

**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет інженерно-технологічний**  
**Кафедра будівництва та професійної освіти**

Пояснювальна записка  
до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти  
« магістр »

на тему: «Удосконалення процесу ремонту роз'ємних з'єднань виробів  
сільськогосподарського машинобудування»

КРМ.133ГМмд\_24.12.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти за  
освітньо-професійною програмою  
Машини і засоби механізації  
сільськогосподарського виробництва  
спеціальності 133 Галузеве  
машинобудування  
ступеня вищої освіти «магістр»  
групи 133ГМмд\_24  
Москалець М. В.

Керівник: к.т.н., доцент Муравльов В.В.

**Полтава – 2023 року**

## РЕФЕРАТ

**Пояснювальна записка:** 5 розділів, 15 рис., 5 табл., 30 літературних джерел, 55 сторінок.

**Об'єктом розробки** є розбирання різьбових з'єднань з використанням віброхвильового впливу при ремонті машин.

**Предметом дослідження** є вплив віброхвильової дії на ефективність розбирання і якість різьбових з'єднань в умовах ремонтних виробництв.

**Метою кваліфікаційної роботи магістра** є підвищення ефективності розбирання різьбових з'єднань в умовах ремонту та утилізації виробів машинобудування на основі застосування віброхвильового впливу.

**Практичне значення кваліфікаційної роботи магістра** – запропоновано комплекс технологічних рішень, що дозволяють підвищити ефективність технологічного процесу розбирання і поліпшити якість формованих з'єднань, продовжити довговічність окремих елементів машин на основі використання віброхвильових процесів.

У **першому розділі** проведено огляд робіт в сфері технології ремонту та утилізації виробів машинобудування та особливості, сучасні напрями утилізації сільськогосподарської техніки.

У **другому розділі** проведено моделювання процесів розбирання роз'ємних з'єднань у звичайних умовах.

У **третьому розділі** приведена методика проведення експериментальних досліджень. Для проведення експериментів по розбиранню різьбових з'єднань віброхвильовим методом застосовували натурні пари болт (чи гвинт) - гайки разом з шайбами (пласкою) різних діаметрів

У **четвертому розділі** викладено результати експериментальних досліджень та перевірки відповідності теоретичних залежностей отриманим даним.

У **п'ятому розділі** розглянуті питання екологічної безпеки та запропоновані заходи з охорони праці. Зроблені рекомендації щодо реалізації комплекс конструкторсько-технологічних рішень, спрямованих на підвищення якості віброхвильового розбирання різьбових з'єднань.

					КРМ.133ГМмд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Практичні результати роботи** – встановлено, що застосування віброхвильових коливань підвищує ефективність розбирання різьбових з'єднань. Залежно від схеми вантаження момент розгвинчування і зусилля знижуються на 65 - 85 % і 70 - 90 % відповідно при максимальному часі віброхвильового вантаження елементів з'єднання 90 с.

**Рекомендації щодо використання результатів роботи** – встановлено, що схема вступу в зону сполучення деталей віброхвильової дії і початковий момент затягування (зусилля) чинять визначальний вплив на розбирання різьбового і пресового з'єднання.

**Сфера застосування результатів роботи** – агропромислове і машинобудівне виробництво.

Ілюстраційна частина кваліфікаційної роботи – 8 аркушів.

Результат перевірки тексту пояснювальної записки на плагіат за допомогою сервісу Unicheck: унікальність тексту – 93,66%.

#### АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра присвячена питанням підвищення ефективності процесу розбирання різьбових з'єднань в умовах ремонту.

РЕМОНТ, УТИЛІЗАЦІЯ, РІЗЬБОВІ З'ЄДНАННЯ, ПАРАМЕТРИ, ВІБРОХВИЛЕВА ОБРОБКА, ДОСЛІДЖЕННЯ.

#### ANNOTATION

The master's qualification work is devoted to the issue of increasing the efficiency of the process of disassembling threaded connections in the conditions of repair.

REPAIR, DISPOSAL, THREADED CONNECTIONS, PARAMETERS, VIBRATORY PROCESSING, RESEARCH.

					КРМ.133ГМмд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗМІСТ

1.1	Огляд робіт в сфері технології ремонту та утилізації виробів машинобудування .....	9
1.2	Методи організації ремонту на підприємстві .....	11
1.3	Особливості і сучасні напрями утилізації сільськогосподарської техніки....	13
1.4	Висновки до розділу 1 .....	15
2	ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	16
2.1	Моделювання процесів розбирання у звичайних умовах.....	16
2.2	Досліджувані параметри, кількісні і якісні показники .....	20
3	МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	22
3.1	Загальна характеристика об'єктів досліджень .....	22
3.2	Методи аналізу і класифікація об'єктів досліджень.....	25
3.3	Методи і засоби оцінки і вимірів результатів досліджень.....	27
4	РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	30
4.1	Експериментальні дослідження впливу віброхвильової дії на розбирання різьбових з'єднань при різних схемах навантаження .....	30
4.2	Вплив віброхвильової обробки на розбирання різьбових з'єднань .....	35
4.3	Висновки до розділу .....	37
5	ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	39
5.1	Екологічна експертиза.....	39
5.2	Охорона праці.....	41
5.3	Техніко-економічне обґрунтування досліджень.....	46
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	51
	СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	52

					КРМ.133ГМмд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Підвищення якості, надійності й довговічності виробів різного функціонального призначення є важливим завданням життєвого циклу машинобудування. Для підвищення надійності і довговічності машин важливе значення має їх своєчасне технічне обслуговування, ремонт і утилізація.

Зниження споживання матеріальних ресурсів при зазначених умовах має прямий вплив на прискорення науково-технічного прогресу.

Розбирання виробів здійснюється для підтвердження і контролю стану деталей машин після технічної діагностики з метою виявлення та відновлення їх функціональних можливостей і зосереджує в собі результати всього подальшого технологічного процесу. Серйозні труднощі виникають при необхідності зниження трудомісткості розбірних робіт, які займають велику долю, близько 50% в залежності від стану і виду ремонтованих машин, в процесі ремонту, при необхідності подальшого забезпечення функціональних параметрів з'єднань.

