

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний
Кафедра загальнотехнічних дисциплін

Пояснювальна записка

до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
на тему: «Підвищення точності і рівномірності затягування групових
різьбових з'єднань вузлів машин»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
спеціальності 208 Агроінженерія
ступеня вищої освіти «*магістр*» групи 1
Гапула Владислав Юрійович
Керівник: Антоненко А. В.
Рецензент: Іванкова О. В.

Полтава – 2021 року

ВСТУП

Одним з факторів, що визначають надійність відремонтованих машин в сільському господарстві, є точність затягування різьбових з'єднань.

У роботі розглянута проблема низької точності затягування групових різьбових з'єднань (ГРЗ) ремонтваних вузлів машин. Проблема є актуальною, тому що неточне і, як наслідок, нерівномірне затягування ГРЗ призводить до зниження надійності вузлів і машин в цілому [1].

Існують різні методи контролю осьової сили затяжки (далі сили затяжки) різьбових з'єднань, але в більшості випадків, контроль здійснюють методом крутного моменту за допомогою динамометричних (моментних) ключів [2] та ін.

При складанні вузла рекомендований технічними умовами на складання момент затяжки не гарантує забезпечення необхідної (розрахункової) величини сили затяжки з достатньою точністю. Причиною цього є невідповідність фактичних коефіцієнтів тертя в різьбовому з'єднанні розрахунковим, що пояснюється зміною (нестабільністю) стану різьбових з'єднань в процесі експлуатації. Відхилення створеної величини сили затяжки від необхідної за різними оцінками може досягати + 25...38% [3]. Така низька точність контролю неприпустима при складанні відповідальних і особливо відповідальних ГРЗ.

Максимально припустиме відхилення від необхідної величини сили затяжки при збирання особливо відповідальних ГРЗ (болти шатунів, кришок корінних підшипників і т.п.) складає + 5%, відповідальних різьбових ГРЗ (болти головок циліндрів, піддонів картерів і т.п.) + 5...15% [3].

Загальновідомим є те, що нерівномірне затягування ГРЗ викликає залишкову деформацію стягнутих деталей і спотворення макрогеометрії їх поверхонь при експлуатації вузлів [4], а відповідальні деталі мають жорсткі допуски на відхилення [4]. Наприклад, гранично допустимі відхилення від

площинності прилягаючих поверхонь головок циліндрів (ГБЦ) і блоків двигунів зазвичай не більше 0,02...0,05 мм на 100 мм довжини.

Нерівномірне затягування болтів ГБЦ, викликане низькою точністю контролю сили затяжки по моменту, спотворює геометричну точність робочих поверхонь циліндрів, овалоподібність яких може збільшуватися на 25-75%, конусоподібність на 35-40% [4], що виходить за межі допуску. У свою чергу це вкрай негативно позначається на ресурсі циліндропоршневої групи і двигуна в цілому.

При затягуванні ГРЗ ремонтаних вузлів з рекомендованими технічними умовами моментом нерідко бувають випадки зриву різьблення і руйнування шпильок, болтів.

Таким чином, численні несправності сільськогосподарської техніки, пов'язані з різьбовими з'єднаннями, а також систематичні ушкодження (руйнування) різьбових з'єднань при їх затягуванні є передумовами для пошуку нових шляхів вдосконалення технології складання ГРЗ ремонтаних вузлів машин.

Метою роботи є підвищення точності і рівномірності затягування ГРЗ ремонтаних вузлів машин.

Об'єктом досліджень є технологічний процес складання ГРЗ ремонтаних вузлів машин.

Предметом досліджень є закономірності взаємозв'язку моменту і сили затяжки.

Завдання досліджень:

1. Провести аналіз проблеми неточності (нерівномірності) затяжки ГРЗ ремонтаних вузлів, виявити причини виникнення нерівномірності затяжки.
2. Обґрунтувати контроль сили затяжки через відношення моментів відгвинчування і загвинчування, на основі чого розробити методику збирання ГРЗ ремонтаних вузлів.

3. Провести експериментальну оцінку точності забезпечення необхідної сили зтяжки при контролі через відношення моментів відгвинчування і загвинчування.

Загальна методика дослідження. При теоретичному і експериментальному дослідженні застосовувалися методи системного аналізу, методи планування експериментів і дослідно-статистичної обробки експериментальних даних.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Загальні відомості про проблему неточності збирання групових різьбових з'єднань

Забезпечення надійної роботи різьбового з'єднання – завдання конструктора, технолога і експлуатаційника [5].

Неточне (нерівномірне) затягування різьбових з'єднань, зокрема групових (наприклад, кріплень кришок корінних підшипників двигунів, кришок шатунів, головок циліндрів, фланців редукторів приводу насосів, піддонів картерів і т.д.), може звести до нуля всі результати робіт по конструюванню та виготовленню не тільки самих різьбових з'єднань, а й з'єднуючих ними деталей [6].

Різьбові з'єднання є найпоширенішим видом роз'ємного з'єднання. Вони характеризуються простотою і зручністю збирання (розбирання), універсальністю і взаємозамінністю [6]. У конструкціях машин нарізні сполучення складають до 35% від загальної кількості з'єднань [6].

У силових агрегатах машин 80% різьбових з'єднань безпосередньо впливають на їх працездатність при експлуатації [7]. Для відмови машини досить одного недотягнутого або перетягнутого нарізного сполучення в одному з відповідальних вузлів: кривошипно-шатунного механізму, коробці передач, кріпленні ГБЦ і т.д.

Застосовуються нарізні сполучення, що збираються з контролем (переважно) і без контролю сили затяжки [7]. У сучасних тракторів, комбайнів і автомобілів більшість різьбових з'єднань мають нормовану величину сили затяжки [8].

Найбільш поширені конструкції різьбових з'єднань, що застосовуються у виробництві сільськогосподарської техніки є: болтове; гвинтове; шпилькове (рис.1.1).

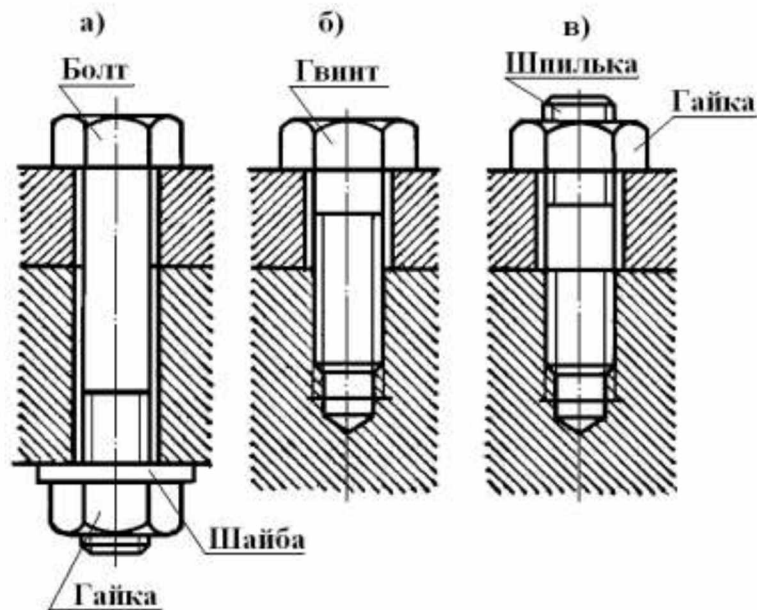


Рисунок 1.1 – Види різьбових з'єднань, що застосовуються у виробництві сільськогосподарської техніки

Надійність ГРЗ [9] визначається:

- точністю забезпечення необхідної (розрахункової) величини сили затяжки в процесі складання;
- рівномірністю розподілу сил затягування в різьбовій групі;
- стабільністю сили затяжки в процесі експлуатації.

Для надійного і герметичного ГРЗ вузла головною вимогою при складанні є забезпечення максимальної точності і рівномірності розподілу сил затягування [9]. Точність і рівномірність розподілу сил затягування реалізуються в процесі складання ГРЗ різними методами.

Сила затягування F створює певний контактний тиск на стику деталей, що з'єднуються (рис. 1.2), забезпечуючи тим самим необхідну щільність і герметичність стику при дії зовнішньої (робочої) сили на з'єднання в процесі роботи вузла [10].

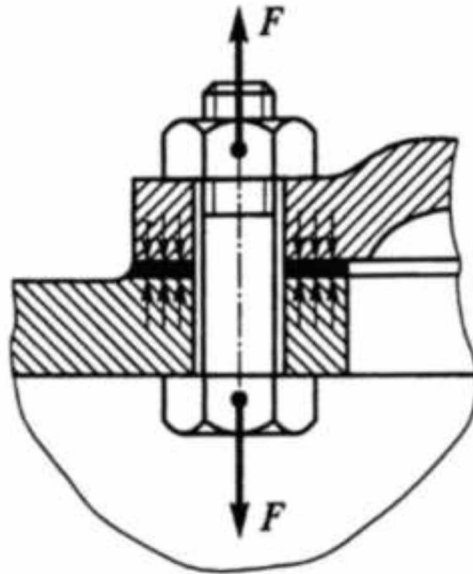


Рисунок 1.2 - Дія сили затяжки в різьбовому з'єднанні

Необхідна величина сили затяжки визначається в процесі проектування вузла конструктором. Чим точніше реалізована необхідна сила затягування в процесі збирання, тим надійніше і довговічніше з'єднання [11].

1.2 Коефіцієнти тертя в різьбових з'єднаннях

Коефіцієнти тертя в різьбових з'єднаннях в процесі експлуатації нестабільні і залежать від цілого ряду чинників: шорсткості робочих різьбових поверхонь, наявності та виду мастила, наявності та виду покриття, наявності абразивних частинок або корозії в зоні контакту сполучених різьбових поверхонь, швидкості загвинчування і т.д.

Особливість експлуатації сільськогосподарської техніки в тому, що вона постійно піддається впливу агресивного середовища [8]. У міру напрацювання стан різьбових з'єднань 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 [11].

В багатьох роботах підтверджується факт негативного впливу атмосферної корозії на складально-розбірні операції і надійність різьбових з'єднань. Під впливом вібрацій і змінних навантажень в різьбових з'єднаннях виникають відносні мікропереміщення різьбових поверхонь, що є причиною їх зношування в умовах фретинг-корозії [11]. Корозія і абразивні частинки, які потрапляють в різьбове з'єднання, змінюють шорсткість робочих поверхонь, збільшують сили тертя, тим самим, впливають на точність затягування різьбових з'єднань.

