають лопатою й совком.

### **Вимоги безпеки після закінчення роботи**

Стиснути створи пресу, накинути на нього страхові скоби та встановити у вертикальне положення.

Відключити прес від електромережі та повітропроводу високого тиску.

Прибрати робоче місце. Відходи виробництва винести у відведене місце. Звільнити проходи та підходи до робочого місця.

Інструмент та пристосування, які використовувались під час проведення робіт укласти в місце схову.

Зняти та очистити спецодяг, засоби індивідуального захисту укласти їх у відведене місце.

Вимити руки та обличчя теплою водою з милом. При можливості прийняти теплий душ.<sup>1</sup>

Повідомити керівника робіт про всі недоліки, які мали місце під час проведення робіт.

## **4.5. Дії у разі настання надзвичайної ситуації**

Як зазначалось у пункті 1 господарство знаходиться в 30-ти кілометровій зоні дії Запорізької АС тому проведемо прогнозування радіаційної обстановки внаслідок аварії на АС та дій керівництва і робітників у цій ситуації.

Вихідні дані (прийняті умовно):

- тип реактору – ВВЕР 1000;
- відсоток викиду радіонуклідів в повітря  $h = 10\%$ ;
- швидкість вітру  $V = 2$  м/с.
- напрям вітру – в бік ФГ "Ксенія Агро";
- координати АЕС – Запорізька АЕС.
- астрономічний час аварії Тав – 8.00.
- стан хмарного покриву – середній.
- відстань від ФГ "Ксенія Агро" до аварійного реактора  $R_x$  (км) - 17.
- категорія стійкості атмосфери - ізотермія.

При заданих вихідних умовах утворюються слідові хмари [41]. Результати заносимо до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1-Розміри зон забруднення

№	Позначення зони	Зона	Довжина, км	Ширина, км	Площа, км <sup>2</sup>
1	М	Радіаційної небезпеки	155	8,76	1070
2	А	Помірного забруднення	29,5	1,16	26,8
3	Б	Сильного забруднення	-	-	-
4	В	Небезпечного забруднення	-	-	-

За даними розрахунку встановлено, що ФГ "Ксенія Агро" потрапляє в зону Б дії радіоактивної хмари "Сильного забруднення" так як відстань становить 17 км.

Середньодобовий коефіцієнт захисту для звичного режиму проживання жителів міста визначається за формулою:

$$C_{op} = \frac{24}{t_{отк} + \frac{t_{зд}}{k_{осл}}}, \quad (4.1)$$

де  $t_{отк}$  – час перебування жителів села та робітників господарства на відкритій місцевості, год;

$t_{зд}$  – час перебування жителів села та робітників господарства в будівлях, год.

$$C_{op} = \frac{24}{6 + \frac{18}{7}} = 2,8 \text{ год.}$$

Середньодобовий коефіцієнт захисту для режиму «укриття»:

$$C_{укр} = \frac{24}{t_{отк} + \frac{t_{зд}}{k_{зд}} + \frac{t_{укр}}{k_{укр}}}, \quad (4.2)$$

де  $t_{отк}$  – час перебування жителів та робітників на відкритій місцевості, год;

$t_{зд}$  – час перебування жителів та робітників в будівлях, год;

$t_{укр}$  – час перебування жителів та робітників в укритті, год.

$$C_{укр} = \frac{24}{2 + \frac{12}{7} + \frac{10}{40}} = 6,1 \approx 6 \text{ год.}$$

Таким чином, початок формування сліду радіаційної хмари потрібно очікувати:

$$t_{\phi}^H = T_{ав} + t_{\phi} = 8,00 + 5,0 = 13,0 \text{ год,} \quad (4.3)$$

тому варто негайно сповістити населення про аварію, надати їм рекомендації стосовно підготовки житлових і службових приміщень, а також підвалів до функціонування в умовах радіоактивного забруднення, нагадати про створення запасів продуктів харчування і води в герметичних упаковках.

На період формування радіоактивної хмари, жителів та робітників необхідно евакуювати.

Потужність дози випромінювання на осі сліду  $R_{mn} = 29,5$  км становитиме  $P_1 = 0,28$  мГр/год, а коефіцієнт  $K_y = 1$  при  $B_{mn} = 0$  км.

Час початку опромінення збігається із часом початку формування сліду хмари на місцевості, тобто  $t_\phi = t_n = 5,0$  год, тому коефіцієнт  $k_t = 0,02$ .

Потужність дози випромінювання на слідові хмари визначаємо за виразом:

$$P_{mn} = P_1 \cdot k_w \cdot k_t \cdot k_y, \quad (4.4)$$

де  $k_w = 10^{-4} \cdot n \cdot h \cdot W = 10^{-4} \cdot 1 \cdot 10 \cdot 1000 = 1$ .

$$P_{mn} = 0,28 \cdot 1 \cdot 0,02 \cdot 1 = 0,0056 \text{ мГр/год.}$$

Отже, розраховане значення потужності експозиційної дози вимагає застосування таких режимних заходів щодо захисту населення як: укриття для дітей; герметизація приміщень; пакування продуктів харчування; обмеження тривалості перебування на відкритому повітрі; облаштування санітарних бар'єрів на вході у будинки та квартири; йодна профілактика, евакуація населення.

#### 4.6. Висновок

У розділі проведено аналіз шкідливих та небезпечних факторів на ділянці з ремонту двигунів, якими є шум та переміщення габаритних і важких агрегатів і деталей, а також небезпека радіоактивного забруднення.

Розроблено заходи з поліпшення умов праці робітників та наведено рекомендації для робітників і населення, що потрапляють у зону дії аварії на АС.



## РОЗДІЛ 5

### ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОБОТИ

В даній роботі визначаємо економічну ефективність удосконалення технологічного процесу технічного сервісу автотракторних двигунів, а саме впровадження контролю якості затяжки різьбових з'єднань. Удосконалення передбачає впровадження в динамометричних ключів, що в свою чергу, призведе до покращення затяжки різьбових з'єднань їх рівномірності та зменшенню рекламацийних агрегатів.

Вихідними даними для розрахунку економічної ефективності є показники, наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Вихідні данні роботи

Показник	Позначення	Значення	
		Базові за даними підприємства	Проектні
Обсяг ремонтних робіт, ум. рем	Q	48,3	43,6
Кількість основних робітників, осіб	K	5	7
Середньомісячна заробітна плата робітника з нарахуванням, грн.	ЗП <sub>ср</sub>	5600,0	5600,0
Вартість проведених ремонтів, грн.	B	337123	450463
Вартість обладнання, грн	Б	428956	534556
Річні витрати електроенергії, кВт/год	Q <sub>ел.</sub>	12560	14320
Ціна 1 кВт/год електроенергії, грн.	Ц <sub>ел</sub>	1,99	1,99

Для проведення економічної оцінки проекту необхідно визначити наступні показники [42]:

1. Експлуатаційні витрати (ЕВ) всього, грн..:

$$EB = 3П + A + B_{\text{ел}} + B_{\text{рем}} + IB, \quad (5.1)$$

де 3П – заробітна плата з нарахуванням, грн.;

$$3П^{\delta} = 3П_{\text{ср}} \cdot K_{\delta} \cdot 12 = 5600 \cdot 5 \cdot 12 = 144000 \text{ грн.}, \quad (5.2)$$

$$3П^{\text{пр}} = 3П_{\text{ср}} \cdot K_{\text{пр}} \cdot 12 = 5600 \cdot 7 \cdot 12 = 201600 \text{ грн.},$$