Існуючі методи розбирання часто викликають пошкодження прецизійних поверхонь і деформацію розбираємих деталей, вимагають витрати часу і відносно великих зусиль, в зв'язку з невизначеністю, в якому стані машина надходить в ремонт.

Перспективним напрямом вирішення цієї проблеми поряд з подальшим удосконаленням традиційних процесів очищення, миття, розбирання, ремонту є розробка нових технологій в умовах віброхвильового впливу.

Віброхвильове розбирання різьбових з'єднань сприяє зниженню силових навантажень, забезпечує збереження розібраних деталей, дозволяє здійснювати розбирання без пошкодження та поломки. І головне, скорочує операційний час і покращує екологічні характеристики процесу.

**Метою дослідження** є підвищення ефективності розбирання різьбових з'єднань в умовах ремонту та утилізації виробів машинобудування на основі застосування віброхвильового впливу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Виявити особливості і проблеми ремонту та утилізації машин

					КРМ.133ГМд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сільськогосподарського призначення.

2. Встановити основні теоретичні закономірностей віброхвильової обробки на операціях розбирання та ремонту.

3. Провести експериментальні дослідження структури поверхонь розібраних деталей після віброхвильової обробки, швидкодії розбірного процесу і ступеня зниження прикладеного розбірного зусилля.

4. Розробити рекомендації щодо реалізації комплекс конструкторсько-технологічних рішень, спрямованих на підвищення якості віброхвильового розбирання різьбових з'єднань.

**Об'єкт дослідження** є розбирання різьбових з'єднань з використанням віброхвильового впливу при ремонті машин.

**Предметом досліджень** є вплив віброхвильової дії на ефективність розбирання і якість різьбових з'єднань в умовах ремонтних виробництв.

**Методи дослідження** базуються на фундаментальних положеннях технології машинобудування, теорії контактної взаємодії твердих тіл, методах математичного моделювання та аналізу при побудові залежностей, а також методикою планування і проведення експериментів з дослідження впливу параметрів віброхвильової обробки на підвищення ефективності операцій розбирання різьбових з'єднань, мийно-очисних операцій і якості поверхні ремонттованих деталей.

#### **Теоретична та практична значущість результатів роботи.**

На підставі виконаних теоретичних і експериментальних досліджень запропоновано комплекс технологічних рішень, що дозволяють підвищити ефективність технологічного процесу розбирання і поліпшити якість формованих з'єднань, продовжити довговічність окремих елементів машин на основі використання віброхвильових процесів.

					КРМ.133ГМмд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 1.1 Огляд робіт в сфері технології ремонту та утилізації виробів машинобудування

Нині існує ряд робіт в області технології ремонтного виробництва машин [1-12]. У них розглядаються проблеми вдосконалення і прогнозування якості виконуваних робіт, скорочення часу на їх виконання і підвищення ефективності ремонтваних виробів. Відомі випадки використання окремих деталей і складальних одиниць як ремонтний фонд, що дозволяє помітно понизити вартість і час проведення ремонту конкретного виробу.

Під об'єктом виробництв (ОВ) розуміють будь-які машини або частини машин машинобудівного виробництва (автомобілі, верстати, сільськогосподарська техніка, літальні апарати, мотоцикли, водні апарати, їх частини), механізми, складальні одиниці (СК), агрегати, деталі та ін.

Однією з основних особливостей ремонтних виробництв в заводських умовах є те, що якість ремонту досягається різними шляхами при різній вартості. Нестабільність характеру і об'єму робіт як результат різновиду ремонтного фонду ускладнює організацію і планування виробництва. При проведенні ремонту деталі діляться на придатних і непридатних, причому залежно від виду ушкодження або зносу, а також від виду існуючих технічних рішень на ремонтному підприємстві непридатні деталі можуть бути відновлені або замінені новими.

Технічна політика в області підтримки робото здатності ОВ спрямована на планову і на попереджувальну систему технічного обслуговування (ТО) і ремонту. При цьому плановий характер системи, з одного боку, передбачає планове проведення ТО, що забезпечує попередження непередбаченої (аварійного) відмови ОВ і регулярне отримання інформації про його технічний стан, з іншого - припускає плановані напрацювання агрегатів і ОВ до виведення їх в ремонт, а також об'єми робіт при ремонті, що сприяє підвищенню ритмічності роботи ремонтних підприємств і поліпшенню умов їх забезпечення матеріалами, запасними частинами і іншими видами ресурсів. Попереджувальний характер системи полягає в тому, що вона припускає проведення ремонту складових

					КРМ.133ГМмд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частин і виробів в цілому до настання періоду прискореного зношування базових і основних деталей. Подальше використання базових і основних деталей, що досягли цієї стадії зношування, зв'язане з небезпекою аварій і неминуче призводить до збільшенню об'ємів, складності і вартості ремонту [13].

Багато робіт [5, 14-20] присвячені загальному вигляду ремонту, що використовується в сучасній техніці, у тому числі їх класифікації та їх особливостям.

Відповідно до об'єму виконуваних робіт, після ремонтного стану і виду ушкодження ОВ може піддаватися капітальному, середньому або поточному ремонту, а у разі потреби - модернізації.

Поточний ремонт (ПР). При поточному ремонті виробляють заміну або відновлення невеликої кількості зношених деталей або деталей, що досягли граничного стану, регулювання механізмів, перевірку стану органів. Потреба ПР виявляється в процесі експлуатації ОВ, при технічному обслуговуванні і плановому діагностуванні. У технологічну документацію ОВ зазвичай входять технічні вимоги на ПР, технологічні карти по заміні агрегатів, а також креслення устаткування. ПР включає неплановий ремонт, пов'язаний з усуненням несправностей і проведенням попереджувальних робіт, і плановий ремонт, який проводиться за результатами діагностування.

Капітальний ремонт (КР). Якщо більшості агрегатів вимагає повного розбирання, заміни або ремонту усіх несправних складових частин, у тому числі базових, то об'єкт виробництва має бути спрямований на капітальний ремонт, що виконується найчастіше на спеціалізованих ремонтних підприємствах. Це найбільший за об'ємом ремонт, що проводиться з комплексним розбиранням агрегату, і може поєднуватися з повною або частковою модернізацією устаткування. При цьому в більшості випадках знімають агрегати з виробу повністю розбирають, механічні частини очищають від бруду і іржі, промивають, перевіряють їх функціональний стан і потім збирають знову, використовуючи нові або повторно оброблені деталі, виміряють усі геометричні параметри, що забезпечують повернення агрегату його необхідної точності, потужності і продуктивності. Об'єм робіт визначається заздалегідь складеною відомістю

					КРМ.133ГМмд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дефектів. Контроль технічного стану виконується з періодичністю і об'ємом, встановленими в НТД, а об'єм і момент початку роботи визначаються технічним станом.