Розглянемо приблизні значення коефіцієнтів тертя в різьбі і на опорній поверхні гайки (таблиця 1.1) в залежності від виду покриття і мастильного матеріалу [12].

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

Покриття	Коефіцієнт тертя	Без змазуючого 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	0,50-0,84	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

З таблиці 1,1 видно, що мастильні матеріали зменшують на 20-40% і стабілізують коефіцієнти тертя (зменшують їх розсіювання), Однак користуватися на практиці табличними значеннями коефіцієнтів тертя для визначення необхідних моментів затягування недоцільно [12].

В даний час все більше знаходять своє застосування в складальних операціях різьбові фіксатори або клеї-герметики [12].

Різьбові фіксатори (клеї-герметики) використовують для герметизації різьбової пари від вологи, а також для запобігання можливого самовільного відгвинчування різьбовій деталі в процесі роботи вузла.

Клей-герметик наноситься на різьбову поверхню, після чого проводиться затяжка нарізного сполучення. У затягнутому стані відбувається відкидання клею, в результаті чого в контакті витків різьби утворюється міцний адгезійний зв'язок. Наявність клею-герметика в контакті різьбових поверхонь при затягуванні також впливає на значення коефіцієнтів тертя, що необхідно враховувати при контролі сили затяжки по моменту.

При ручному затягуванні динамометричними ключами необхідно враховувати, що швидкість обертання ключа впливає на значення коефіцієнтів тертя, відповідно і на значення моменту на ключі. Зі збільшенням швидкості затяжки коефіцієнти тертя зменшуються, і навпаки [13]. Тому важливо дотримуватися максимально рівномірного обертання інструменту при затягуванні кожного нарізного сполучення ГРЗ, виключаючи затяжку «ривками».

1.3 Аналіз причин і наслідків неточної (нерівномірної) затяжки різьбових з'єднань

Можна виділити дві групи факторів, які обумовлюють появу нерівномірності розподілу сил затягування в ГРЗ складальної одиниці:

- технологічні (мають місце безпосередньо в процесі складання);

- експлуатаційні (виникають в процесі роботи вузла).

До технологічних факторів належать похибка методів і засобів контролю сили затяжки, невідповідність розрахункових параметрів фактичним (коефіцієнтів тертя, геометричних розмірів різьблення, коефіцієнтів піддатливості і т.п.), перенапруження сил в ГРЗ при послідовному затягуванні, людський фактор.

У процесі складання технологічні чинники призводять до відхилення від необхідної величини сили затяжки в більшу чи меншу сторону (перетягнуте або недотягнутого з'єднання).

Найбільший вплив на точність затягування надає похибка методів контролю [14]. Найпростішим і зручним у застосуванні є метод контролю сили затяжки по моменту [14]. Однак даний контроль володіє великою похибкою. У процесі складання нарізного сполучення ремонтується відхилення створеної величини сили затяжки від необхідної за різними оцінками може досягати +25,,38% [15]. Величина такої похибки неприпустима при складанні ГРЗ вузлів ремонтваної сільськогосподарської техніки [15].

Причиною даного відхилення (похибки) є невідповідність фактичних коефіцієнтів тертя сполучених в процесі затягування різьбових поверхонь розрахунковим, що пояснюється зміною (нестабільністю) стану різьбових з'єднань при експлуатації. Нестабільність стану нарізного сполучення обумовлена зміною шорсткості різьбових поверхонь, корозією і забрудненням, зношуванням заводських антикорозійних і протизадирних покриттів, застосуванням різних мастильних і розкислювальних матеріалів при роботі з різьбовими сполуками і т.п, [16]. Тому при одному і тому ж значенні моменту на ключі в залежності від стану нарізного сполучення (коефіцієнтів тертя) сила затягування може приймати різні, що значно відрізняються один від одного, значення [14].

Аналіз технологічного процесу ремонту на ремонтно-сервісних підприємствах показав, що різьбові деталі (шпильки, болти, гайки)

піддаються інтенсивному іржавінню після технологічної операції мийки вузлів (деталей). Наприклад, на рис. 1,3 представлені шпильки ГБЦ двигунів ЯМЗ-238, після мийки. Наявність певної корозії на різьбових поверхнях шпильок (болтів) не означає їх непридатність до подальшої експлуатації, однак зміну стану поверхні необхідно враховувати.



Рисунок 1,3 - Шпильки ГБЦ перед складанням двигуна ЯМЗ-238

Однією з причин нерівномірного затягування ГРЗ ремонтваних вузлів може стати наявність (відсутність) або відмінність виду мастила в окремих різьбових з'єднаннях групи. Для прикладу можна навести кріплення ГБЦ двигунів, де, як правило, середній ряд болтів ГРС конструктивно розташований під кришкою ГБЦ, що не виключає потрапляння моторного масла в сполуки даного ряду, а інші болти ГРЗ конструктивно розташовані зовні і піддаються впливу корозії і забруднення при експлуатації [10].

Норми затягування [17] містить норми рекомендованих моментів затягування для кріпильних різьбових з'єднань різного діаметру і класу міцності, а також враховує випадок застосування мастил при складанні і

пояснює, що при застосуванні мастильних матеріалів або зміну виду мастила величину рекомендованого моменту необхідно коригувати. Величина коригування повинна бути визначена експериментально.

Нерідко в процесі ремонту вузлів машин зірвану різьбу в отворах корпусів деталей відновлюють розвірчуванням і нарізуванням різьблення під більший діаметр [18]. В результаті чого фактичні значення коефіцієнтів тертя і геометричні розміри різьби вже не відповідають розрахунковим, що впливає на залежність моменту від сили затяжки. Для відновленого нарізного з'єднання значення моменту необхідно визначати заново з урахуванням даних змін.

При складанні ГРЗ ремонтіваних вузлів причиною нерівномірного затягування може бути великий інтервал величини рекомендованого технічними умовами моменту затягування [12]. В силу людського фактора, затягування кожного нарізного сполучення групи може проводитися ні до одного значення моменту, а до різних, що потрапляють в інтервал рекомендованого моменту.

З аналізу робіт [19] можна зробити висновок, що в технічних умовах на збірку ГРЗ двигунів зарубіжного виробництва [14], затяжку ГРЗ рекомендують проводити переважно до конкретної (однієї) величини моменту. Це ж спостерігається і в деяких технічних умовах на збірку ГРЗ двигунів вітчизняного виробництва [11].

Особливість збірки ГРЗ в тому, що в процесі послідовної затяжки різьбових з'єднань відбувається перенапруження сил затягування [12], так як затяжка кожного наступного болта (гайки) різьбової групи призводить до ослаблення сили затяжки в раніше затягнутому болті. Тому збірка ГРЗ завжди виконується в кілька етапів і в певній послідовності.

Кількість етапів (зазвичай 3-4) і найбільш оптимальна схема затяжки болтів визначається конструктором і вказується в технічних умовах на збирання вузла. Зазвичай при затягуванні ГРЗ (в 3 етапи) на першому етапі

величину сили затяжки створюють до 30% від розрахункового значення, на другому етапі до 70%, на третьому 100% [20].

При надмірному затягуванні різьбових з'єднань в процесі складання часто бувають випадки зриву різьблення навіть при дотриманні рекомендованих технічними умовами на складання моментах, що пояснюється зміною стану різьбових з'єднань.

Експлуатаційні фактори визначають причини зниження величини сили затяжки в різьбовій групі в процесі роботи вузла. До них відносяться деформаційне згладжування мікронерівностей сполучених поверхонь в стику деталей і в самих різьбових з'єднаннях, можливі залишкові деформації стержня болта (шпильки), релаксація напружень затяжки, самовідгвинчування т.д, [15].

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

Кріпильні нарізні сполучення при постійних навантаженнях належать до числа самогальмуючих, так як зазвичай коефіцієнт тертя спокою більше 0,06 і наведений кут тертя в різьбі більше кута підйому різьби [17].

Однак при вібраціях коефіцієнти тертя в різьбі і на торці гайки (головки болта) зменшуються, умова самогальмування може порушуватися, в результаті чого може відбуватися самовідгвинчування [15]. Для запобігання його при складанні різьбових з'єднань використовують різні елементи стопоріння [48].

При експлуатації може відбуватися зниження сили затяжки в різьбовому з'єднанні через деформаційні процеси на поверхнях стиків деталей, що з'єднуються, в контактні витків різьби і на опорній поверхні гайки [15].

Для підвищення стабільності сили затяжки при експлуатації конструктори і технологи прагнуть до зменшення або обмеження можливого пластичного деформування з'єднання, а також до збільшення податливості болта (шпильки) в з'єднанні [15]. Це може бути досягнуто зменшенням числа стиків в з'єднанні, відсутністю прокладок з м'яких матеріалів, підвищенням якості нарізування різьблення і обробки стикових поверхонь деталей (зниженням висоти мікронерівностей), застосуванням високоміцних болтів, що дозволяють уникнути пластичного руйнування [17].

Неточне (нерівномірне) затягування різьбових з'єднань є причиною несправностей в процесі експлуатації сільськогосподарської техніки в вигляді руйнувань різьбових з'єднань, деформації стягнутих деталей, розгерметизації стиків вузлів, деформації та зриву різьблення, підвищеної вібрації деталей вузлів, самовідгвинчування гайок (болтів), інтенсивного зносу різьблення [15].

З аналізу робіт [21] випливає, що нерівномірне затягування кріплення ГБЦ вносить суттєві викривлення в спочатку задану форму прецизійних поверхонь дзеркал циліндрів, що призводить до зростання кінематичних втрат в циліндропоршневій групі. В результаті спотворення геометрії дзеркала циліндра стабільність зазору в з'єднанні «поршень - циліндр», а, отже, рівномірне прилягання маслос'ємних і компресійних кілець не забезпечується, що призводить до інтенсивного і нерівномірного зносу, підвищеної витрати масла «на угар», втрати потужності і ресурсу двигуна [7, 23]. Наприклад, зменшення овальності гільзи з 0,1 до 0,02 мм зменшує витрату масла на угар на 25,,30%, а кількість картерних газів зменшується більш ніж в 4 рази. Крім того зводяться до мінімуму всі зусилля технологів щодо забезпечення високої точності робочих поверхонь циліндрів на операціях механічної обробки [23].

На основі вищевикладеного можна зробити висновок - затяжка ГРЗ вузлів при ремонті сільськогосподарської техніки повинна проводитися з максимальною точністю і, отже, рівномірністю.

1.4 Аналіз методів, способів і засобів контролю сили затяжки

Одним з основних напрямків досліджень в області різьбових з'єднань було і залишається вдосконалення методів (способів) і засобів контролю сили затяжки [11].