A – амортизаційні відрахування, грн.:

$$A = \frac{B \cdot \lambda}{100}, \quad (5.3)$$

$\lambda$  – норма амортизації, %;

$$A^{\delta} = \frac{428956 \cdot 15}{100} = 64343 \text{ грн.};$$

$$A^{\text{пр}} = \frac{(428956 + 105600) \cdot 15}{100} = 80183 \text{ грн.}.$$

$B_{\text{ел}}$  – вартість електроенергії, грн.:

$$B_{\text{ел}} = Q_{\text{ел}} \cdot Ц_{\text{ел}}, \quad (5.4)$$

$$B_{\text{ел}}^{\delta} = 12560 \cdot 1,99 = 24994 \text{ грн.};$$

$$B_{\text{ел}}^{\text{пр}} = 14320 \cdot 1,99 = 28497 \text{ грн.}$$

$B_{рем}$  – витрати на поточний ремонт (ПТ) та технічне обслуговування (ТО) складають 30% від суми амортизаційних відрахувань, грн.:

$$B_{рем} = \frac{A \cdot 30}{100}, \quad (5.5)$$

$$B_{рем}^{\delta} = \frac{64343 \cdot 30}{100} = 19303 \text{ грн.};$$

$$B_{рем}^{np} = \frac{80183 \cdot 30}{100} = 24055 \text{ грн.}.$$

ІВ – інші витрати складають 3 % від суми експлуатаційних витрат, грн.:

$$IB = \frac{(3П + A + B_{ел} + B_{рем}) \cdot 3}{100}, \quad (5.6)$$

$$IB^{\delta} = \frac{(144000 + 64343 + 24994 + 19303) \cdot 3}{100} = 7579 \text{ грн.};$$

$$IB^{np} = \frac{(201600 + 80183 + 28497 + 24055) \cdot 3}{100} = 10030 \text{ грн.}$$

$$EB^{\delta} = 144000 + 64343 + 24994 + 19303 + 7579 = 260219 \text{ грн.};$$

$$EB^{np} = 201600 + 80183 + 28497 + 24055 + 10030 = 344365 \text{ грн.}$$

2. Повна собівартість проведених ремонтів (ПС), грн.:

$$ПС = EB \cdot 1,02, \quad (5.7)$$

$$ПС^{\text{б}} = 260219 \cdot 1,02 = 265423 \text{ грн};$$

$$ПС^{\text{пр}} = 344365 \cdot 1,02 = 351252 \text{ грн.}$$

3. Загальний прибуток (П), грн.:

$$П = В_{\text{пр}} - ПС, \quad (5.8)$$

де  $В_{\text{пр}}$  – вартість проведених ремонтів, грн.

$$П^{\text{б}} = 348603 - 265423 = 83180 \text{ грн};$$

$$П^{\text{пр}} = 453552 - 351252 = 112300 \text{ грн.}$$

4. Річний економічний ефект ( $E_{\text{е.р}}$ ),

$$E_{\text{е.р}} = П^{\text{пр}} - П^{\text{б}} = 112300 - 83180 = 29120 \text{ грн.} \quad (5.9)$$

5. Додаткові капітальні вкладення (Б), грн.:

$$Б = Б_{\text{пр}} - Б_{\text{д}} = 534556 - 428956 = 105600 \text{ грн,} \quad (5.10)$$

6. Термін окупності додаткових вкладень ( $T_o$ ), років:

$$T_o = \frac{Б}{E_{\text{е.р}}} = \frac{105600}{29120} = 3,6 \text{ років,} \quad (5.11)$$

Результати розрахунків заносимо до таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Техніко – економічні показники впроваджуваного проекту

Показники	Базовий варіант	Проектний варіант
Вид робіт	Ремонт	Ремонт
Обсяг робіт, ум. рем.	48,3	43,6
Кількість основних робітників, чол..	5	7
Обсяг додаткових капіталовкладень, грн..	-	105600
Експлуатаційні витрати всього, грн..	260219	344365
- заробітна плата з нарахуваннями, грн..	144000	201600
- амортизаційні відрахування, грн..	64343	80183
- вартість електроенергії, грн.	24994	28497
- витрати на ПР та ТО, грн..	19303	24055
- інші витрати, грн..	7579	10030
Повна собівартість продукції, грн..	265423	351252
Загальний прибуток, грн..	83180	112300
Річний економічний ефект, грн		29120
Термін окупності додаткових вкладень, років		3,6

Таким чином результати техніко-економічної оцінки проектних рішень показують, що в результаті проведених робіт рівень прибутку підвищиться на 29120 грн., а термін окупності капітальних вкладень становить 3,6 років.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Наведені теоретичні передумови контролю сили затягування різьбових сполучень через відношення моментів відгвинчування й загвинчування. Зроблений аналіз силового співвідношення в різьбовому сполученні при загвинчуванні й відгвинчуванні, а також розрахунків величини сили затягування різьбових сполучень.

Теоретично обґрунтований контроль сили затягування різьбових сполучень через відношення моментів відгвинчування й загвинчування. Отримані нові функціональні залежності для визначення необхідного моменту затягування, виходячи з умови збереження щільності стику деталей, а також міцності болта затягування, що не враховують силу, і коефіцієнти тертя в явному виді.

На основі наукових досліджень розроблена методика складання ГРС, заснована на контролі сили затягування через відношення моментів відгвинчування й загвинчування.

Розроблена методика експериментального дослідження впливу стану різьбового сполучення на точність контролю сили затягування по моменту.

Розроблена методика оцінки точності забезпечення сили затягування при контролі через відношення моментів відгвинчування й загвинчування.

Розроблена методика дослідження рівномірності затягування ГРС і оцінки якості прилягання привалочних поверхонь ремонтowanego вузла.

Установлений і оцінений вплив стану різьбового сполучення на точність контролю сили затягування по моменту. При однаковому моменті максимальна різниця між створеними силами затягування склала 6.5 кН, що дорівнює 27 % від максимального значення. У результаті процесу корудування при наявності того самого виду мастильного матеріалу сила затягування при однаковому моменті зменшилась на 23%.

Оцінка точності забезпечення сили затягування при контролі через відношення моментів відгвинчування й загвинчування із застосуванням розроб-

леного технологічного прийому по виміру моментів показала, що точність затягування при такому контролі становить + 5%.

Дослідження рівномірності затягування ГРС ремонтovanого вузла (агрегату) на прикладі кріплення ГБЦ двигуна ЗИЛ 130 показало, що розкид значень  $M_{від} / M_{заг}$  для 34 болтів двох ГБЦ перебував в інтервалі від 0.7 до 0.83. Це означало, що при затягуванні ГРС головок циліндрів даного двигуна з рекомендованим моментом 80 Нм сили затягування перебували в інтервалі від 24 до 43 кН.