Середній ремонт (СР) є проміжним. При модернізації зазвичай встановлюють на виріб новий надійний і необхідний вузол на місці того, що стоїть або змінюють конструкцію останнього з метою надання йому додаткових ефективних можливостей [21].

## 1.2 Методи організації ремонту на підприємстві

У практиці ремонту машин організаційною основою індустріального ремонту за ознакою збереження приналежності складових частин до ремонтваного ОВ можуть служити знеособлений і не знеособлений методи ремонту. Застосування будь-якого з виявлених методів в процесі ремонту виробу незалежно від вживаного методу різних видів ремонтів, залежить від багатьох чинників, серед яких найбільший вплив чинять кількісні склади і марки виробів або їх складових частин в цьому ремонтному підприємстві, їх конструктивні особливості, виробничі умови ремонту, а також вживана виробнича програма ремонтного підприємства.

У зв'язку з вищевикладеним, знеособлений метод ремонту характеризується тим, що деталі і складальні одиниці не зберігають при ремонті приналежність відновлених складових частин до одного об'єкту. ОВ розбирається на вузли і деталі, а збирається з нових і відновлених деталей знеособлений в інші вузли. Несправні агрегати і вузли піддаються ремонту і йдуть на комплектування оборотного фонду. Цей метод спрощує організацію ремонтних робіт, значно скорочує тривалість перебування ОП в ремонті і широко застосовується в спеціалізованих ремонтних підприємствах.

Не знеособлений (адресний) метод ремонту характеризується тим, що деталі і складальні одиниці зберігають при ремонті приналежність до певного об'єкту ремонту. Цей метод виключає усі недоліки знеособленого ремонту при збереженні взаємною припрацьованості деталей, їх первинного взаємозв'язку,

					КРМ.133ГМмд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

завдяки чому якість ремонту виявляється, як правило, вищим, ніж при знеособленому методі. Проте ускладнення організації виробництва при цьому методі на спеціалізованих підприємствах з великим річним обсягом випуску обмежують сферу його використання. Його перевага полягає в тому, що з'єднання, що не вийшли за допустимі граничні розміри, зберігаються, а деталі міняються лише в з'єднаннях, зношених понад допустимі розміри.

Організація не знеособленого ремонту або ремонту з меншою долею знеособлення в умовах спеціалізованих підприємств дозволяє докорінно поліпшити показники ефективності і якості продукції ремонтного підприємства при збереженні індустріальних методів ремонту [22].

Залежно від прийнятих рішень про подальше використання частин розібраних машин, що залишилися, при їх зборці, існує так званий метод агрегатного ремонту, при якому несправні агрегати замінюються новими або заздалегідь відремонтованими. Застосування цього методу вимагає наявності в ремонтному підприємстві різновидів СО, подібних за принципом дії і по службовому призначенню розібраним агрегатам, і в основному здійснюється на спеціалізованих ремонтних підприємствах. Метод агрегатного ремонту понад усе дозволяє понизити питомі витрати на запасні частини, спрощує ТП і скорочує час ремонту.

Вузловий метод ремонту полягає в тому, що працездатність агрегату відновлюється шляхом заміни вузла, до складу якого входить деталь, що вийшла з ладу. ТП ремонту складається з комплексу робіт, що є сукупністю операцій із закінченим процесом і з видачею готового вузла.

Потоковий метод ремонту виконується на спеціалізованих робочих місцях з визначеними технологічною послідовністю і ритмом. Характерною особливістю цього методу є безперервність ТП, що забезпечується ритмічність виробництва. Його проведення залежить від об'ємів виробничих програм, що дозволяють диференціювати операції ТП ремонтних об'єктів. Метод обмежений однотипними машинами і зручний при їх великій щільності.

Спеціалізовані методи ремонту проводяться на ремонтних підприємствах, де що поступають ОВ не відрізняється один від одного або належать групі схожих

					КРМ.133ГМмд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

по функціональних можливостях машин.

Комбіновані методи ремонту застосовуються в окремих випадках, для задоволення конкретних потреб ремонтних виробництв. Поєднання використовуваних методів ремонту залежить передусім від видів вкладених коштів при проектуванні, від очікуваного числа відремонтованих об'єктів і тривалості здійснюваних робіт.

Різновид відремонтованих виробів в ремонтному підприємстві визначає його спеціалізація. Розрізняють авторемонтні, авіаремонтні, судноремонтні, сільськогосподарські, комбіновані і спеціалізовані ремонтні виробництва. Аналіз робіт [23] показує, що ремонтні підприємства несуть істотні втрати через відсутність повного комплексу ремонтного устаткування.

Структурна схема виробничого процесу ремонту складної машини складається з основних дій, безпосередньо пов'язаних з ремонтом (очищення, розбирання, дефектація, відновлення, зборка машини.), і допоміжних дій (контроль якості, складування, транспортування і т. д.). Як випливає з схеми, ремонт починається приймання об'єкту в ремонт для виявлення доцільності ремонту ОВ, виявлення видимих без розбирання дефектів, перевірки комплектності відповідно до її конструкції. Далі проводять зовнішнє очищення поверхні від бруду, розбирання і здійснюють дії, спрямовані на відновлення працездатного стану виробу.

### **1.3 Особливості і сучасні напрями утилізації сільськогосподарської техніки**

У зв'язку з різними причинами вилучення автомобілів і тракторів з експлуатації, а також в ході ремонту вживані напрями використання його залишкових ресурсів можуть бути різними. Як відмічено раніше, найбільш прийнятні при цьому економічні міркування (критерії). У зв'язку з цим повторне використання автомобілів, тривало використовуване як єдиний спосіб утилізації, поки не приносило збиток споживачеві. Усе це привело до сучасного підходу, який полягає в застосуванні окремих придатних і цінних деталей і складальних

					КРМ.133ГМмд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

одиниць автомобіля для його застосування в інших подібних або у відповідних або близьких за якістю виробках [20, 22]. Нині ефективно впровадження сказаного забезпечується створенням унікальних специфічних підприємств, на яких здійснюються хоч би один з вказаних заходів, у тому числі обов'язкових цілеспрямованих дій.