В даний час основними методами контролю сили затяжки [15] є:

- контроль сили затяжки по моменту;
- контроль сили затяжки по куту повороту болта (гайки);
- контроль сили затяжки за величиною деформації стержня болта (шпильки);
- контроль сили затяжки за величиною деформації шайби;
- комбінований метод контролю сили затяжки по моменту і куті повороту.

Всі методи контролю мають похибки забезпечення необхідної величини сили затяжки. Підвищення точності і рівномірності затягування ГРЗ ремонтіваних вузлів машин ведеться в зменшенні похибки контролю сили затяжки з урахуванням їх причин.

Можна відзначити, що найпростішим способом обмеження крутного моменту при затягуванні різьбових з'єднань є вибір відповідної довжини рукоятки ключа [10]. Однак сила руки збирача і швидкість обертання ключа в процесі затягування можуть змінюватися в широких межах, що не забезпечить точну і рівномірну затяжку ГРЗ. При збиранні ГРЗ даними способом розкид сил затягування може досягати 200%.

Тому, даний спосіб застосовується тільки при ненормованому затягуванні маловідповідальних різьбових з'єднань [10].

Метод контролю сили затяжки по моменту отримав широке застосування в складальних операціях [11], в тому числі при ремонті сільськогосподарської техніки. Переваги цього методу в простоті його здійснення, зручність контролю і великій номенклатурі інструменту - різні граничні (рис. 1.4) і індикаторні (рис. 1.5) динамометричні ключі.



Рисунок 1.4 - Граничний динамометричний ключ



Рисунок 1.5 - Індикаторний динамометричний ключ

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

$$M_{зат} = 0.5 \cdot F \cdot d_2 (f_T \frac{D_T}{d_2} + f_P) + F \cdot \frac{P}{2\pi} \quad (1.1)$$

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 з'єднанні, що є його головним недоліком [21]. Насправді у різьбових з'єднань ремонтіваних вузлів реальні значення коефіцієнтів тертя можуть варіюватися в досить широкому діапазоні від 0,05 до 0,5 [2]. Низька точність даного контролю при складанні вузлів (за різними оцінками +25...38%) визначає низьку надійність з'єднань при експлуатації сільськогосподарської техніки.

Метод контролю сили затяжки за величиною деформації болта вважається одним з найбільш точних методів контролю сили затяжки (точність + 5%) [15]. Його застосовують при контролі сили затяжки особливо відповідальних з'єднань (наприклад, шатунних болтів). Метод заснований на вимірі величини подовження стрижня болта (шпильки) під дією сили затяжки.

Даний метод застосовують, коли різьбова деталь має значну довжину, так як величина подовження в цьому випадку більш відчутна і може бути точніше оцінити. Метод неприйнятний для коротких і жорстких болтів, так як величина деформації болта мала (20...60 мкм) і порівнянна з похибкою вимірювання [15, 12]. Для вимірювання величини подовження болта зазвичай використовують індикаторну скобу якщо існує можливість двостороннього доступу до торців болта (шпильки).

У разі одностороннього доступу (з'єднання «болт - глухий отвір корпусу») запропоновано використовувати болти з контрольним штифтом. Після затяжки торець штифта поглибитися на величину витяжки стрижня болта, величина якого вимірюється індикаторної головкою.

Виробник складального інструменту Norbar (США) випускає прилад USM-3 (рисунок 1.6) для визначення величини сили затяжки в різьбових з'єднаннях [12]. Принцип роботи приладу полягає у вимірюванні часу проходження ультразвукових хвиль в тілі болта. Прилад має датчик-перетворювач, який є випромінювачем і приймачем ультразвукових хвиль. В меню приладу вибираються значення діаметра болта, кроку різьблення,

модуля пружності матеріалу болта. Перетворювач закріплюється на голівці болта в осьовому напрямку. Час проходження ультразвукової хвилі пропорційний подовженню стержня болта в межах пружних деформацій. За міру затягування тіло болта подовжується, а час проходження ультразвукової хвилі збільшується. Вимірюється довжина болта до затягування і під час затяжки. За таким принципом прилад визначає величину відносного подовження болта і потім обчислює величину діючої сили затяжки.



Рисунок 1.6 - Ультразвуковий прилад USM-3

Висновки

1. Аналіз стану проблеми показав, що нерівномірність затягування ГРЗ вузлів при ремонті сільськогосподарської техніки обумовлена низькою точністю (+ 25..38%) контролю сили затяжки по моменту, внаслідок зміни стану різьбових з'єднань при експлуатації.

2. Результатом неточної (нерівномірної) затяжки ГРЗ може стати руйнування різьбових з'єднань, деформація стягнутих деталей, деформація або зрив витків різьби, розгерметизація стиків вузлів і т.д. Нерівномірна затяжка болтів ГБЦ впливає на ресурс циліндропоршневої групи і двигуна в цілому.

3. Як показав аналіз, існуючі методи і способи контролю сили затягування різьбових з'єднань, які можуть бути застосовані в ремонтному виробництві сільськогосподарської техніки, недостатньо ефективні з точки зору точності затягування і їх застосування не гарантує надійного з'єднання.

4. Для підвищення точності і рівномірності затягування ГРЗ ремонтваних вузлів машин необхідно враховувати фактичний стан різьбових з'єднань.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Вибір технічних засобів, інструментів і матеріалів для проведення експериментальних досліджень

При виконанні експериментів використовувалися наступні прилади, інструменти та матеріали:

- тарований динамометричний ключ (довжина важеля ключа 600 мм, ціна ділення індикаторної головки ключа 0,001 мм);
- лабораторна установка для випробування різьбових з'єднань ДМ-27 (ціна поділки індикаторної головки динамометричної пружини 0,001 мм);
- різьбоміри;
- моторна олива Esso Ultron SAE 5W-40;
- суміш WD-40;
- молібденова олива Hi-Gear 5531;
- спирт технічний;
- кислота азотна;
- вода дистильована;
- ватман (формат А2);

2.2. Методика дослідження впливу стану різьбового з'єднання на точність контролю сили затяжки по моменту

Для визначення чисельних значень сили затяжки при різних станах різьбової пари була використана установка для випробування різьбових з'єднань ДМ-27 (рис. 2.1). Вимірювання сили затяжки проводилися за відомою методикою [18].

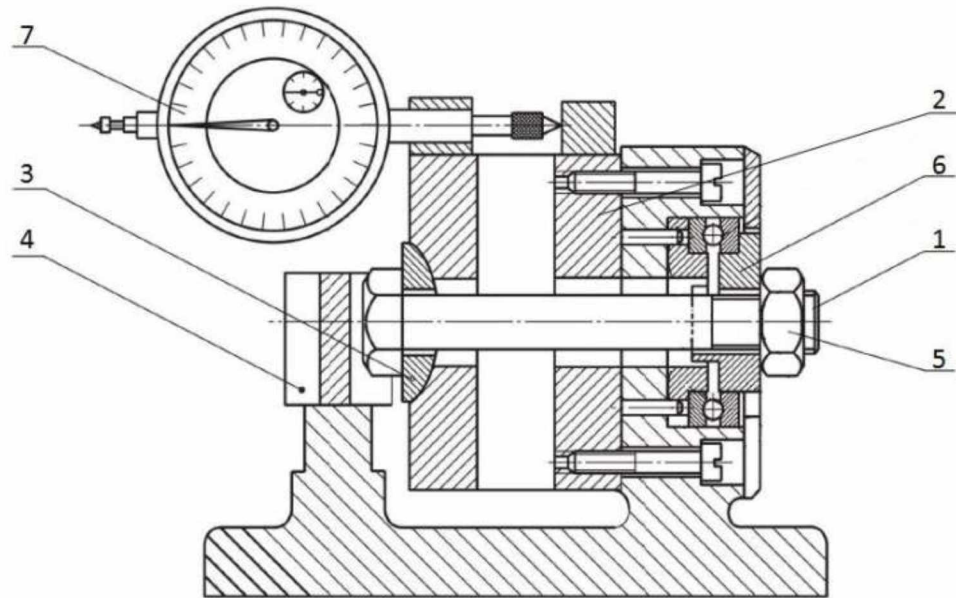


Рисунок 2.1 - Схема установки ДМ 27

Експериментальний зразок (болт) 1 монтувався в установку ДМ 27 через центральний отвір динамометричної пружини 2. В отворі пружини болт центрованої сферичної шайбою 3. Головка болта утримувалася від провертання за допомогою знімного сухаря 4. Гайка 5 спиралася на нерухому шайбу 6. До гайки 5 прикладався обертовий момент (момент затягування), в результаті чого, пружина 2 сприймала деформацію стиснення, величина якої вимірювалася за допомогою індикатора годинникового типу 7.

Величина деформації пружини тарованого з величиною сили, що діє на неї, вимірювання прикладається до гайки 5 моменту затягування здійснювали динамометричним ключем, тарованим за величиною деформації вигину рукоятки (рис. 2.2).

При цьому експерименті були випробувані болти з різьбленням $M12 \times 1,75$, $M14 \times 2$ (покриття оксидне). В ході дослідів проводилися виміри сили затяжки при різних станах різьбової пари. Стан різьбової пари змінювався шляхом її кородування в розчині азотної кислоти, а також застосуванням різних мастильних матеріалів.



Рисунок 2.2 - Схема вимірювання сили натяжки

Після обробки різьбової пари розчином азотної кислоти процес кородування відбувався в затягнутому стані. В якості з'єднувальних деталей використовували втулку (рис. 2.3). Потім різьбова пара розбиралася, різьблення зачищали металевою щіткою. Візуально ступінь кородування можна оцінити по рис. 2.4.

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

При кожному стані різьбова пара затягувалася до однакового значення моменту затягування з однаковою, по можливості, швидкістю обертання ключа і реєструвалися значення сили натяжки.



Рисунок 2.3 - Різьбова пара в процесі кородування



Рисунок 2.4 - Різьбова пара після кородування розчином азотної
кислоти

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 мастилом;
- 4 - різьбова пара після кородування оброблена складом WD-40;
- 5 - різьбова пара після кородування змазана моторним маслом;
- 6 - різьбова пара після кородування оброблена молібденовим мастилом.

При кожному стані визначалося значення відношень моментів $M_{\text{ОТВ}}/M_{\text{ЗАВ}}$.