Експериментальна оцінка якості прилягання привалочних поверхонь ГБЦ і блоку двигуна методом контактних відбитків підтвердила адекватність висновків про нерівномірність сил у ГРС при затягуванні з рекомендованим моментом 80 Нм. Оцінка якості прилягання привалочних поверхонь також підтвердила більш рівномірний розподіл сил затягування при складанні ГРС за розробленою методикою. У розділі проведено аналіз шкідливих та небезпечних факторів на ділянці з ремонту двигунів, якими є шум та переміщення габаритних і важких агрегатів і деталей, а також небезпека радіактивного забруднення.

Розроблено заходи з поліпшення умов праці робітників та наведено рекомендації для робітників і населення, що потрапляють у зону дії аварії на АС.

Результати техніко-економічної оцінки проектних рішень показують, що в результаті проведених робіт рівень прибутку підвищиться на 29120 грн., а термін окупності капітальних вкладень становить 3,6 років.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Фелонюк В. В. Дослідження коефіцієнту тертя в різьбових з'єднаннях / В. В. Фелонюк. // Zbiór artykułów 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.
2. Матеріали Міністерства аграрної політики України [Електронний ресурс] - Режим доступу: [Http://www. minagro. gov. ua](http://www.minagro.gov.ua).
3. 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.
4. Костромський М. В. Сучасний стан технічного забезпечення аграрної сфери економіки України. - Режим доступу: <http://www.economy.nauka.com.ua/>
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. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau\\_tech\\_2015\\_226\\_21](http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_tech_2015_226_21).
6. 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.
7. Блаер, И. Л. Сборка групповых резьбовых соединений // Вестник машиностроения. –2002. – №7. – С. 53 – 56.
8. Блаер, И. Л. Стабилизация качества затяжки резьбы // Вестник машиностроения. –2004. – №9. – С. 20 – 22.



9. Кузьмин, Ю. А., Повышение безотказности трактора класса 40 кН резервированием затяжки резьбовых соединений : дис. ... к-та техн. наук : 05.02.03 / Ю. А. Кузьмин. – Ульяновск, 2004. – 180 с.

10. Гусаков, Б. В. Отечественные и зарубежные методы и средства тарированной затяжки резьбовых соединений // Сборка в машиностроении, приборостроении. –2003. – №9. – С. 12 – 23.

11. А. с. № 637560, F16B41/00, Способ затяжки резьбового соединения // А. С. Ганцевич. Оpubл. 18.12.1978, Бюл. — 46.

12. А. с. № 763707, G01L5/24, Способ определения коэффициента податливости резьбового соединения // В. И. Зиняев. Оpubл. 15.09.1980, Бюл. 34.

13. А. с. № 291115, G01L5/24, Способ контроля усилия затяжки резьбовых соединений // М. Л. Гельфанд, Я. И. Ципенюк. - Оpubл. 10.11.1971, Бюл. - 3.

14. Биргер, И. А. Расчет на прочность деталей машин / И. А. Биргер, Б. Ф. Шорр, Г. Б. Иосилевич. 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1993. – 640 с.

15. Биргер, И. А. Резьбовые и фланцевые соединения / И. А. Биргер, Г. Б. Иосилевич – М. : Машиностроение, 1990. – 368 с.

16. Різьбове з'єднання [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki>.

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

18. Иосилевич, Г. Б. Затяжка и стопорение резьбовых соединений / Г. Б. Иосилевич, Г. Б. Строганов, Г. Б., Ю. В. Шарловский. – М. : Машиностроение, 1985. – 224 с.

19. Новиков, М. П. Основы технологии сборки машин и механизмов / М. П. Новиков. – 5-е изд. – М. : Машиностроение, 1980. – 592 с.

20. Алиев, Ф. К. Работоспособность резьбовых соединений сельскохо-

зьяйственных машин и пути повышения их срока службы : дис. к-та техн. наук: 05.20.03 / Ф. К. Алиев. — Кировабад, 1983. — 223 с.

21. Ланщикова, А. В. Технологические методы обеспечения качества автоматизированной сборки резьбовых соединений : дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.08 / А. В. Ланщикова. — Пенза, 2004. — 420 с.

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

23. Гусаков, Б. В. Отечественные и зарубежные методы и средства тарированной затяжки резьбовых соединений // Сборка в машиностроении, приборостроении. —2003. — №9. — С. 12 – 23.

24. Грузовые автомобили MAN L2000. Руководство по ремонту. — СПб.: Изд-во «Терция», 2006. — 180 с.

25. Грузовые автомобили MERCEDES-BENZ ATEGO. Техническое обслуживание, руководство по ремонту, схемы электрооборудования. — СПб.: Изд-во «Диез», 2010. — 496 с.

26. Продан В. Д. Погрешности при определении минимальной нагрузки герметизации //Химическое и нефтегазовое машиностроение. — 2001. — №4. — С. 10-12.

27. Иосилевич Г. Б. Прикладная механика / Г. Б. Иосилевич, Г. Б. Строганов, Г. С. Маслов. — М. : Высшая школа, 1989. — 351 с.

28. Жуков, В. Б. Исследование плотности стыков резьбовых соединений авиационных двигателей : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 214 - двигатели летательных аппаратов и их технология / В. Б. Жуков. — Харьков, 1970. — 29 с.

29. 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.

30. Армашов Ю.В. Надійність сільськогосподарської техніки: навчальний посібник / Ю.В. Армашов, П.К. Охмат. – Дніпропетровськ.: РВВ ДДАУ, 2008. – 208 с.
31. Кузнецов А. С. Руководство по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей ЗИЛ 130, 131 / А. С. Кузнецов. – М. : Изд-во «Третий Рим», 2004. – 272 с.
32. Закон України “Про охорону праці” / Законодавство України про охорону праці. - К. Нова редакція 2002 р.
33. Закон України "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування" [Електронний ресурс] // Відомості Верховної Ради України (ВВР). - 1999, - № 46-47, - с. 403. - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1105-14#Text>
34. Закон України "Про об'єкти підвищеної небезпеки" [Електронний ресурс] // Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2001, - № 15, - с.73.
35. НРБУ-97 "Норми радіаційної безпеки України.
36. НРБУ-97/Д-2000 Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення.
37. ДСН 3.3.6.042-99 „Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень”.
38. ДСН 3.3.6.037-99 „Державні санітарні норми шуму, ультразвуку та інфразвуку”.
39. НПАОП 0.00 – 7.11 – 12 "Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників".
40. ДСН 3.3.6.039-99 "Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу".
41. Радіоактивне забруднення [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http://pidruchniki.com/10560412/bzhd/radioaktivne\\_zabrudnennya](http://pidruchniki.com/10560412/bzhd/radioaktivne_zabrudnennya)
42. Лебеденко О.В. Методичні рекомендації з економічного обґрунтування дипломних проектів і робіт для студентів факультету механізації сіль-

ського господарства, (кафедра надійності і ремонту машин) за напрямом підготовки "Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва" / Лебеденко О.В. Дніпропетровськ: ДДАУ, 2011. – 16 с.

43. Сокол С.П. Методичні рекомендації до виконання і оформлення дипломних проектів ОКР "Бакалавр" за напрямом підготовки 6.100102 "Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва і дипломних робіт ОКР "Магістр" за спеціальністю 8.1001023 "Механізація сільського господарства" / С.П. Сокол, Б.Г. Харченко – Д.: ДДАУ, 2013. – 44 с.