Техніка, що поступає на утилізацію, як правило, сильно забруднений, тому спочатку і надалі він і його складові частини (агрегати, ЦЕ і деталі автомобіля) мають бути очищені від бруду що полегшує розбирання, дозволяє правильно оцінити придатність знятих вузлів і агрегатів до повторного використання, відновлення або забезпечення ресурсів складових деталей.

Етапи розбирання автомобіля, що полягають в розбиранні різних сполучень, вузлів і агрегатів, чергуються з етапами миття і очищення. Утилізований автомобіль після миття поступає на загальне розбирання, де з нього знімають колеса, з його систем зливають усі робочі рідини (паливо, масло, гальмівну, таку, що охолоджує та ін.), знімають потенційно небезпечні системи (подушки безпеки з піропатроном, ременів безпеки, кондиціонер, акумуляторну батарею). Потім з автомобіля знімають електроустаткування, панель приладів, передній і задній бампери, радіатори, паливний бак, передній і задній мости, карданний вал, гальмівну і паливну системи, коробку передач, двигун і так далі. Зняті агрегати і системи автомобіля поступають на подальше очищення і вузлове розбирання, яке виконується на спеціалізованих ділянках.

Оцінка стану деталей при утилізації, як і при ремонті, здійснюється візуальним оглядом, в першу чергу, і далі за допомогою вимірювальних приладів (лупи, лінзи, візуально) або шляхом дослідження структури деталей способами неруйнівного контролю, особливо у разі дефектації внутрішньої поверхні деталей дефектоскопами різних сортів (ультразвуковими, магнітними, акустичними, електромагнітними) та іншими приладами. Існує ряд методів неруйнівного контролю, які описані в роботах [22].

Залежно від вживаних ознак збереження приналежності складових частин виробу придатні деталі або залишаються на ремонтному підприємстві як змінні деталі, або вирушають на спеціальні і спеціалізовані підприємства для їх

					КРМ.133ГМмд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

подальшого використання в схожих за технічними вимогами технологічних карт.

У роботі [3] встановлено, що не менше 25 % знятих з автомобіля вузлів і деталей можуть бути повторно використані без якого-небудь доопрацювання, оскільки зберігають конструктивні, експлуатаційні і естетичні характеристики. Більше того, 50% деталей утилізованого автомобіля можуть бути допрацьовані за допомогою сучасних технологій відновлення.

На сьогодні існує ряд способів відновлення деталей [4]. У їх числі знаходять широке застосування вібраційна обробка і зміцнювальна обробки деталей, вібро дугове зварювання, високочастотне газоелектричне плавлення і багато інших видів операцій, що виконуються із застосуванням вібраційної дії. Усі відновлені деталі утилізувалися як придатні.

#### **1.4 Висновки до розділу 1**

В умовах ремонтного виробництва таких як авторемонт, медтехніка, сільськогосподарська техніка віброхвильова обробка ще не знайшла широкого застосування.

Вищевикладене дозволяє сформулювати мету і завдання досліджень, які спрямовані на подальший розвиток віброхвильової обробки.

Метою роботи є вдосконалення технології ремонтних виробництв і утилізації виробів машинобудування на основі застосування віброхвильової обробки. Для досягнення цієї мети вирішуються наступні завдання:

1. Виявити особливості і проблеми ремонту та утилізації машин сільськогосподарського призначення.
2. Встановити основні теоретичні закономірностей віброхвильової обробки на операціях розбирання та ремонту.
3. Провести експериментальні дослідження структури поверхонь розібраних деталей після віброхвильової обробки, швидкодії розбірного процесу і ступеня зниження прикладеного розбірного зусилля.
4. Розробити рекомендації щодо реалізації комплекс конструкторсько-технологічних рішень, спрямованих на підвищення якості віброхвильового розбирання різьбових з'єднань.

					КРМ.133ГМмд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Моделювання процесів розбирання у звичайних умовах

Різьбові з'єднання розбирають шляхом відгвинчування гвинтів або гайок за допомогою інструментів і пристроїв, описаних вище. Момент, необхідний для їх відгвинчування  $M_{отв}$ , використовується на подолання моменту в різьбі  $M_p$  і моменту сил тертя  $M_{тр}$  на торці гайки (голівки гвинта) об нерухому поверхню деталі знаходиться за формулою [25]:

$$M_{отв} = M_p + M_{тр} \quad (2.1)$$

Момент різьби  $M_p$  за умові прикладення сили  $F_t$  на середньому діаметрі  $d_2$  обчислюють за формулою:

$$M_p = \frac{F_t \cdot d_2}{2} = 0,5 \cdot F \cdot d_2 \cdot \tan(\varphi - \psi) \quad (2.2)$$

Момент сил тертя  $M_{тр}$  на торці гайки приблизно обчислюють, приймаючи, що рівнодійна сил тертя прикладена по середньому діаметру кільцевої опорної поверхні

$$M_{тр} = F \cdot f_T \cdot d_{cp} / 2 = F \cdot f_T \cdot \frac{a + d_0}{4} \quad (2.3)$$

Підставляючи (2.2) і (2.3) в (2.1), отримуємо вираз

$$M_{отв} = F \left[ \frac{d_2 \tan(\varphi - \psi)}{2} + \frac{f_T (a + d_0)}{4} \right] = F \frac{d_2}{2} \left[ \tan(\varphi - \psi) + f_T \frac{d_{cp}}{d_2} \right], \quad (2.4)$$

де  $F$  - колова сила в гвинті;  $F = F_{oc} = F_t / \tan(\varphi - \psi)$ ;

$F_t$  - колова сила, прикладена до елемента гайки на середньому діаметрі  $d_2$ ;

$d_2 = (d_1 + d_3) / 2$  - середній діаметр гвинта або болта;

$d_1, d_3$  - зовнішній і внутрішній діаметр різьби відповідно;

$d_{cp} = (a + d_0) / 2$  - середній діаметр кільцевої опорної поверхні;

$d_0$  - діаметр отвору деталі, що охоплює;

$a$  - середній розмір між протилежними точками торця гайки на поверхні

					КРМ.133ГМмд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контакту;

$\psi$  - кут нахилу гвинтової лінії;

$\varphi_1$  - кут тертя,  $\varphi_1 = \arctg(f_1) = \varphi / \cos(\alpha / 2)$ ;

$f_1 = f / \cos(\alpha / 2)$  - приведений коефіцієнт тертя в різьбі;

$\alpha$  - кут профілю різьби;

$f_T$  - коефіцієнт тертя на торці гайки.