2.3 Методика дослідження рівномірності затягування ГРЗ вузла

Дослідження рівномірності затягування ГРЗ ремонтowanego вузла (агрегату) виконували на прикладі кріплення ГБЦ двигуна ЗІЛ-131. V – подібний двигун має дві ГБЦ, кожна з яких кріпиться 17-ма болтами з різьбленням $M12 \times 1.75$ (покриття оксидне, клас міцності 10.9, межа міцності 900 МПа).

Напрацювання двигуна на момент експерименту становило 152 тис. км.

Виконували виміри моментів загвинчування і відгвинчування для кожного нарізного сполучення в ГРЗ згідно з запропонованим технологічним прийомом з подальшим визначенням відношення $M_{\text{ОТВ}} / M_{\text{ЗАВ}}$.

Алгоритм визначення відношення $M_{\text{ОТВ}} / M_{\text{ЗАВ}}$ в ГРЗ:

- розбирання ГРЗ;
- промивка різьбових з'єднань складом WD-40;
- дефектовка різьбових поверхонь (візуальний огляд на наявність деформації або обриву витків різьби);
- мащення різьбових з'єднань моторним маслом;
- загвинчування болтів до зіткнення з опорною поверхнею;
- поетапне затягування болтів до величини рекомендованого моменту (80Нм) в рекомендованій послідовності;
- нанесення розмітки положень головок болтів щодо корпусу ГБЦ за допомогою маркера;
- замір моменту загвинчування при «рушанні болта з місця» на кожному різьбовому з'єднанні, реєстрація вимірних значень;
- повернення болтів в розмічені положення;

- замір моменту відгвинчування при «рушанні болта з місця» на кожному різьбовому з'єднанні, реєстрація вимірних значень;
- обробка даних, співвідношення моментів $M_{\text{ОТВ}} / M_{\text{ЗАВ}}$.

Перед промиванням на різьбових поверхнях болтів ГБЦ, конструктивно розташованих зовні вузла, спостерігалися сліди корозії і наявність абразивних частинок. У болтів, розташованих усередині вузла (під кришкою клапанів), на різьбовій поверхні спостерігалися залишки масла і абразивні частинки. Заміри моментів відгвинчування і загвинчування при «рушанні болта з місця» для кожної різьбової пари виконували по 3 рази і брали їх середні значення.

Методом контактних відбитків оцінювали якість прилягання поверхонь ГБЦ і блоку двигуна при затягуванні ГРЗ з рекомендованими технічними умовами моментом (80 Нм) і при складанні ГРЗ за розробленою методикою (тобто з контролем сили затяжки через відношення моментів відгвинчування і загвинчування). Для цього вирізані по формі прокладки ГБЦ ватман і копіювальний папір укладали на поверхню блоку циліндрів під прокладку, потім акуратно встановлювали ГБЦ на блок двигуна.

Висновки

1. Розроблено методику експериментального дослідження впливу стану різьбового з'єднання на точність контролю сили затяжки по моменту.
2. Розроблено методику оцінки точності забезпечення сили затяжки при контролі через відношення моментів відгвинчування і загвинчування.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Розрахунок сили затяжки різьбового з'єднання

Величина сили затяжки грає важливу роль в забезпеченні надійності складальних одиниць або машин і повинна бути такою, щоб пружні деформації деталей з'єднання при сталому режимі роботи машини або механізму знаходилися в певних межах, обумовлених конструктивними особливостями [20].

Розрахунок сили затяжки включає в себе два пов'язані між собою завдання: оцінку щільності стику і оцінку міцності болта [22].

Розглянемо болтове з'єднання (рис. 3.1, а), затягнуте силою F і навантажене потім зовнішньою силою F_{BH} (рис. 3.1, б, в).

Визначимо силу, що діє на болт. При затягуванні гайка отримує осьове переміщення ΔF пропорційне кутку її повороту ($\Delta F = P$ при повороті на 360 градусів). При цьому відбувається стиснення деталей на величину ΔD і розтягнення болта на величину ΔB (рис. 3.1, а, б). Під дією зовнішньої сили F_{BH} при роботі вузла відбувається додаткове подовження болта на величину δ (рис. 3.1, в), при величині початкового стиснення деталей ΔD зменшиться на цю ж величину δ (рис. 3.1, б, в) [15,20].

Зусилля болта при затягуванні гайки складе [15]:

$$\Delta_B = F \cdot \frac{l_B}{E_B \cdot A_B} = F \cdot \lambda_B, \quad (3.1)$$

де l_B - довжина деформованої частини болта, м;

E_B - модуль пружності матеріалу болта, Н/м²;

A_B - площа поперечного перерізу деформівної частини болта, м²;

λ_B - коефіцієнт піддатливості болта (шпильки), м/Н.

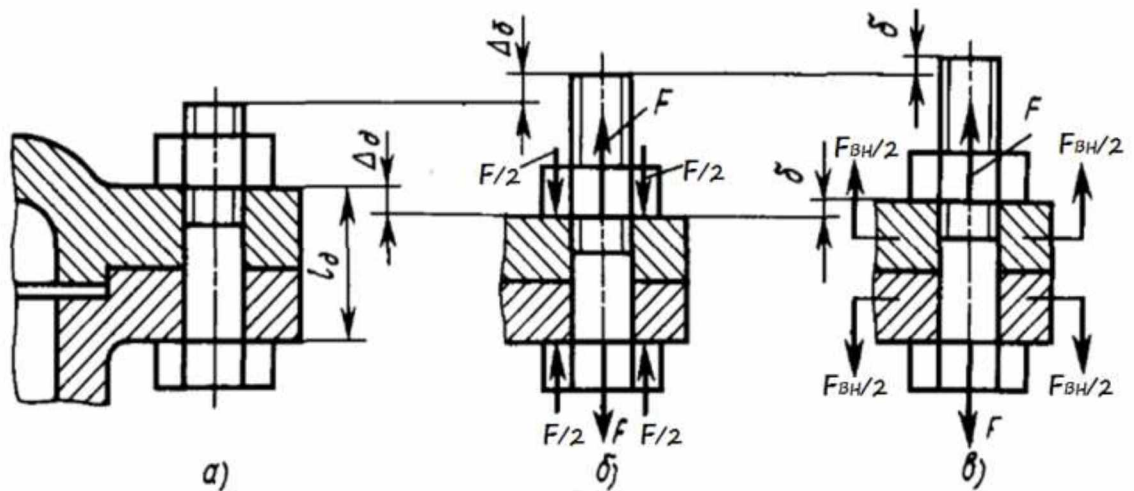


Рисунок 3.1 - Сили і деформації в різьбовому з'єднанні після затяжки і при дії зовнішнього навантаження

Стиснення (вкорочення) деталей при затягуванні гайки складе [15]:

$$\Delta_{\text{д}} = F \cdot \frac{l_{\text{д}}}{E_{\text{д}} \cdot A_{\text{д}}} = F \cdot \lambda_{\text{д}}, \quad (3.2)$$

де $l_{\text{д}}$ - довжина деформованої частини деталей, м;

$E_{\text{д}}$ - модуль пружності матеріалу деталей, Н/м²;

$A_{\text{д}}$ - площа поперечного перерізу деформівної частини деталей в межах умовного конуса тиску, м² [17].

$\lambda_{\text{д}}$ - коефіцієнт піддатливості стягуються деталей, м/Н.

Після прикладання зовнішньої сили болт отримає додаткове подовження δ , і додаткова сила складе [15]:

$$F_{\text{в}} = \frac{\delta}{\lambda_{\text{в}}}. \quad (3.3)$$

А сила, що стискає деталі, зменшиться на величину:

$$F_{\text{д}} = \frac{\delta}{\lambda_{\text{д}}}. \quad (3.4)$$

Так як зовнішня сила дорівнює [15]:

$$F_{BH} = F_B + F_D = \delta \cdot \left(\frac{1}{\lambda_B} + \frac{1}{\lambda_D} \right), \quad (3.5)$$

Те подовження складе [15]:

$$\delta = \frac{F_{BH}}{\left(\frac{1}{\lambda_B} + \frac{1}{\lambda_D} \right)} = \frac{\lambda_B \cdot \lambda_D}{\lambda_B + \lambda_D} \cdot F_{BH}. \quad (3.6)$$

Тоді додаткова сила на болт визначається [15]:

$$F_B = \frac{\delta}{\lambda_B} = \frac{\lambda_B \cdot \lambda_D}{\lambda_B \cdot (\lambda_B + \lambda_D)} \cdot F_{BH} = \frac{\lambda_D}{\lambda_B + \lambda_D} \cdot F_{BH} = \chi \cdot F_{BH}, \quad (3.7)$$

де χ - коефіцієнт основного навантаження.

У зтягнутому стані зовнішня сила передається на болт лише частково [17]. Коефіцієнт основного навантаження визначає частку зовнішньої сили, сприймається різьбовими з'єднаннями при роботі вузла, і залежить від податливості матеріалу болта, деталей які стягуються. Коефіцієнт навантаження зазвичай приймають [14]:

- для з'єднань сталевих і чавунних деталей $\chi = 0.2 \dots 0.3$;
- для з'єднань сталевих і чавунних деталей з ущільнювальним елементом (азбест, гума) $\chi = 0.4 \dots 0.5$.

Повна сила, що діє на болт, визначиться:

$$F_{\Pi} = F + F_B = F + \chi \cdot F_{BH}. \quad (3.8)$$

Щільність стику визначається залишковою силою в стику. Зовнішня сила зменшує силу на стику деталей до значення [17]:

$$F_C = F - F_D = F - (F_{BH} - F_B) = F - (1 - \chi) \cdot F_{BH}. \quad (3.9)$$

З цього випливає, що мінімальна величина сили зтяжки повинна бути:

$$F_{MIN} > (1 - \chi) \cdot F_{BH}. \quad (3.10)$$

В процесі експлуатації вузла під впливом вібраційних навантажень відбувається зниження сили затяжки в різьбовому з'єднанні за рахунок деформаційних процесів в стиках деталей і в різьбі («осаду» з'єднання).

Тому величину мінімальної сили затяжки при розрахунку за умовою щільності стику збільшують, множачи на коефіцієнт запасу щільності стику ν , який вибирається в залежності від виду робочого навантаження вузла і (або) матеріалу елемента ущільнювача [18].

Необхідна сила затягування за умовою щільності стику [15]:

$$F = \nu \cdot (1 - \chi) \cdot F_{BH}. \quad (3.11)$$

Коефіцієнт запасу щільності стику зазвичай призначають [17]:

- постійні зовнішні навантаження $\nu = 1.25 \dots 2$;
- змінні зовнішні навантаження $\nu = 2.5 \dots 4$;
- при м'яких прокладках $\nu = 1.2 \dots 2.5$;
- при плоских металевих прокладках $\nu = 3 \dots 4$.