## **ДОДАТКИ**

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**  
**Інженерно-технологічний факультет**  
**Кафедра надійності і ремонту машин**

**ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ЗАТЯГУВАННЯ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ  
ПІД ЧАС ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ АГРЕГАТІВ МОБІЛЬНИХ  
МАШИН**

Доповідач: Фелонюк В. В.

Керівник: доц. к.т.н. Колбасін В.О.

# МЕТА ТА ЗАДАЧІ РОБОТИ

2

## Мета роботи

Підвищення точності й рівномірності затягування групових різьбових сполучень вузлів машин, що ремонтуються

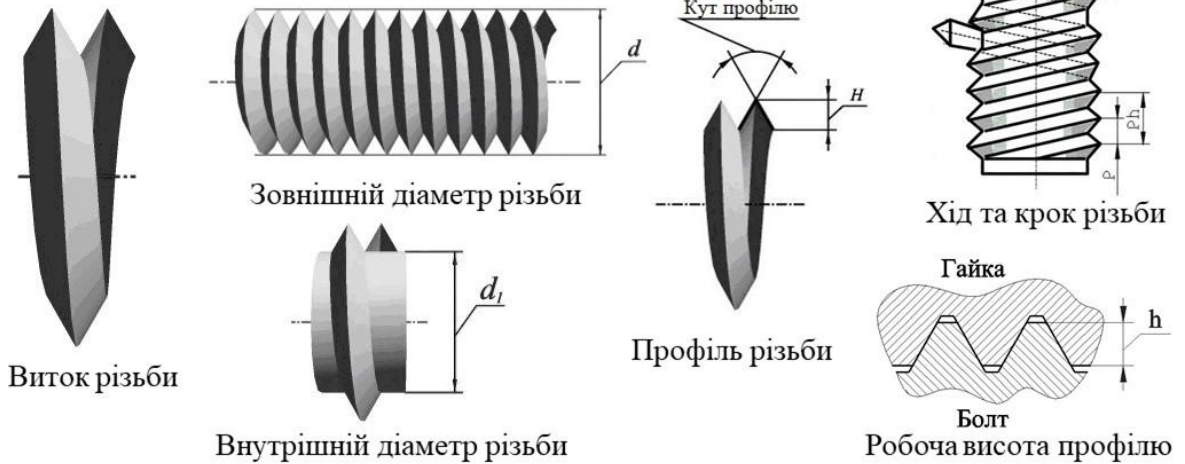
## Задачі досліджень

1. Зробити аналіз проблеми неточності (нерівномірності) затягування ГРС ремонтованих вузлів, виявити причини виникнення нерівномірності затягування.
2. Теоретично обґрунтувати контроль сили затягування через відношення моментів відгвинчування й загвинчування, на основі чого розробити методику складання ГРС ремонтованих вузлів.
3. Експериментально досліджувати вплив стану різьбового сполучення на точність контролю сили затягування по моменту. Зробити експериментальну оцінку точності забезпечення необхідної сили затягування при контролі через відношення моментів відгвинчування й загвинчування.
4. Експериментально досліджувати рівномірність затягування ГРС при складанні ремонтованого вузла, зробити якісну оцінку рівномірності затягування ГРС при складанні за розробленою методикою.
5. Провести заходи з забезпечення безпеки праці.
6. Провести техніко-економічну оцінку роботи.

Об'єктом досліджень є технологічний процес складання групових  
різбових сполучень (ГРС) вузлів машин, що ремонтуються

Різбове з'єднання - розбірне нерухоме з'єднання деталей машин за допомогою різьби, у  
якому одна з деталей має зовнішню різьбу, а інша – внутрішню.

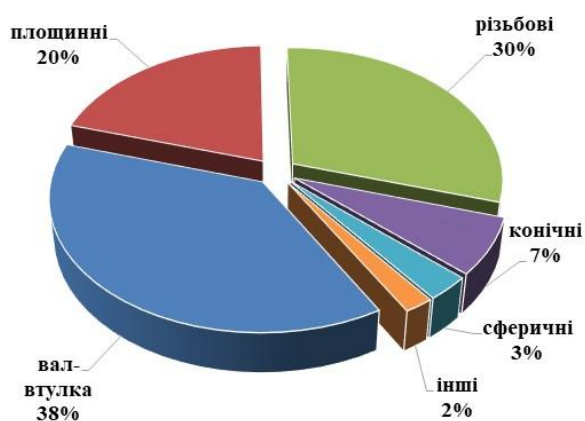
**Основні параметри різьби**



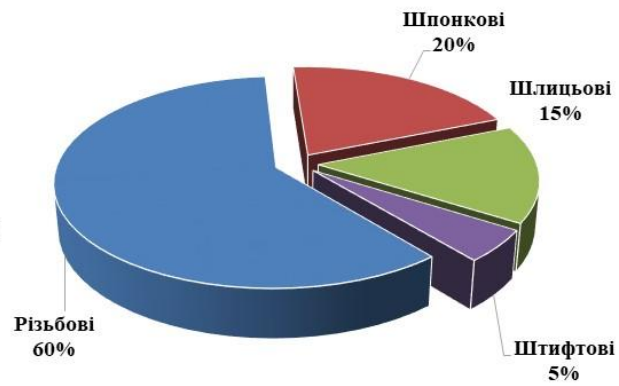


# АНАЛІЗ ЗАСТОСОВУВАНOSTІ ТА ВІДМОВ РІЗЬБОВОГО З'ЄДНАННЯ

4



Розподіл з'єднань машин



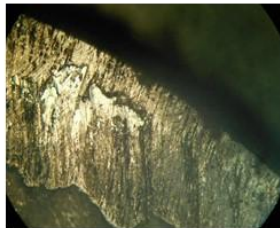
Відмови з'єднань



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



Знос різьби болта кріплення колеса внаслідок недотягування

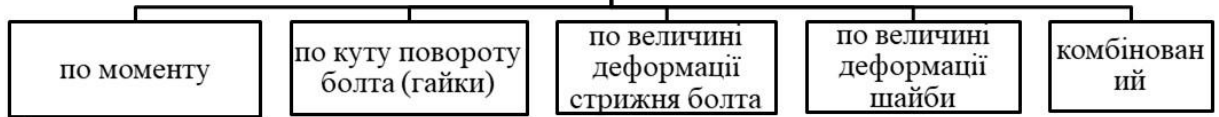


Відламана головка шатунного болта та зона початку розвитку мікротріщини



Стан болтових з'єднань

## Методи контролю сили затягування



граничний



індикаторний



електронний



шкальний

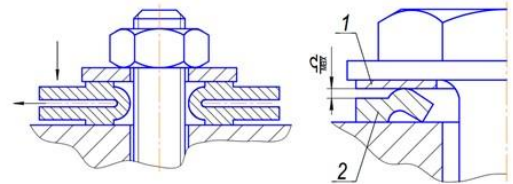
$$M_{зат} = 0.5 \cdot F \cdot d_2 \left( f_r \frac{D_f}{d_2} + f_p \right) + F \cdot \frac{P}{2\pi}$$



$$\varphi = 360 \cdot \frac{r}{P} \cdot \left( \sum_{i=1} \lambda_{B_i} + \sum_{j=1} \lambda_{Д_j} \right)$$



$$\delta = F \cdot \lambda_B = F \cdot \frac{l_B}{E_B \cdot A_B}$$



1-опорний торець, 2-шайба

# ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЕНТУ ТЕРТЯ В РІЗЬБІ

7

При закручуванні гайки різьбового з'єднання з боку ключа на гайку передається крутний момент  $T_{зав}$ , який перевищує момент в різьбі  $T_p$  й на торці гайки  $T_m$   $T_{зав} = T_p + T_T$