Мінімальне і максимальне напруження в тілі болта або шпильки в з'єднанні визначається виразом [16]:

$$\begin{cases} \sigma_{\min} = K_H \cdot \sigma_p \cdot (1 - \chi); \\ \sigma_{\max} = \eta \cdot \sigma_T, \end{cases} \quad (2.5)$$

де  $\sigma_p$  - напруження матеріалу болта від найбільшого робочого навантаження;

$\chi$  - коефіцієнт основного навантаження,  $0,2 \leq \chi \leq 0,4$ ;

$K_H$  - коефіцієнт, що враховує вид навантаження і характер стику з'єднання;

$\sigma_T$  - межа текучості різьби деталі;

$\eta$  - коефіцієнт безпеки:  $0,5 \leq \eta \leq 0,7$  - для звичайних з'єднань;  $0,8 \leq \eta \leq 0,9$  - для відповідальних з'єднань.

Аналіз даної формули показує, що величина сили розтягу може змінюватися від  $F_{\min}$ , визначуваною з умови не розкриття стику, до  $F_{\max}$ , залежною від міцності матеріалу болта або шпильки. Іншими словами, при  $\sigma > \sigma_{\max}$  має місце руйнування з'єднання. Таким чином, при розбиранні необхідно враховувати різного роду навантаження, які отримують деталь, і кліматичні умови, при яких вона працює оскільки змінюється характеристика елементів з'єднання. Величина осьової сили при цьому описується формулою:

$$F = \sigma \cdot S_{\epsilon}, \quad (2.6)$$

де  $S_{\epsilon}$  - площа поперечного перерізу болта (чи шпильки).

Тоді формула (2.4) набуває вигляду

					КРМ.133ГМмд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{ome} = \sigma \cdot S_{\delta} \cdot \left[ \frac{d_2 \operatorname{tg}(\varphi_1 - \psi)}{2} + \frac{f_T (a + d_0)}{4} \right] = \sigma \cdot S_{\delta} \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \left[ \operatorname{tg}(\varphi_1 - \psi) + f_T \frac{d_{cp}}{d_2} \right]. \quad (2.7)$$

Отримане рівняння свідчить про те, що момент розбирання передусім залежить від діаметру пар в з'єднанні і матеріалу деталей.

Так само найбільше зусилля розпресування валу з отвору  $P$ , необхідне для зборки, а отже, і розбирання з'єднання з натягом, визначається

$$P = \pi \cdot d \cdot l \cdot p \cdot (f - \operatorname{tg} \beta), \quad (2.8)$$

де  $f$  - коефіцієнт тертя при запресуванні (осьовому зрушенні);

$\beta$  - кут нахилу конуса:  $\beta = 0$  для циліндричних з'єднань, умову самогальмування  $f > \operatorname{tg} \beta$  необхідно забезпечити;

$d, l$  - відповідно номінальний діаметр і довжина отвору втулки, мм;

$p$  - напруження стиску на контактній поверхні, МПа.

У свою чергу, максимальний тиск розраховують за формулою [17]:

$$P_{\max} = \frac{1}{d} \cdot \frac{\delta_{cf\max} \cdot 10^{-3}}{C_1/E_1 + C_2/E_2}, \quad (2.9)$$

де  $E_1$  і  $E_2$  - модулі пружності матеріалів;

$\delta_{cf\max}$  - максимальний фактичний натяг в з'єднанні, мкм, визначений відповідно до робіт [6] як

$$\delta_{cf\max} = \delta_{c\max} - 1,2(Rz_1 + Rz_2), \quad (2.10)$$

де  $\delta_{c\max}$  - максимальний натяг;

$Rz_1, Rz_2$  - висота мікронерівностей спряжених поверхонь;

$C_1$  і  $C_2$  - коефіцієнти Ламе, які розраховують за формулами:

$$\begin{cases} C_1 = (d^2 + d_{ome}^2) / (d^2 - d_{ome}^2) - \mu_1; \\ C_2 = (D^2 + d^2) / (D^2 - d^2) - \mu_2, \end{cases} \quad (2.11)$$

де  $\mu_1$  і  $\mu_2$  - коефіцієнти Пуассона, залежні від матеріалів охоплюваного і охоплюючого елементів з'єднання;

$d_{ome}$  - діаметр отвору в порожнистому валу, якщо вал суцільний -  $d_{ome} = 0$ ;

					КРМ.133ГМмд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$d$  - номінальний діаметр елементів з'єднання;

$D$  - найменший розмір зовнішньої частини з'єднання, що охоплює деталь.

Формула (2.8) показує, що натяг, довжина посадочного отвору і матеріал деталей чинять найбільш прямий вплив на розбирання різьбових з'єднань. Причому, чим більше натяг в з'єднанні, тим вимагається більше зусилля для його розбирання. Крім того, виходячи з (3.9), натяг не постійний із-за наявності на контактуючих поверхнях мікронерівностей. Викладена теоретична основа вимагає підтвердження при експериментальних дослідженнях.

З цих залежностей виходить, що міцність залежить від ефективної площі сполучення, контактної тиску і коефіцієнта тертя. Площа сполучення визначається геометричними розмірами з'єднання, які призначають з умови забезпечення статичної міцності і витривалості деталей, що сполучаються, передбачуваного середнього значення коефіцієнта тертя, а також з конструктивних міркувань.