При оцінці міцності з'єднання переходять до розгляду напруг затяжки в найменшому перетині стрижня болта [14]. Максимальне значення напружень затяжки обмежується запасом міцності стержня болта (шпильки). Запас по міцності необхідний через можливе перевищення розрахункової величини зовнішньої сили при можливих пікових навантаженнях і порушеннях режимів роботи вузла (удари, детонація і т.д.). Однак, з міркувань найменшої металоємності конструкції запаси по міцності намагаються призначити мінімальними. Виходячи з умови збереження міцності болта, напруги затяжки болтів з легованої сталі призначають [14]:

$$\sigma_F = (0.5 \dots 0.6) \sigma_T, \quad (3.12)$$

Тоді необхідна сила затягування за умовою міцності болта з легованої сталі:

$$F = (0.5 \dots 0.6) \cdot \sigma_T \cdot A_B \quad (3.13)$$

Напруження затяжки болтів з вуглецевої сталі призначають [14]:

$$\sigma_F = (0.6 \dots 0.7) \sigma_T. \quad (3.14)$$

Необхідна сила затягування за умовою міцності болта з легованої сталі:

$$F = (0.6...0.7) \cdot \sigma_T \cdot A_B. \quad (3.15)$$

Максимально допустимі напруги затяжки не повинні перевищувати [15]:

$$\sigma_F < 0.8\sigma_T. \quad (3.16)$$

Якщо різьбове з'єднання навантажено зовнішньою силою в поперечному напрямку (рис. 3.2), величину необхідної сили затяжки розраховують по формулі [17]:

$$F = \frac{F_{BH} \cdot K_Z}{f_Z \cdot z_i \cdot N_B}, \quad (3.17)$$

де $K_Z = 1,4...2$ - коефіцієнт запасу по стійкості до зрушення деталей;

f_Z - коефіцієнт тертя сполучених поверхонь деталей;

z_i - кількість стиків;

N_B - кількість болтів.

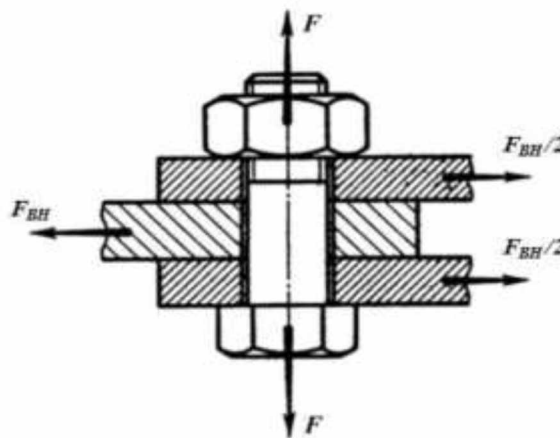


Рисунок 3.2 - Різьбове з'єднання під дією зовнішньої сили в поперечному напрямку

3.2. Теоретичне обґрунтування контролю сили затяжки через відношення моментів відгвинчування і загвинчування

Сутність даного контролю полягає в обчисленні необхідного моменту затягування для забезпечення необхідної сили затяжки конкретної різьбової

пари з урахуванням її фактичного стану через відношення моментів відгвинчування і загвинчування. Коефіцієнти тертя в різьбовому з'єднанні, які залежачи від стану різьбових поверхонь, побічно враховуються (без встановлення їх чисельних значень) відношенням моментів відгвинчування і загвинчування, величини яких експериментально вимірюються динамометричним ключем для конкретного нарізного сполучення.

Позначимо як Z , наступне:

$$Z = \left(f_T \frac{D_T}{d_2} + f_P \right). \quad (3.18)$$

Виразимо Z :

$$Z = \frac{M_{ЗАВ} - F \cdot \frac{P}{2\pi}}{F \cdot \frac{d_2}{2}} \quad (3.19)$$

$$Z = \frac{M_{ЗАВ} - F \cdot \frac{P}{2\pi}}{F \cdot \frac{d_2}{2}}. \quad (3.20)$$

Вирішуючи спільно вираження, отримаємо [11]:

$$M_{ЗАТ} = \frac{F \cdot P}{\pi \left(1 - \frac{M_{ОТВ}}{M_{ЗАВ}} \right)}, \quad M_{ОТВ} < M_{ЗАВ} \quad (3.21)$$

Залежність (3.21) лежить в основі контролю сили затяжки через відношення моментів відгвинчування і загвинчування. Для визначення необхідного моменту затяжки потрібно знати величину необхідної сили затяжки F , крок різьблення P , і зробити вимір моментів загвинчування $M_{ЗАВ}$ і відгвинчування $M_{ОТВ}$ динамометричним ключем для конкретної різьбовій пари.

Зі збільшенням сили (моменту) затягування відношення може бути $M_{ОТВ}/M_{ЗАВ} = \text{const}$. Момент відгвинчування завжди менше моменту загвинчування, що підтверджують численні теоретичні та експериментальні

дослідження [14]. Відношення $M_{\text{ОТВ}}/M_{\text{ЗАВ}}$ для різьбових з'єднань різних вузлів можуть набувати значень в межах від 0.6 до 0.95 [15].

У таблиці 3.1 наведені значення $M_{\text{ОТВ}}/M_{\text{ЗАВ}}$ для загальної кількості досліджених різьбових з'єднань

Таблиця 3.1 - Значення відношення $M_{\text{ОТВ}}/M_{\text{ЗАВ}}$

$M_{\text{ОТВ}}/M_{\text{ЗАВ}}$	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

Методика визначення ставлення $M_{\text{ОТВ}}/M_{\text{ЗАВ}}$, запропонована Жуковим В.Б., полягала в розрахунку деякого моменту загвинчування за формулою (3.21), затягуванні нарізного сполучення з цим моментом, в подальшому відгвинчуванні нарізного сполучення з одночасним виміром моменту відгвинчування, співвідношенні отриманих моментів [14].

Спрощена формула визначення моменту загвинчування [14]:

$$M_{\text{ЗАВ}} = 0.2 \cdot F \cdot d \quad (3.22)$$

Недоліком даної методики визначення відносини $M_{\text{ОТВ}}/M_{\text{ЗАВ}}$ є те, що значення моменту відгвинчування може варіюватися в залежності від швидкості обертання ключа при закручуванні, тому що швидкість обертання впливає на величину приросту сили затяжки. Чим більше швидкість обертання ключа - тим більше приріст сили затяжки, при одному і тому ж значенні моменту загвинчування, і навпаки [10].

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» прикладається момент має трохи більше значення. Якщо це не враховувати, то відношення моментів $M_{\text{ОТВ}}/M_{\text{ЗАВ}}$ буде встановлено неточно і необхідний момент затяжки буде розрахований з деякою помилкою. Точність забезпечення сили затяжки

таким способом за даними робіт [14] становить + 10%. Для того, щоб забезпечити силу затяжки з точністю + 10% необхідно враховувати навіть соті частки від ділення моментів [14].

Для більш точного визначення відношень $M_{ОТВ}/M_{ЗАВ}$ був запропонований технологічний прийом (рис. 3.3), що полягає в попередньому навантаженні нарізного сполучення 1, нанесенні розмітки положення гайки (головки болта) щодо корпусу деталі 2, вимірі моменту загвинчування 3, повернення гайки в розмічене положення 4, вимірі моменту відгвинчування 5. Навантаження проводиться затягуванням нарізного сполучення до величини рекомендованого (технічними умовами на складання вузла) моменту.

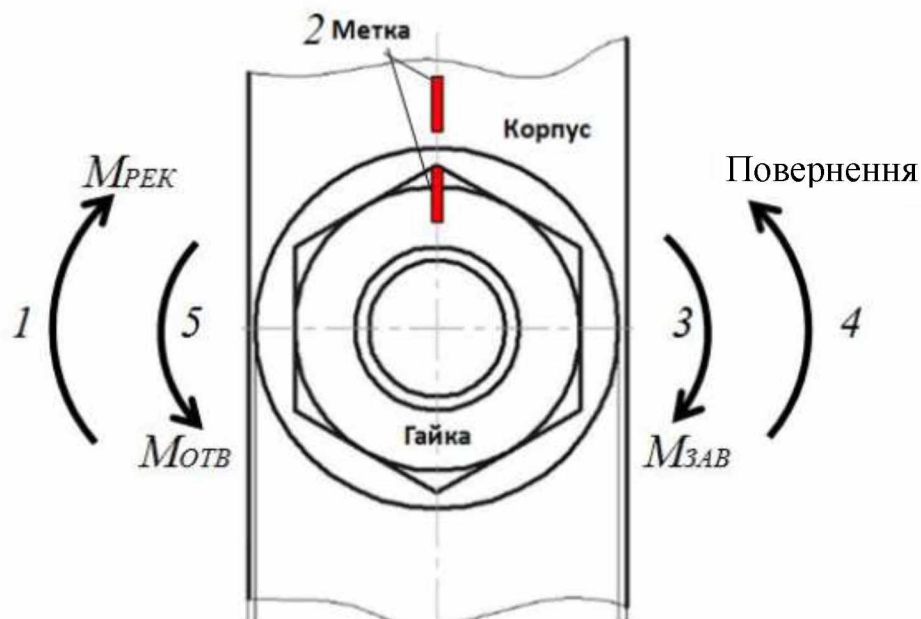


Рисунок 3.3 - До виміру моментів загвинчування і відгвинчування

Тобто перед виконанням вимірів моментів необхідно затягнути (навантажити) різьбове з'єднання (при цьому в різьбовому з'єднанні створюється деяка сила затягування і 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 і зробити вимір моменту

відгвинчування також при «рушанні гайки з місця». Отримані значення моментів і співвідносяться. Даний технологічний прийом дозволяє виключити недоліки, відмічені в методиці визначення відношень $M_{\text{ОТВ}}/M_{\text{ЗАВ}}$.

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

3.3. Результати дослідження впливу стану різьбового з'єднання на точність контролю сили затяжки по моменту

При експериментальному дослідженні залежності сили затяжки від моменту при різному стані різьбовій пари були застосовані методи математичного планування експерименту [5,15]. Результативною змінною Y була сила затягування, яка впливаючим чинником X був момент затягування.