момент в різьбі

$$T_p = F_{зав} \frac{d_2}{2} tg(\psi + \phi^1)$$

Зусилля затяжки

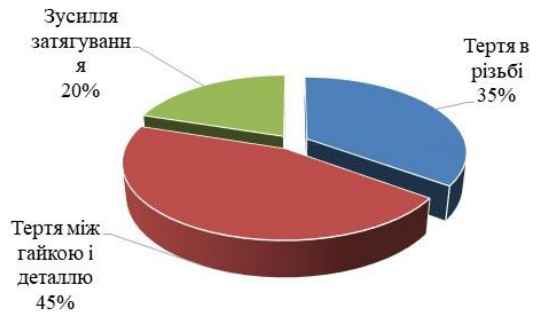
$$[F_{зав}] = \frac{\pi d_1^2 [\sigma_p]}{4 \cdot 1,3}$$

момент на торці гайки

$$T_t = \frac{1}{3} F_{зав} f_t \frac{D^3 - d_0^3}{D^2 - d_0^2}$$

коефіцієнт тертя на торці гайки

$$f_T = \frac{3T_T (D^2 - d_0^2)}{F_{зав} (D^3 - d_0^3)}$$



Маслильний матеріал	Покриття					
	фосфатне		без покриття		оксидне	
	$f$	$f_T$	$f$	$f_T$	$f$	$f_T$
Без маслильного 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

*Примітка.* Матеріал болта й гайки — сталь 45, різьба М10.

Момент загвинчування

$$M_{\text{заг}} = 0.5 \cdot F \cdot d_2 \left( f_T \frac{D_T}{d_2} + f_p \right) + F \cdot \frac{P}{2\pi} \quad (1)$$

Момент відгвинчування

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

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

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

Виразимо  $Z$  з виразів (1) та (2)

$$Z = \frac{M_{\text{заг}} - F \cdot \frac{P}{2\pi}}{F \cdot \frac{d_2}{2}} \quad Z = \frac{M_{\text{від}} + F \cdot \frac{P}{2\pi}}{F \cdot \frac{d_2}{2}}$$

Вирішуючи спільно вирази  $Z$ , одержимо

момент затяжки:

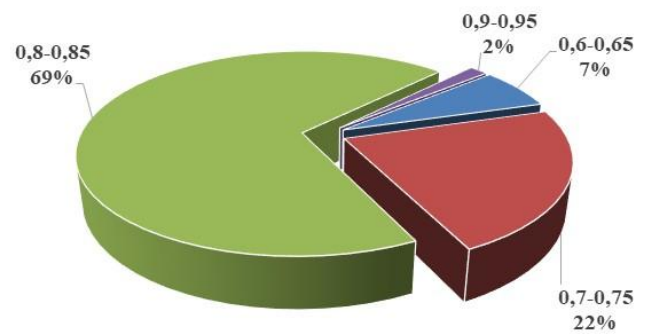
$$M_{\text{зам}} = \frac{F \cdot P}{\pi \left( 1 - \frac{M_{\text{від}}}{M_{\text{заг}}} \right)}$$

Сила затягування

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

Величина необхідного моменту затягування

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



Розподіл відношення  $M_{\text{заг}} / M_{\text{від}}$

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА

9

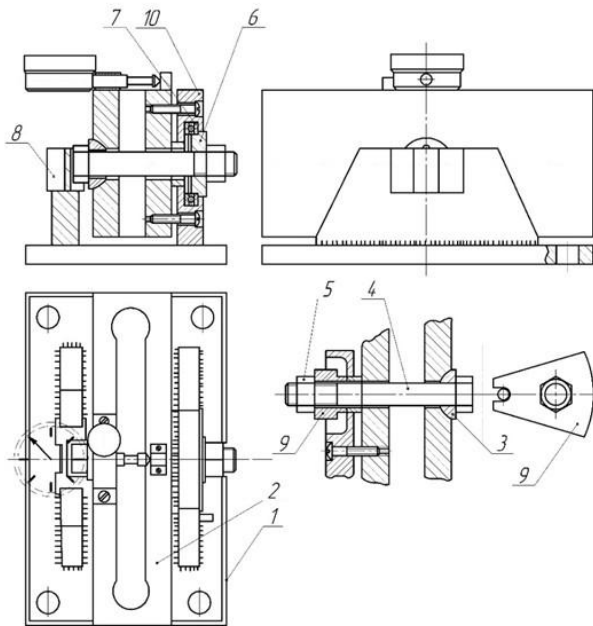


Схема установки ДМ-27

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





## Результати випробувань різьбової пари М12х1.75

X, Нм	Значення Y при різному стані різьбової пари, Н					
	1	2	3	4	5	6
6	2446	2905	2966	1835	2140	2232
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
Мвід / Мзаг	0.75	0.73	0.72	0.80	0.78	0.77

Досліджувалися наступні стани різьбової пари:

1 - нова різьбова пара без застосування мастильних матеріалів;

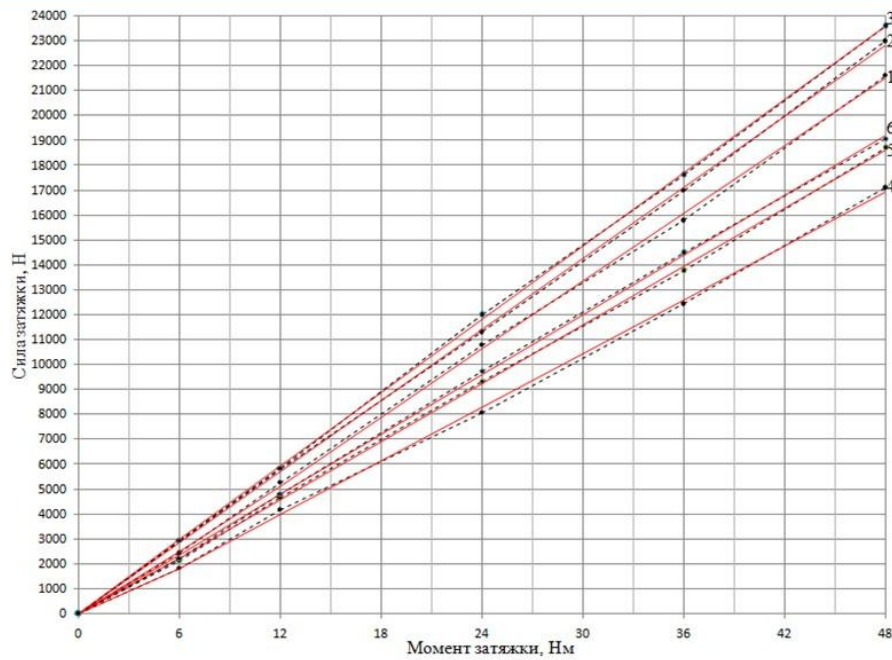
2 - нова різьбова пара змазана моторним маслом;

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 змащенням.