На основі роботи [18] встановлено, що найважливішою характеристикою, що дозволяє забезпечити експлуатаційні вимоги до з'єднань з натягом, є фактична площа контакту, яка придатна при ремонті або в процесі утилізації виробу за допомогою правильного розбирання і може бути визначена як

$$S_{\phi} = \pi \cdot d \cdot l \cdot \left[ 0,5 - \Phi \left( \frac{u_a}{\sigma_a} \right) \right] \cdot \left[ 0,5 - \Phi \left( \frac{u_b}{\sigma_b} \right) \right], \quad (2.12)$$

де  $\Phi$  - функція Лапласа;

$\sigma_a$  і  $\sigma_b$  - середні квадратичні відхилення нерівностей спряжених поверхонь охоплюваного і охоплюючого деталей;

$u_a$  і  $u_b$  - параметри, що характеризують зближення контактуючих поверхонь.

При експлуатації машини усі її деталі і, зокрема, з'єднання різних призначень випробовують не лише різні по рівню вантаження, але і працюють в різних середовищах за певних умов. Одні умови забезпечують працездатність машин або їх складових частин, інші роблять негативний вплив. У зв'язку з цим в деяких роз'ємних з'єднаннях виникає корозія, охоплювання контактуючих

					КРМ.133ГМд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поверхонь, скупчення продуктів зношування, які призводять до заїдання кріпильних деталей, що викликає необхідність застосування значних зусиль при розбиранні.

## 2.2 Досліджувані параметри, кількісні і якісні показники

При виконанні експериментів досліджувані параметри змінювалися в залежності від виду здійснюваних операцій і характеризувалися або вимірюваними, або розрахунковими значеннями.

Розбирання різьбових з'єднань віброхвильовим методом оцінювалося ступенем послаблення зусилля затягування з'єднань під дією віброхвильового навантаження на основі чисельного визначення за залежністю [23]:

$$s_1(t) = M_{обр}(t) / M_{исх}, \quad (2.13)$$

де  $M_{исх}$  - момент загвинчування без віброхвильової дії;

$M_{обр}(t)$  - момент загвинчування після віброхвильового впливу за час  $t$ .

При розбиранні різьбових з'єднань досліджували також ступінь послаблення зусилля запресування з'єднань під дією пневмоударника, яка визначалася за формулою:

$$s_2(t) = P_{обр}(t) / P_{исх}, \quad (2.14)$$

де  $P_{исх}$  - зусилля (тиск), необхідне для запресування елементів в парі без віброхвильової дії;

$P_{обр}(t)$  - зусилля (тиск), необхідне для запресування з'єднувальних елементів в парі після віброхвильової дії за час  $t$ .

Оптимальний час, що забезпечує ефективність обробки, досягається за умови  $s_i(t) \rightarrow \min, i \in \{1, 2\}$ , тобто зниження крутного моменту або зусилля розпресування, необхідного для роз'єднання з'єднання. Причому у формулах (2.13) і (2.14)  $s_i(0); i \in \{1, 2\}$  - є ступінь утруднення розбирання. За нормальних умов  $s_i(0) \leq 1; i \in \{1, 2\}$ . Інакше присутнє деяке порушення, пов'язане з утворенням зв'язків в процесі експлуатації або зберігання виробу.

					КРМ.133ГМмд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Шорсткість поверхні зразків і деталей, оцінка якої здійснювалася за переважним згідно ГОСТ 2789-85 параметру  $R_a$ , середнє арифметичне абсолютних значень відхилень профілю від середньої лінії в межах базової довжини, що визначається за формулою:

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx \text{ чи } R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|. \quad (2.15)$$

Ступінь зміни мікротвердості розраховувалася за залежністю:

$$H = \frac{H_\mu - H_{\mu_{сх}}}{H_{\mu_{сх}}}, \quad (2.16)$$

де  $H_{\mu_{сх}}$ ,  $H_\mu$  - середнє значення мікротвердості досліджуваної поверхні, визначене по 15-20 вимірам до і після обробки.

### Висновки до розділу

У роботі [21] виконано дослідження по розбиранню різьбових з'єднань за допомогою вібраційної дії на елементи з'єднань. Відмічений при цьому характер послаблення зусилля розбирання залежно від часу вантаження. Ці дослідження провели за допомогою навантаження елементів з'єднання віброхвильової дії на якийсь час більше хвилини ( $t_{обр} = 1 - 7$  хвилин), і запропонована установка несла істотні втрати енергії хвиль. Невідомо, що відбувається до часу менше хвилини, це обмежує це дослідження. Тому доцільно обґрунтувати сказане теоретичними і експериментальними дослідженнями в даній роботі.

					КРМ.133ГМд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1 Загальна характеристика об'єктів досліджень

При виборі матеріалів зразків керувалися міркуваннями можливості широкого застосування результатів досліджень в практиці ремонтного виробництва, а також при утилізації.

Для проведення експериментів по розбиранню різьбових з'єднань віброхвильовим методом застосовували натурні пари болт (чи гвинт) - гайки разом з шайбами (плоскою) різних діаметрів  $\varnothing 8, 10, 12, 16, 18, 20$ , які забезпечували б роботи з'єднувальних елементів, як на машині так і в зборі (див. таблицю. 3.1). Матеріали зразків - сталь 40, необроблена з метою прискорення процесу формування поверхневих зв'язків (у нашому випадку іржі) між парами, що труться, в з'єднанні, сприяючих ускладненню розбирання отриманих з'єднань. Застосовувалися пари з трапецеїдальною формою профілю різьби.

Після зборки перша група зразків була залишена на вологому повітрі, а друга - на вологому повітрі при періодичному змочуванні водою до утворення вторинних зв'язків між елементами в парах, що утрудняють умови розбирання. На рис. 3.1 приведені приклади експериментальних зразків різних поєднань.

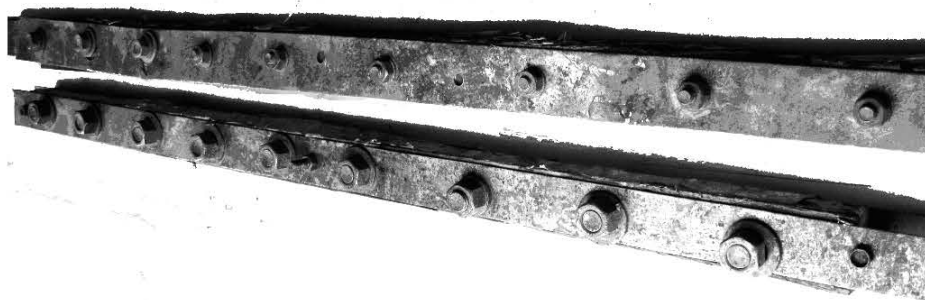


Рисунок 3.1 – Дослідні зразки різьбових з'єднань

Обробці віброхвильовим способом підлягають в основному ті вироби, які за технічним призначенням працюють в зборі кузова, рами або основи машин, а також окремі вузли, що містяться в них, або деталі (підшипники, вали, штифти,

					КРМ.133ГМд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

шпонки, втулки).