Мінімальна кількість вимірювань при кожному стані різьбовій пари приймалося 5 разів:

$$t_{\alpha,n}^2 \cdot \left(\frac{S_X}{\Delta x} \right)^2 \leq n,$$

де $t_{\alpha,n} = 2,015$ - коефіцієнт Стюдента при числі вимірювань n і рівні значущості $\alpha = 0,05$ [12];

S_X - середньоквадратичне відхилення вимірюваної величини;

Δ_x - довірчий інтервал ($\Delta_x = S_X$ при $\alpha = 0,05$) [12].

Верхній рівень інтервалу варіювання фактора X обмежений вимірювальною можливістю використовуваного обладнання.

У таблиці 3.2 наведені результати вимірів сили затяжки дослідженої різьбової пари $M12 \times 1,75$.

Таблиця 4.1 - Результати випробувань різьбової пари М12×1,75

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
$M_{OTB}/M_{ЗAB}$	0.75	0.73	0.72	0.80	0.78	0.77

З таблиці 3.2 видно, що в залежності від стану різьбової пари при одному і тому ж моменті сили затяжки значно відрізняються один від одного.

Різниця між максимально створеною величиною сили затяжки (стан 3) і мінімальної (стан 4) склала 6,5 кН, що дорівнює 27% від максимального значення. Якщо проаналізувати сили затяжки при станах 3 і 6 видно, що внаслідок процесу кородування при одному і тому ж моменті і вигляді мастильного матеріалу сила затягування зменшилася в середньому на 23%.

Спостерігалось, що при застосуванні мастильного матеріалу відношення $M_{OTB}/M_{ЗAB}$ зменшується, що свідчить про те, що зі збільшенням коефіцієнтів тертя в різьбовому з'єднанні відношення $M_{OTB}/M_{ЗAB}$ прагне до одиниці.

3.4. Результати дослідження рівномірності затягування ГРЗ вузла, що ремонтується

Дослідження показали, що розкид значень $M_{OTB}/M_{ЗAB}$ для 34 болтів двох ГБЦ знаходився в інтервалі від 0,7 до 0,83, що підтверджує неоднаковість

(різність) станів різьбових з'єднань в ГРЗ, а це, в свою чергу, і є причиною нерівномірного затягування. З цього випливає, що при затягуванні ГРЗ головок циліндрів даного двигуна з рекомендованим моментом 80 Нм розкид сил затягування знаходився в інтервалі від 24 до 43 кН.

У таблицях 3.2 і 3.3 представлені результати вимірів моментів, середні значення відношень $M_{OTB}/M_{ЗAB}$ і значення сил затягування F .

За умовою збереження міцності болта необхідна величина сили затяжки для болтів даної групи становить 36075Н. З таблиць 3.2 і 3.3 видно, що при затягуванні ГРЗ з рекомендованими технічними умовами моментом різьбові пари з меншими значеннями відношень $M_{OTB}/M_{ЗAB}$ виявляються перетягнуті, з великими значеннями $M_{OTB}/M_{ЗAB}$ - недотягнуті.

Зробимо дослідно-статистичну обробку експериментальних даних. Для оцінки характеру розподілу величини $M_{OTB}/M_{ЗAB}$ зведемо результати вимірювань в статистичний ряд (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 - Групування результатів вимірювань

Інтервал	0.68-0.709	0.71-0.739	0.74-0.769	0.77-0.799	0.8-0.829	0.83-0.859
Частота попадання	1	8	12	8	4	1
Ймовірність попадання	0.03	0.23	0.36	0.23	0.12	0.03
Доля попадання, %	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 вимірів моментів в ГРЗ ГБЦ 1

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

Таблиця 3.3 - Результати вимірів моментів в ГРЗ ГБЦ 2

№ болта	Замір 1		$M_{ЗАВ}$, Нм	$M_{ОТВ}$, Нм	$M_{ОТВ}/M_{ЗАВ}$	F , Н
	$M_{ЗАВ}$, Нм	$M_{ОТВ}$, Нм				
1	81.951	59.634	80.975	59.390	0.733	38326
2	82.683	61.463	82.683	61.951	0.749	36029
3	82.683	62.927	82.439	63.049	0.765	33732
4	81.219	60.000	81.463	60.244	0.742	37034
5	81.951	63.659	81.463	62.927	0.772	32727
6	81.219	60.000	81.219	60.366	0.743	36890
7	82.683	62.195	82.439	62.195	0.754	35311
8	81.951	58.171	81.707	59.146	0.724	39618
9	81.219	58.902	81.219	59.146	0.728	39043
10	80.487	59.634	80.487	59.878	0.744	36747
11	81.219	64.390	81.951	64.268	0.784	31005
12	80.487	57.439	80.731	57.683	0.715	40909
13	81.219	56.707	80.975	56.951	0.703	42632
14	81.219	61.463	81.219	60.488	0.745	36603
15	82.683	65.488	82.439	65.244	0.791	30000
16	81.951	62.195	81.707	61.951	0.758	34737
17	81.951	64.756	81.707	64.512	0.789	30287

За даними статистичного ряду побудуємо гістограму розподілу величини $M_{ОТВ}/M_{ЗАВ}$ (рис. 3.4).

На гістограмі видно, що величина $M_{ОТВ}/M_{ЗАВ}$ розподілена по законом, близьким до нормального.

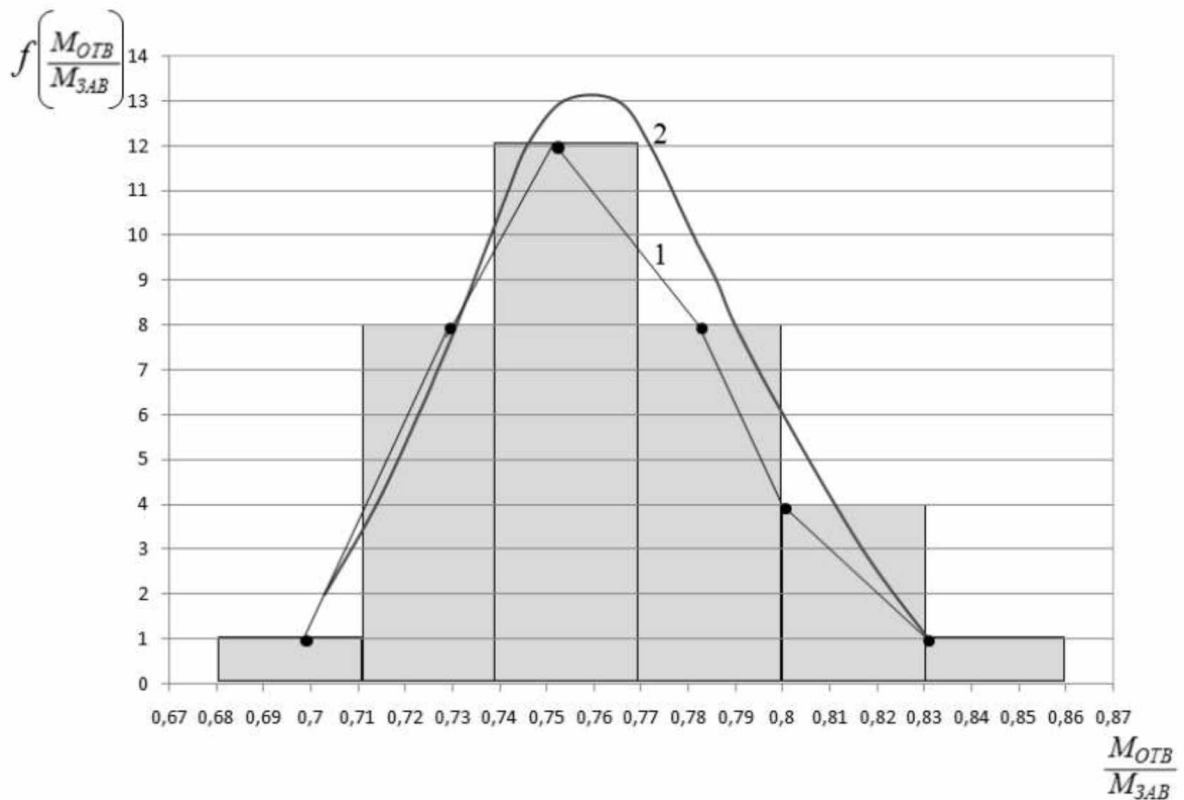


Рисунок 3.4 – Криві розподілу величини M_{OTB}/M_{3AB} : 1 – експериментальна, 2 – теоретична.

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

Якщо уявити ГБЦ 1 у вигляді прямокутної поверхні, на яку в 17-ти точках перпендикулярно діють сили, рівні силам затягування, а місця розташування точок на поверхні відповідають місцезнаходженням болтів ГБЦ, тоді згідно з даними таблиці графік розподілу величини F на цієї поверхні в тривимірному просторі матиме такий вигляд (рис 3.5).

Експериментальна оцінка якості прилягання поверхонь ГБЦ 1 і блоку двигуна методом контактних відбитків підтвердила висновки про нерівномірності сил затягування в ГРЗ при однаковому моменті затягування 80 Нм. На малюнках 3.6 і 3.7 представлені отримані відбитки ГБЦ 1.