Графік експериментальних (штрихові лінії) і теоретичних (суцільні лінії) залежностей для різьбової пари M12x1.75



Заходи по забезпеченню захисту працівників поділяються на дві групи:

- організаційні;
- технологічні.

Для уникнення травмвань у відділенні з ремонту двигунів як і у всьому господарстві проводяться інструктажі з охорони праці та безпечної роботи на пристроях. Організувати регулярне щорічне проходження медичних оглядів.

Впроваджено згідно законодавства регламентовані години роботи та відпочинку.

У відділенні необхідно встановити кран-укосину для переміщення вантажів, бо пересувний кран-гусь не зручний при знятті та встановленні деталей на агрегат і їх переміщенні з одного робочого місця на інше.

Більш суворо слідкувати за робітниками, щоб вони дотримувались правил роботи з важкими деталями.

Заходу щодо зниження рівня шуму на робочих місцях.

Зниження шуму, створюваного на робочих місцях внутрішніми джерелами, а також шуму, що проникає ззовні, здійснюється наступними методами:

зменшенням шуму в джерелі;

раціональним плануванням приміщення;

зменшенням шуму по шляху його поширення.

Рекомендується використовувати нове менш гучне встаткування. Зниження шуму в джерелі випромінювання можна забезпечити й застосуванням звукобірних панелей і перегородок. Можливе використання прокладок, що амортизують (підбивки під принтери, столи, на яких вони розташовані). Не менш важливим для зниження шуму в процесі експлуатації є питання правильного й своєчасного регулювання, змазування або заміни механічних вузлів шумливого встаткування.

Також необхідно винести компресор за межі дільниці бо він є найбільш інтенсивним джерелом шуму.

## ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОБОТИ

13

Показники	Базовий варіант	Проектний варіант
Вид робіт	Ремонт	Ремонт
Обсяг робіт, ум. рем.	48,3	43,6
Кількість основних робітників, чол..	5	7
Обсяг додаткових капіталовкладень, грн..	-	105600
Експлуатаційні витрати всього, грн..	260219	344365
- заробітна плата з нарахуваннями, грн..	144000	201600
- амортизаційні відрахування, грн..	64343	80183
- вартість електроенергії, грн.	24994	28497
- витрати на ПР та ТО, грн..	19303	24055
- інші витрати, грн..	7579	10030
Повна собівартість продукції, грн..	265423	351252
Загальний прибуток, грн..	83180	112300
Річний економічний ефект, грн		29120
Термін окупності додаткових вкладень, років		3,6

Наведені теоретичні передумови контролю сили затягування різьбових сполучень через відношення моментів відгвинчування й загвинчування. Зроблений аналіз силового співвідношення в різьбовому сполученні при загвинчуванні й відгвинчуванні, а також розрахунків величини сили затягування різьбових сполучень.

Теоретично обґрунтований контроль сили затягування різьбових сполучень через відношення моментів відгвинчування й загвинчування. Отримані нові функціональні залежності для визначення необхідного моменту затягування, виходячи з умови збереження щільності стику деталей, а також міцності болта затягування, що не враховують силу, і коефіцієнти тертя в явному виді.

На основі наукових досліджень розроблена методика складання ГРС, заснована на контролі сили затягування через відношення моментів відгвинчування й загвинчування.

Розроблена методика експериментального дослідження впливу стану різьбового сполучення на точність контролю сили затягування по моменту.

Установлений і оцінений вплив стану різьбового сполучення на точність контролю сили затягування по моменту. При однаковому моменті максимальна різниця між створеними силами затягування склала 6.5 кН, що дорівнює 27 % від максимального значення. У результаті процесу корудування при наявності того самого виду мастильного матеріалу сила затягування при однаковому моменті зменшилась на 23%.

Оцінка точності забезпечення сили затягування при контролі через відношення моментів відгвинчування й загвинчування із застосуванням розробленого технологічного прийому по виміру моментів показала, що точність затягування при такому контролі становить + 5%.

Дослідження рівномірності затягування ГРС ремонтovanого вузла (агрегату) на прикладі кріплення ГБЦ двигуна ЗИЛ 130 показало, що розкид значень  $M_{від} / M_{заг}$  для 34 болтів двох ГБЦ перебував в інтервалі від 0.7 до 0.83. Це означало, що при затягуванні ГРС головок циліндрів даного двигуна з рекомендованим моментом 80 Нм сили затягування перебували в інтервалі від 24 до 43 кН.

Експериментальна оцінка якості прилягання привалочних поверхонь ГБЦ і блоку двигуна методом контактних відбитків підтвердила адекватність висновків про нерівномірність сил у ГРС при затягуванні з рекомендованим моментом 80 Нм. Оцінка якості прилягання привалочних поверхонь також підтвердила більш рівномірний розподіл сил затягування при складанні ГРС за розробленою методикою. У розділі проведено аналіз шкідливих та небезпечних факторів на дільниці з ремонту двигунів, якими є шум та переміщення габаритних і важких агрегатів і деталей, а також небезпека радіоактивного забруднення.

Розроблено заходи з поліпшення умов праці робітників та наведено рекомендації для робітників і населення, що потрапляють у зону дії аварії на АС.

Результати техніко-економічної оцінки проектних рішень показують, що в результаті проведених робіт рівень прибутку підвищиться на 29120 грн., а термін окупності капітальних вкладень становить 3,6 років.

MONOGRAFIA  
POKONFERENCYJNA

SCIENCE,  
RESEARCH, DEVELOPMENT #34

TECHNICS AND TECHNOLOGY.

*Paris*

*30.10.2020- 31.10.2020*

U.D.C. 004+62+54+66+082  
B.B.C. 94  
Z 40

Zbiór artykułów naukowych recenzowanych.

(1) Z 40 Zbiór artykułów naukowych z Konferencji Międzynarodowej Naukowo-Praktycznej (on-line) zorganizowanej dla pracowników naukowych uczelni, jednostek naukowo-badawczych oraz badawczych z państw obszaru byłego Związku Radzieckiego oraz byłej Jugosławii.

(30.10.2020) - Warszawa, 2020.  
ISBN: 978-83-66401-72-3

Wydawca: Sp. z o.o. «Diamond trading tour»  
Adres wydawcy i redakcji: 00-728 Warszawa, ul. S. Kierbedzia, 4 lok.103  
e-mail: info@conferenc.pl

Wszelkie prawa autorskie zastrzeżone. Powielanie i kopiowanie materiałów bez zgody autora jest zakazane. Wszelkie prawa do artykułów z konferencji należą do ich autorów.

W artykułach naukowych zachowano oryginalną pisownię.

Wszystkie artykuły naukowe są recenzowane przez dwóch członków Komitetu Naukowego.

Wszelkie prawa, w tym do rozpowszechniania i powielania materiałów opublikowanych w formie elektronicznej w monografii należą Sp. z o.o. «Diamond trading tour».

W przypadku cytowań obowiązkowe jest odniesienie się do monografii.