При дослідженні різьбових з'єднань були застосовані сталеві циліндричні штифти різних розмірів діаметром 4, 6, 8, 10, 12, виготовлені по ГОСТ 3128-70, і відповідних розмірних відхилень. Отвори були виготовлені із листового прокату, за конфігурацією подібно до зразків, вказаних на рис. 3.2, на вертикальному верстаті. На кожному зразку виконували попереднє свердління, зенкерування і розгортання з метою забезпечення необхідної точності виготовлення (H7, S7, JS7 і E7), сприяючи створити натяг, близького до розрахункового при зборці, приведеному в таблиці 3.2. На отриманих отворах зенкували верхню частину отворів з метою отримання фасок, що полегшують зборку. Матеріал і механічні властивості не завжди відповідали матеріалу і механічним властивостям циліндричного штифта.

Таблиця 3.1 – Механічні властивості і маркування використовуваних елементів кріплення

Зразок	Клас міцності / Маркування	Матеріал	Напруження від пробного навантаження, МПа	Межа текучості, МПа	Межа міцності на розтяг, МПа	Твердість за Брінелем, НВ ном./макс
Болт	4 / 6	Ст 10,	225	240	400	114 / 209
	5 / 8	20,	380	420	520	152 / 238
	6 / 8	20кп,	440	480	600	181 / 238
	8 / 8	Ст. 40	580- 600	640	800	242 / 318
Гайка	6	Ст 5, 15, 15кп, 35				

Як приклад натурних різьбових з'єднань застосовували в основному корпусні деталі машини (коробки швидкостей, коробки передач, двигуни, електродвигуни і ін.) і окремі їх складові (підшипники, вали, шпонки, втулки).

					КРМ.133ГМд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2 – Розмірні характеристики експериментальних зразків для дослідження розбирання різьбових з'єднань

Номинальні розміри	D=d, мм	4	6	8	10	12
Відхилення валу: (u8)	es, мкм	41	41	50	50	60
	ei, мкм	23	23	28	28	33
Відхилення отвору (H7)	ES, мкм	12	15	15	18	18
	EI, мкм	0	0	0	0	0
Відхилення отвору (S7)	ES, мкм	-19	-23	-23	-28	-28
	EI, мкм	-31	-38	-38	-46	-46
Посадка H7/u8	$S_{max} = es - EI$ , мкм	41	41	50	50	60
	$S_{min} = ei - ES$ , мкм	11	8	13	10	15
	$S_{moy}$ , мкм	26	24,5	31,5	30	37,5
Посадка S7/u8	$S_{max} = es - EI$ , мкм	72	79	88	96	106
	$S_{min} = ei - ES$ , мкм	42	46	51	56	61
	$S_{moy}$ , мкм	57	62,5	69,5	76	83,5

Умови механічної обробки для кожної групи зразків були вибрані однаковими. Після механічної обробки перевірялися їх геометричні параметри, шорсткість, дефекти поверхневого шару (тріщини, подряпини та ін.), механічні властивості (твердість, мікротвердість) і зрештою вимірювали шукані значення.

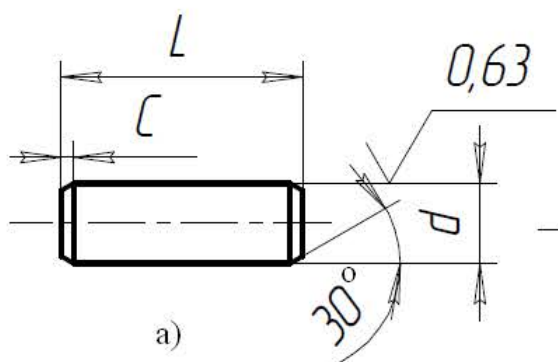


Рисунок 3.2 – Ескіз зразків, що використовувалися для дослідження процесу розбирання різьбових з'єднань: а) штифт циліндричний довжиною  $L = 20..25$  мм; матеріал сталь 40; б) сталевий лист з точним отвором

Напрям нерівностей профілю поверхні деталей і зразків контролювали приведеними приладами відповідно до ГОСТ 2789-73.

### 3.2 Методи аналізу і класифікація об'єктів досліджень

Способи з'єднання деталей, що застосовуються, різноманітні. До роз'ємних з'єднань відносять з'єднання різьбові, клинові, штифтові, шпонки, шліцьові та ін. Такі з'єднання допускають багатократну зборку і розбирання без порушення форми і розмірів деталей, їх складових. Кожному виду з'єднання відповідає стандарт ЕСКД, який встановлює особливості, спрощення і умовності при його зображенні.

Різьбові з'єднання мають такі переваги: універсальність, висока надійність, здатність сприймати великі навантаження, порівняно малі розміри і малу масу конструктивного елемента, простота виготовлення. У промисловості вони застосовуються для отримання рухливих з'єднань, коли можливі взаємні переміщення деталей (гвинти домкратів, пресів, верстатів) і нерухомих з'єднань (за допомогою кріпильних виробів, фітингу). Різьбові з'єднання поділяються на два типи:

- 1) з'єднання, здійснювані безпосереднім загвинченням деталей, що мають різьбу;
- 2) з'єднання, здійснювані за допомогою спеціальних кріпильних виробів (болт, шпилька, гайка, гвинт, шайба та ін.).

Основним елементом усіх різьбових з'єднань є різьба, яка визначає їх класифікацію. Різьба класифікується за декількома ознаками (рис. 3.3).

Усі види виробів, вузлів і деталей машинобудівного виробництва в ході їх ремонту і утилізації піддаються частковій обробці або комбінованій.