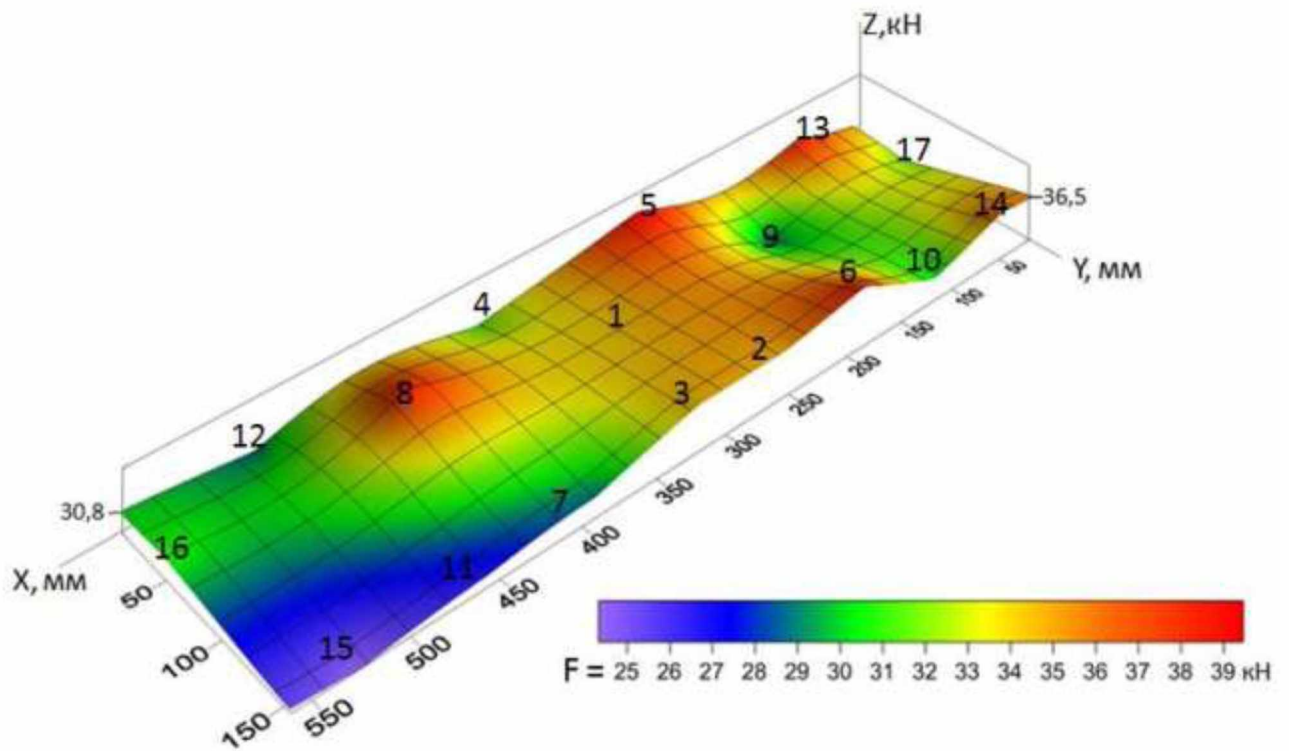


Рисунок 3.5 – Графік розподілу величини F на поверхні

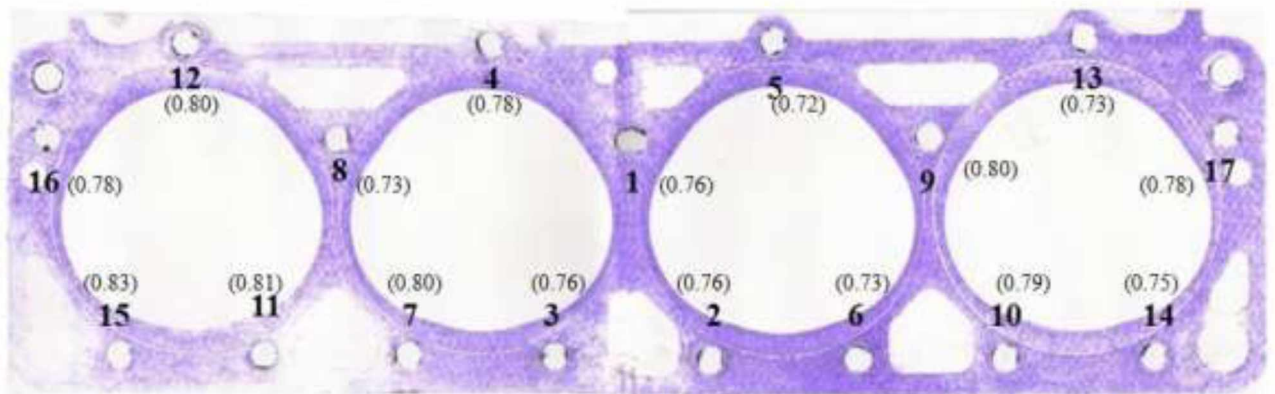


Рисунок 3.6 – Відбиток ГБЦ 1 (затяжка ГРЗ з рекомендованим моментом 80 Нм; в дужках значення M_{OTB}/M_{ZAB})

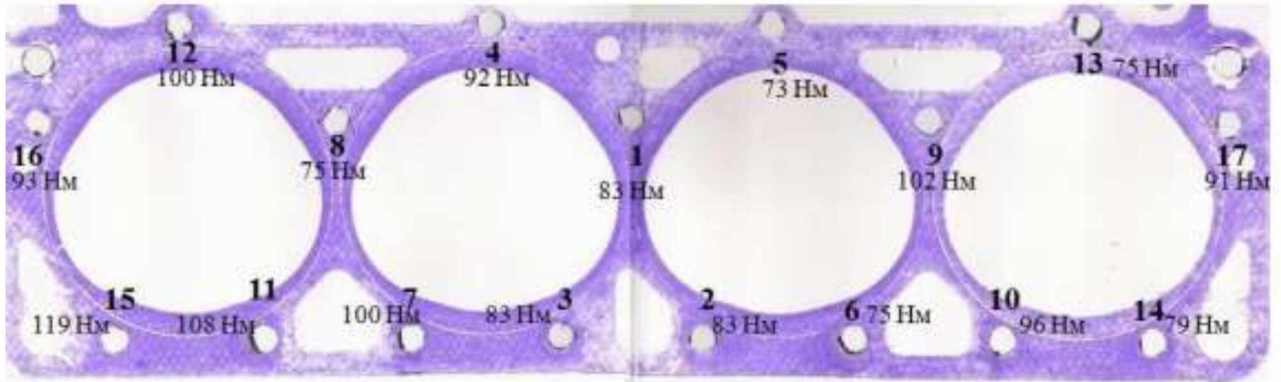


Рисунок 3.7 — Відбиток ГБЦ 1 (затяжка ГРЗ за запропонованою методикою)

На рисунку 3.6 видно, що під номерами 7,11,12,15 інтенсивність фарбування менше. Нерівномірність фарбування відбитка свідчить про нерівномірність контактних тисків, що діють з боку ГБЦ, а, отже, і про нерівномірність сил затягування в ГРЗ. З аналізу даних таблиці 3.3, тривимірного графіка і відбитка стає очевидно, що РС (7,9,10,11,12,15) при затягуванні з рекомендованим моментом 80 Нм виявилися недотягнуті. Значення відношень моментів для даних РС були ближче до одиниці, що свідчить про відносно високих коефіцієнтах тертя в цих різьбових парах і пояснює недостатність в них сил затягування. В той час як (8,5,6,13) виявилися перетягнуті.

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

4.1. Екологічна експертиза розробок

Екологічна паспортизація ремонтно-обслуговуючих підприємств є одним з ефективних перспективних засобів охорони навколишнього природного середовища. Екологічний паспорт підприємства належить до його основної проектно-технічної документації. Поряд з технологічним регламентом він повинний бути на кожному підприємстві. У цьому документі наведені дані, що характеризують взаємовідносини підприємства з довкіллям.

У першій частині паспорта наводяться загальні відомості про виробництво: назва підприємства та продукції, що виробляється, район розташування, його потужність, займана площа, кількість працюючих та основні витратні величини споживаної сировини, води, енергії, палива, пари, повітря тощо, а також відомості про споживану сировину, джерела водо- і теплопостачання, короткий опис технологічних схем виробництва основної продукції, технології очищення газо- димових викидів в атмосферне повітря та стічних вод, оборотність, зберігання, транспортування та вилучення твердих відходів (назва, кількість, хімічний склад та деякі основні властивості, технологія відновлення або виготовлення), утримання приміщень і споруд, плани дій в аварійних умовах, небезпечні матеріали, відомості про кращі альтернативні технології, що застосовуються на інших підприємствах країни чи світової практики і завдають меншої шкоди довкіллю.

Характеризується також санітарно-захисна зона підприємства (площа зони, прилеглі об'єкти, її оформлення).

У другій частині паспорта відображені заплановані природоохоронні

заходи із зазначенням конкретних термінів, виконавців, обсягів і витрат, питомих і загальних газо-димових викидів в атмосферне повітря і скидів стічних вод та відходів виробництва до і після впровадження кожного заходу.

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

Одночасно можна оцінити й ефективність застосованої технології, повноту використання матеріалів й палива, ефективність технології очищення стічних вод і газо-димових викидів.

Можна також зробити еколого-економічну оцінку збитків взагалі і завданих природі зокрема, ефективність використання палива та енергії.

Оскільки об'єкти підприємства є джерелами забруднення атмосфери і навколишнього середовища, то проводять аналіз забезпеченості технічними засобами контролю за станом навколишнього середовища, викидами забруднюючих речовин в атмосферу і дають оцінку виконання екологічних заходів, приводять дані про використання і охорону земельних і водних ресурсів, описують методи контролю за шкідливими викидами, заходи щодо їх зменшення.

Проведений аналіз дозволяє розробити рекомендації по забезпеченню екологічної стійкості підприємства, а також план ліквідації аварійних ситуацій і витоків нафтопродуктів, в який включають об'єкти і території, що підлягають особливому захисту від забруднень (водозабори, житлові масиви, зони відпочинку).

Повинна бути встановлена (обґрунтована) категорія екологічної небезпеки об'єкту. Для цього встановлюють структуру викидів і скидань забруднюючих речовин при експлуатації технологічного устаткування. На підставі екологічного аналізу джерел викидів роблять розрахунок «пріоритетного» викиду шкідливих речовин.

Екологічні порушення (злочини) караються відповідно до вимог Кримінального кодексу України. Вимоги закону передбачають встановлення

чіткого причинного зв'язку між зробленим порушенням і погіршенням навколишнього середовища.

До екологічних злочинів відносять: забруднення навколишнього природного середовища (води, повітря, ґрунту); порушення правил обороту небезпечних матеріалів і відходів.

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

Порушення правил викиду забруднювальних речовин в атмосферу, експлуатації очисних споруд чи інших об'єктів спричиняють забруднення або зміну природних властивостей повітря, що може завдати істотної шкоди здоров'ю людини.

Шкідливий вплив на ґрунти чинить забруднення їх відходами господарської діяльності, що може бути небезпечним для здоров'я людей, забруднювати сільськогосподарську продукцію і водойми.

Порушення правил охорони навколишнього середовища полягає у використанні непередбачених правилами методик, відмови від виконання відповідних робіт або в бездіяльності при необхідних обов'язках. Це може бути, зокрема, ігнорування інформації, відмова від проведення екологічної експертизи та будівництва очисних споруд, порушення правил будівництва, експлуатації і ліквідації побудованих споруд тощо.

За скоєні екологічні злочини порушники несуть правову відповідальність. Екологічне законодавство передбачає три рівні покарання: порушення; порушення, що завдали значних збитків; порушення, що спричинили смерть людей (тяжкі наслідки).