Publikacja elektroniczna.

«Diamond trading tour» ©      Warszawa 2020

ISBN: 978-83-66401-72-3

Redaktor naukowy:

W. Okulicz-Kozaryn, dr. hab, MBA, Institute of Law, Administration and Economics of Pedagogical University of Cracow, Poland; The International Scientific Association of Economists and Jurists «Consilium», Switzerland.

KOMITET NAUKOWY:

W. Okulicz-Kozaryn (Przewodniczący), dr. hab, MBA, Institute of Law, Administration and Economics of Pedagogical University of Cracow, Poland; The International Scientific Association of Economists and Jurists «Consilium», Switzerland;

C. Беленцов, д.п.н., профессор, Юго-Западный государственный университет, Россия;

Z. Čekerevac, Dr., full professor, «Union - Nikola Tesla» University Belgrade, Serbia;

P. Латыпов, д.т.н., профессор, Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ), Россия;

И. Лемешевский, д.э.н., профессор, Белорусский государственный университет, Беларусь;

Е. Чекунова, д.п.н., профессор, Южно-Российский институт-филиал Российской академии народного хозяйства и государственной службы, Россия.

N. Yuriychuk, Ph. D in Pedagogics, Assistant Professor, Assistant Professor at the Chair for Ukrainian Linguistics and Methods of Education SHEI «Pereiaslav-Khmelnytskyi State Pedagogical Hryhorii Skovoroda University», Ukraine

KOMITET ORGANIZACYJNY:

A. Murza (Przewodniczący), MBA, Ukraina;

A. Горохов, к.т.н., доцент, Юго-Западный государственный университет, Россия;

A. Kasprzyk, Dr, PWSZ im. prof. S. Tarnowskiego w Tarnobrzegu, Polska;

A. Malovychko, dr, EU Business University, Berlin – London – Paris - Poznań, EU;

S. Seregina, independent trainer and consultant, Netherlands;

M. Stych, dr, Uniwersytet Pedagogiczny im. Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie, Polska;

A. Tsimayeu, PhD, associate Professor, Belarusian State Agricultural Academy, Belarus.

I. Bulakh PhD of Architecture, Associate Professor Department of Design of the Architectural Environment, Kiev National University of Construction and Architecture

Recenzenci:

L. Nechaeva, PhD, Instytut PNPu im. K.D. Ushinskogo, Ukraina;

M. Ордынская, профессор, Южный федеральный университет, Россия.



---

SPIS/СОДЕРЖАНИЕ

---

<b>СУТНІСТЬ І ОСОБЛИВОСТІ СТРУКТУРНИХ СКЛАДОВИХ РЕГІОНАЛЬНОГО МЕДІАКОМПЛЕКСУ</b> Шеломовська О. М. ....	5
<b>PARALLEL PROGRAMMING IN GOLANG</b> Hulliev N. B., Teslenko D. M. ....	8
<b>ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНІ ЗАХОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ СЕРВІСНИХ ПІДПРИЄМСТВ</b> Дворецкий В.А., Толстенко О.В. ....	11
<b>СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ ГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ</b> Ляшенко Д.О., Сергієнко А.В., ....	18
<b>СТАТИСТИЧНА ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ГІДРОРОЗПОЛЬНИКІВ КЕРУВАННЯ РОБОЧИМ ОБ'ЄМОМ АКСІАЛЬНО-ПОРШНЕВОГО ГІДРОНАСОСА</b> Острогляд В.В., Нікітчук В. О., ....	25
<b>ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ГІДРАВЛІЧНИХ РУКАВІВ ВИСОКОГО СТИСКУ ПРИ СКЛАДАННІ КІНЦЕВОЇ АРМАТУРИ</b> Богомаз В. С., Мельянцов П.Т. ....	31
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ ВАЛ МЕТОДОМ НАПЛАВЛЕННЯ</b> Калінч М.О., Калганков Є.В. ....	38
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЕНТУ ТЕРТЯ В РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАННЯХ</b> Фелонюк В.В., Калганков Є.В. ....	40
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЙМАЛЬНО-ПЕРЕДАВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ОПТИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ В КВЕСТ-КІМНАТАХ</b> Адаменко Є.І., Стрількова Т.О. ....	45
<b>ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КАК ЕДИНОГО ПОНЯТИЯ</b> Иванников А.А. ....	48
<b>METHOD OF ENSURING SAFE PLANNING AND CONTROL WHEN MANEUVERING DUE TO ENTER AND LEAVE THE PORT</b> Surinov I.L. ....	51

---

## ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЕНТУ ТЕРТЯ В РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАННЯХ

Фелонюк В.В.

здобувач вищої освіти освітнього ступеня «магістр»

Калганков Є.В.

старший викладач

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

**Ключові слова;** різьбове з'єднання, момент затягування, динамометричний ключ, коефіцієнт тертя, зусилля загвинчування, крутний момент.

**Keywords;** threaded connection, tightening torque, torque wrench, friction coefficient, screwing force, torque.

Високопродуктивне і ефективне використання машинно-тракторного парку має велике народногосподарське значення. Але сучасний стан машинно-тракторного парку є спрацьованим на 65-80 %, а по деяким групам машин сягає 92-95 % [1, 2] це в свою чергу робить машинно-тракторний парк не надійним і стримує отримання високоякісної сільськогосподарської продукції. До речі є велика проблема випуску техніки вітчизняного виробництва та виробництва країн СНД, а саме кожна четверта машина має відхилення коефіцієнта технічної готовності від ТУ, 95-97 % машин виготовляються з відхиленнями вимог ТУ [3].

В роботі [4] автори дослідили відмови машин з яких впливає, що до 60 % відмов машини припадає на неякісне збирання, в основному це різьбові з'єднання. Саме різьбові з'єднання становлять 30-40% від усіх з'єднань машини [5]. Тому дослідження якості затягування різьбових з'єднань актуальне і потребує дослідження.

Коефіцієнт тертя в різьбі визначає-

мо на спеціальній установці (рис. 1) на основі вимірювань моменту затяжки гайки й осьової сили на болту. Крутний момент вимірюється динамометричним ключем. До корпусу 1 гвинтами 10 приєднано вимірювальний блок (індикатор та пружину 2) виготовлений в вигляді пружини, що дозволяє визначити силу на болту по його деформації. Переміщення вимірюється за допомогою індикатора годинникового типу.

Для виключення сили тертя на торці гайки, під неї підкладається кульковий підшипник кочення 7. При вимірюванні коефіцієнту тертя на торці гайки вимірювання проводяться без підшипника. При закручуванні гайки різьбового з'єднання з боку ключа на гайку передається крутний момент  $T_{кр}$ , який перевищує момент в різьбі  $T_r$  й на торці гайки  $T_t$  (рис. 2).

Визначаємо крутний момент:

$$T_{кр} = T_r + T_t \quad (1)$$

Виникаюче в момент затяжки болта осьове зусилля  $F_{кр}$  й моменти тертя зв'язані залежностями:



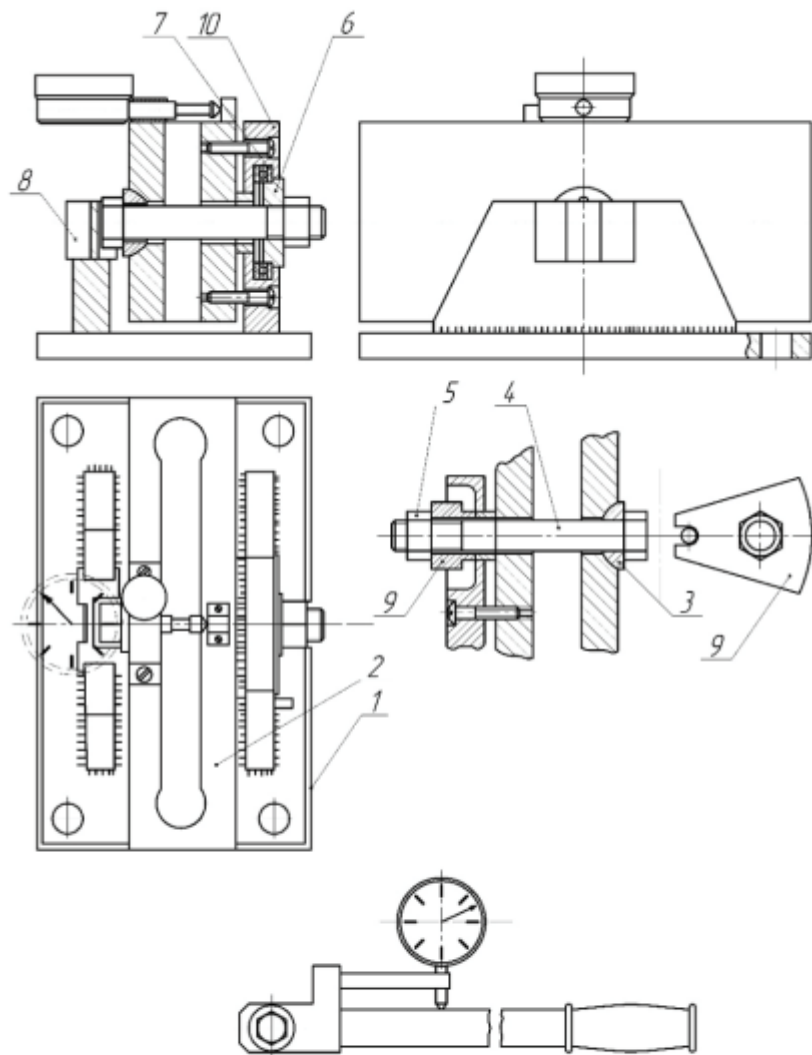


Рис. 1. Схема установки ДМ-27

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

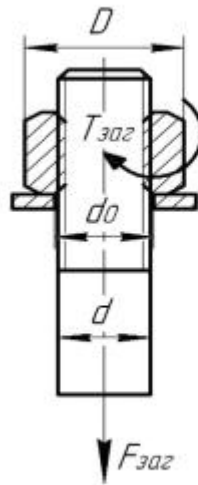


Рис. 2. Схема параметрів різьбового з'єднання

$$T_p = F_{zag} \frac{d_2}{2} \operatorname{tg}(\psi + \phi^1), \quad (2)$$

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

де:  $d_2$  – середній діаметр різьби, м  
 $\psi$  – кут підйому різьби.

Знаходиться з виразу

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{p}{\pi d_2} \quad (4)$$

$p$  – крок різьби, м;

$\phi^1$  – приведений кут тертя в різьбі, що відповідає приведеному коефіцієнту тертя в різьбі,

$$f_p^1 = \operatorname{tg}\phi^1 \quad (5)$$

$D$  – зовнішній діаметр опорної поверхні гайки;

$d_0$  – внутрішній діаметр опорної по-



Рис. 3. Установка для дослідження різьбових з'єднань ДМ-27

верхні (рівний отвору під болт);

$f_t$  – коефіцієнт тертя на торці гайки.

Для різьб з кутом профілю  $2\alpha$  приведений коефіцієнт тертя  $f_{tp}$  та діючий коефіцієнт тертя  $f_p$  зв'язані залежністю:

$$f_p^i = \frac{f_{tp}}{\cos \alpha}, \quad (6)$$

А також наближено

$$\phi^1 = \frac{\varphi}{\cos \alpha}, \quad (7)$$

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

Тоді

$$f_p = 0,87 f_{tp}. \quad (8)$$

При визначенні коефіцієнтів тертя  $f_p$  та  $f_t$  по величині крутних моментів в

**Таблиця 1**  
Результати виміру коефіцієнтів тертя

З'єднання	Без покриття		Окисдоване покриття	
	f	f <sub>r</sub>	f	f <sub>r</sub>
Без мащення	0,41	0,19	0,67	0,31
Літол-24	0,2	0,12	0,45	0,24
Різниця, %	51,2	36,8	32,8	22,6

різьби  $T_r$  та на торці гайки  $T_T$  з формули (2) отримуємо:

$$\varphi^1 = \arctg \frac{2T_P}{F_{\text{зат}} d_2} - \psi, \quad (9)$$

А з формули (3):

$$f_r = \frac{3T_T (D^2 - d_0^2)}{F_{\text{зат}} (D^3 - d_0^3)}, \quad (10)$$

Допустиме зусилля затяжки болта визначають по формулі:

$$[F_{\text{зат}}] = \frac{\pi d_1^2 [\sigma_p]}{4 \cdot 1,3} \quad (11)$$

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  $F_{\text{зат}}$  на витках різьби, при допущенні про рівномірний розподіл його по виткам, визначають з співвідношення:

$$q_p = \frac{4F_{\text{зат}}}{\pi(d^2 - d_1^2)z} = \frac{4F_{\text{зат}} p}{\pi(d^2 - d_1^2)H}, \quad (12)$$

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  $q_T$ , виникаючий при дії сили  $F_{\text{зат}}$ , визначають по формулі:

$$q_T = \frac{4F_{\text{зат}}}{\pi(D^2 - d_{\text{отв}}^2)}, \quad (13)$$

де  $D$  – зовнішній діаметр опорної поверхні гайки, м;

$d_{\text{отв}}$  – діаметр отвору під болт, м.

окрім теоретичного дослідження проводились експериментальні дослідження на установці ДМ-27 рис. 3)

Досліджувались два з'єднання без мащення та змащене мащенням Літол – 24. Результати досліджень наведено в таблиці 1.

**Висновки.** 1. Якість різьбових з'єднань суттєво впливає на надійність та довговічність машини в цілому

2. Вид покриття та мащення впливає на затяжку з'єднання. Так болти з мащенням Літол-24 мають менший коефіцієнт тертя, а значить і менший крутний момент, що вплине на швидкість складання з'єднання.

#### Література

1. Матеріали Міністерства аграрної політики України [Електронний ресурс] – Режим доступу: [Http://www.minagro.gov.ua](http://www.minagro.gov.ua).
2. 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.
3. Костромський М. В. Сучасний стан технічного забезпечення аграрної сфери економіки України. – Режим доступу: <http://www.economy.nauka.com.ua/>
  4. 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. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/pvpauc\\_tech\\_2015\\_226\\_21](http://nbuv.gov.ua/UJRN/pvpauc_tech_2015_226_21).
  5. 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.