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

Система екологічного менеджменту в країні визначається і регламентується Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища». Згідно з цим законом, метою державного управління в галузі охорони довкілля є реалізація законодавства, контроль за дотриманням вимог екологічної безпеки, забезпечення проведення ефективних заходів щодо охорони навколишнього природного середовища. Отже, державний екологічний менеджмент включає чотири основні функції:

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

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

На рівні підприємства до загальних функцій управління належить:

- формування екологічної політики;
- визначення екологічних цілей та завдань відповідно до екологічної політики;
- розроблення стратегічного плану реалізації екологічної політики;
- розроблення та реалізація програми екологічного управління;
- формування екологічної свідомості та мотивування;
- ведення документації екологічного менеджменту;
- оперативне управління, аналіз та вдосконалення.

Виконання системоутворювальних функцій екологічної політики, визначення екологічних цілей і завдань, розроблення та реалізація екологічної програми здійснюється за допомогою екологічної експертизи. Екологічна експертиза – це науково-практична діяльність спеціально уповноважених державних органів, еколога-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці передпроектних, проектних та інших

матеріалів чи об'єктів, дія яких впливає або може негативно впливати на стан довкілля та здоров'я людей.

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

Основними принципами екологічної експертизи є:

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

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

Законом «Про екологічну експертизу», прийнятим Верховною Радою України у 1995 р., передбачено державне регулювання і управління в галузі екологічної експертизи, статус експерта, обов'язки замовників експертизи, порядок проведення експертизи, її фінансування, відповідальність за порушення та міжнародне співробітництво.

Висновки громадської експертизи направляють в органи, що здійснюють державну екологічну експертизу, центральні й місцеві влади, замовникам проекту.

4.2. Охорона праці

Охорона праці включає техніку безпеки, що запобігає травматизму, і виробничій санітарії, перешкоджає виникненню захворювань із-за дії шкідливих чинників. Впровадження раціонального комплексу заходів,

направлених на поліпшення умов праці, може забезпечити приріст її продуктивності на 15...20%. Структура комплексу заходів наступна.

1. Аналіз стану охорони праці або безпеки технологічного процесу на підприємстві.

2. Розробка організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних заходів щодо поліпшення стану охорони праці.

3. Розробка вимог (інструкцій) з охорони праці при роботі на технологічному (модернізованому) обладнанні або при використанні запропонованого пристосування.

4. Аналіз і оцінка пожежної безпеки підприємства, організація пожежної профілактики (визначення категорії виробництва по пожежній небезпеці, ступені вогнестійкості будівельних конструкцій, обґрунтування первинних засобів і витрати води для гасіння пожежі).

Аналіз стану охорони праці. Його проводять так, щоб можна було визначити передумови для розробки заходів щодо зниження травматизму і поліпшення умов праці.

При аналізі стану охорони праці при організації і технології ремонтно-обслуговуючих робіт враховують наступне:

- дотримання законодавства про режим праці і відпочинку працюючих;
- відповідність організації забезпечення охорони праці вимогам нормативних документів;
- планування заходів щодо охорони праці, виділення і використання грошових і матеріальних коштів на їх виконання;
- відповідність будівлі ремонтно-обслуговуючого підприємства (приміщення виробничої ділянки) вимогам санітарних і будівельних норм і правил;
- можливість появи шкідливих і небезпечних виробничих чинників, основні причини виробничих травм;

- дотримання вимог безпеки при використанні обладнання, вантажопідійомних машин і судин, що працюють під тиском;
- динаміку травматизму і захворюваності;
- санітарно-побутові умови працівників;
- пожежну безпеку (характеристика технологічних процесів пожежній небезпеці, наявність і готовність первинних і технічних засобів пожежогасіння, дотримання вимог пожежної безпеки, наявність і стан грозозахисних пристроїв і т. п.).

Розробка заходів щодо поліпшення стану охорони праці. Заходи щодо поліпшення стану охорони праці або безпеки технологічних процесів розробляють на основі аналізу. Вони повинні бути конкретними.

Заходами передбачають:

- поліпшення діяльності адміністрації (наймача) з дотримання трудового законодавства і виконання вимог нормативної документації з охорони праці;
- вдосконалення системи навчання працівників охорони праці відповідно до нормативних документів;
- поліпшення контролю і нагляду за дотриманням вимог охорони праці;
- застосування засобів наочної агітації з безпеки праці, поліпшення планування з охорони праці;
- заміну небезпечних технологічних процесів безпечними;
- розробку пристроїв, що забезпечують безпечну експлуатацію технологічного обладнання і систем, забезпечення електробезпеки;
- створення нормального повітряного середовища за рахунок вентиляції і опалювання;
- забезпечення гігієнічних вимог до природного і штучного освітлення;
- зниження рівнів шуму і вібрацій на робочих місцях;
- забезпечення пожежної безпеки;
- створення необхідних санітарно-побутових умов для працівників підприємства.

Для розробки вимог безпеки (інструкції) з охорони праці при експлуатації існуючого, проектового або модернізованого устаткування (приспосовування) необхідно спочатку охарактеризувати можливі небезпечні і шкідливі виробничі чинники, які можуть виникнути під час роботи, небезпечні зони, а потім описати методи їх ліквідації. Необхідно також обґрунтувати вимоги до персоналу, який експлуатуватиме обладнання.

Для забезпечення безпечної експлуатації і обслуговування проектового устаткування передбачають захисні засоби, блокуючі і гальмівні пристрої, засоби сигналізації, захист від враження електричним струмом і ін. Робоче місце оператора організують з урахуванням вимог ергономіки.

Крім того, при необхідності обґрунтовують санітарно-гігієнічні умови праці на проектованому обладнанні, передбачають заходи і засоби пожежної безпеки, розробляють інструкцію з техніки безпеки.

Визначення кількості шкідливих виділень у виробничих приміщеннях. Деякі технологічні процеси, що виконуються на ремонтно-обслуговуючих підприємствах, характеризуються виділенням різних забруднень. Тому при проектуванні підприємств в приміщеннях передбачають природну, механічну або змішану вентиляцію. Вентиляційні системи повинні забезпечувати відносну вологість повітря, концентрацію в нім газів, шкідливих виділень в межах, що не перевищують допустимі норми. Якщо виділення забруднень відбувається на окремому технологічному обладнанні (на столі для зварювальних робіт, в наплавлювальній установці, гальванічній ванні і т.д.), влаштовують місцеву вентиляцію у вигляді парасольок, відкосів і т.п. При розсіяному виділенні забруднень в приміщенні передбачають загальнообмінну вентиляцію.

Розрахунок вентиляційних систем проводять виходячи з інтенсивності забруднення повітря. Кількість виділень, що забруднюють повітря в приміщенні, визначають по кожному джерелу. У виробничих приміщеннях до основних забруднень відносяться: відпрацьовані гази двигунів

внутрішнього згорання; гази і аерозолі, що утворюються в процесі зварки, наплавлення, паяння; випаровування миючих розчинів, розчинників емалей і лаків, охолоджуючих рідин, електроліту та ін.

4.3. Техніко-економічне обґрунтування розробок

Економічний ефект від впровадження розробленої методики складання ГРЗ виникає в сфері ремонтного виробництва за рахунок зниження трудовитрат на ремонтно-відновлювальні роботи по причині зриву різьблення (руйнування стрижня) шпильки або зриву різьблення в отворі корпусу деталі (при болтовому з'єднанні), що є наслідком низької точності затягування. Розроблена методика дозволяє підвищити точність затягування, тим самим виключити зрив різьблення (руйнування болта) в процесі складання, отже, і трудовитрати, пов'язані з відновленням різьбових з'єднань. Оцінка економічної ефективності від впровадження даної методики проводилася на прикладі технологічного процесу монтажу ГБЦ двигунів ЗІЛ-130.

Визначимо очікуваний економічний ефект за рахунок зниження трудовитрат на відновлення різьблення в блоці циліндрів в разі її зриву при монтажі ГБЦ.

У таблиці 4.1 наведені операції, що виконуються при відновленні різьблення в отворі блоку циліндрів, і норми часу (на прикладі двигуна ЗІЛ 130). Норми часу на виконання технологічних операцій при оцінці трудовитрат приймалися згідно [25].

Приймаємо, що відновлення нарізного сполучення виконується розточуванням і нарізуванням різьблення під більший діаметр, діаметр отвору в голівці циліндрів достатній для болта ремонтного розміру і розточення не вимагає, на одному блоці циліндрів відновлюється один отвір для гвинта, всі операції виконуються одним виконавцем, визначення необхідних моментів затягування виконується за допомогою номограми.

Таблиця 4.1 - Технологічні операції та норми часу

Операції (на прикладі двигуна ЗІЛ 130)	Норма часу, год.
Демонтаж-монтаж ГБЦ	1,7
Демонтаж-монтаж кривошипно-шатунного механізму	2,4
Демонтаж-монтаж прокладки ГБЦ	0,03
Розточка різьбового отвору блока	0,18
Нарізання різьби в отворі блоку	0,18
Виготовлення болта ремонтного розміру	0,16

За рахунок зниження трудовитрат на заміну зірваних шпильок при річній програмі ремонту підприємства 600 одиниць двигунів очікуваний економічний ефект від впровадження методики складання ГРЗ складе:

$$E = C_1 - C_2 = 677586 - 613330 = 64256 \text{ грн.}$$

Висновок

Оцінка економічної ефективності показала, що при річній програмі ремонту підприємства 600 одиниць двигунів очікуваний річний економічний ефект за рахунок зниження трудовитрат на відновлення зірваного різьблення в отворі блоку циліндрів (на прикладі двигуна ЗІЛ 130) складає близько 65000 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Низька надійність ГРЗ відремонтованих вузлів машин обумовлена низькою точністю (+ 25..38%) і, отже, нерівномірністю затягування в процесі складання через зміни стану різьбових з'єднань при експлуатації. Для точної і рівномірної затяжки ГРЗ необхідно враховувати фактичний стан різьбових з'єднань.

2. Отримано функціональні залежності для визначення моменту затяжки, виходячи з умови збереження міцності болта або щільності стику деталей, що дозволяють врахувати фактичний стан різьбового з'єднання.

3. На основі контролю сили затяжки через відношення моментів відгвинчування і загвинчування розроблена послідовність складання ГРЗ ремонтованих вузлів машин, що дозволяє врахувати фактичний стан різьбових з'єднань.

4. Розроблена методика складання ГРЗ дозволяє отримати більш точну і рівномірну затяжку, що підтверджено експериментально.

5. Оцінка економічної ефективності показала, що при річній програмі ремонту підприємства 600 одиниць двигунів очікуваний річний економічний ефект за рахунок зниження трудовитрат на відновлення зірваного різьблення в отворі блоку циліндрів (на прикладі двигуна ЗІЛ 130) складає близько 65000 грн.