У Класифікаторові ЕСКД класифікація виробів і їх складових частин здійснюється по однорідних видах продукції (видам техніки) незалежно від їх відомчої приналежності. Класифікація деталей здійснена за ознаками: геометрична форма, функціональне, конструктивне, службове призначення,

					КРМ.133ГМмд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



сталей, що містять менше 2% вуглецю, а також чавунний лом і відходи чавуну (більше 2% С). Крім того, існують позакласові відходи з невизначеним вмістом вуглецю.

Усередині цих класів відходи залежно від наявності легуючих елементів підрозділяються на вуглецеві і леговані. За вмістом легуючих елементів відходи діляться на 67 груп.

Класифікація відходів кольорових металів здійснюється за фізичними властивостями, хімічними властивостями і якістю (ГОСТ 1639 - 78). Їх ділять на класи, групи і сорти. Клас об'єднує відходи за фізичними ознаками (всього 15 класів), а група - за хімічними ознаками. Число груп різне для різних видів металів; кожна перша група представляє технічно чистий метал, кожна остання - низькоякісні відходи.

Групи підрозділяються на сорти, що характеризують вміст металу, габарити, засміченість, ступінь оброблення.

### 3.3 Методи і засоби оцінки і вимірів результатів досліджень

Залежно від типу проведених експерименту застосовували різні методи і засоби контролю.

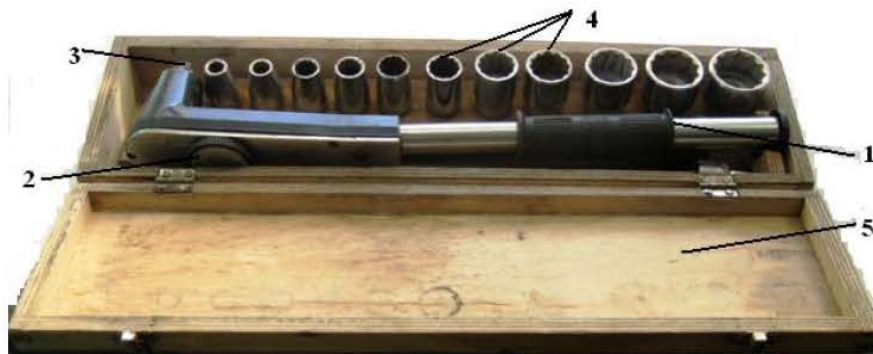
Досвід дослідження впливу віброхвильової дії на послаблення і розбирання різьбових з'єднань в ході ремонту і утилізації виробу був можливий завдяки проведеним вимірюванням. Як показник роз'єму з'єднання був прийнятий крутний момент  $M_{кр}$ , контрольований за допомогою пристосування, яке представлено на рисунку 3.4. Чисельні значення крутного моменту, встановлювали при зборці, проводили захід, пов'язаний з виникненням зв'язків між елементами пар в з'єднанні, обробляли вібро хвильовим методом при необхідності і вимірювали знову значення моменту при розбиранні на динамометрі 2 механічного динамометричного ключа 1 при ручному маневруванні. Зв'язок між останнім і елементами з'єднання (гайкою, болтом) здійснювалася через одну із відповідних насадок 4, яка одягалася на наконечник 3

					КРМ.133ГМмд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ключа, а також на досліджуваній об'єкт.

Для дослідження розбирання різьбових з'єднань як показник розбирання і зборки застосовували осьове зусилля  $P_{oc}$ , вимірюване за допомогою ручного гідравлічного пресу, показаного на рисунку 3.5.

Контроль прихованих дефектів поверхні здійснювався після багатократного збільшення досліджуваних ділянок поверхонь охоплюваного елемента пари (гвинтів, болтів, штифтів) до зборки, після звичайного розбирання, а також після розбирання з наступною обробкою. Для цього застосовували бінокулярний мікроскоп моделі МБС-2 (рис. 3.7) із збільшенням до 50 разів. Отримане зображення знімали за допомогою цифрового оптичного фотоапарата моделі "Canon Power Shot A3000" з чотирикратним збільшенням зображення.



1 - динамометричний ключ; 2 - динамометр; 3 - наконечник; 4 - насадки;  
5 - дерев'яний ящик

Рисунок 3.4 – Комплект механічного динамометричного ключа з насадками



Рисунок 3.5 – Ручний гідравлічний прес

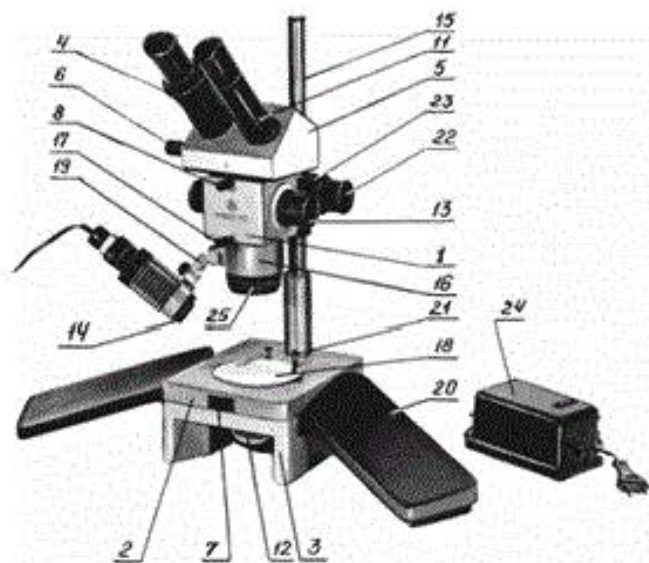


Рисунок 3.6 – Твердомір марки  
ТР

					КРМ.133ГМмд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Профілографом моделі 201 заводу "Калібр" вимірювали шорсткість зібраного, обробленого і розібраного зразка штифта; профілометром 296 контролювали параметр профілю  $R_a$ .

Твердість оброблюваної поверхні деталі вимірювали приладом марки ТР 5006-02 (рис. 3.6). Мікротвердість визначали приладом ПМТ-3.



- 1 - корпус з барабаном,
- 2 - столик для роботи у відбитому світлі;
- 3 - столик для роботи у світлі, що проходить; 4 - кільце діоптрійного наведення,
- 5 - бінокулярна насадка,
- 6 - руків'я механізму зміни

Рисунок 3.7 – Загальний вигляд бінокулярного мікроскопа моделі МБС-2

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРМ.133ГМ<sub>мд</sub>\_24.12.000 ПЗ

Арк.

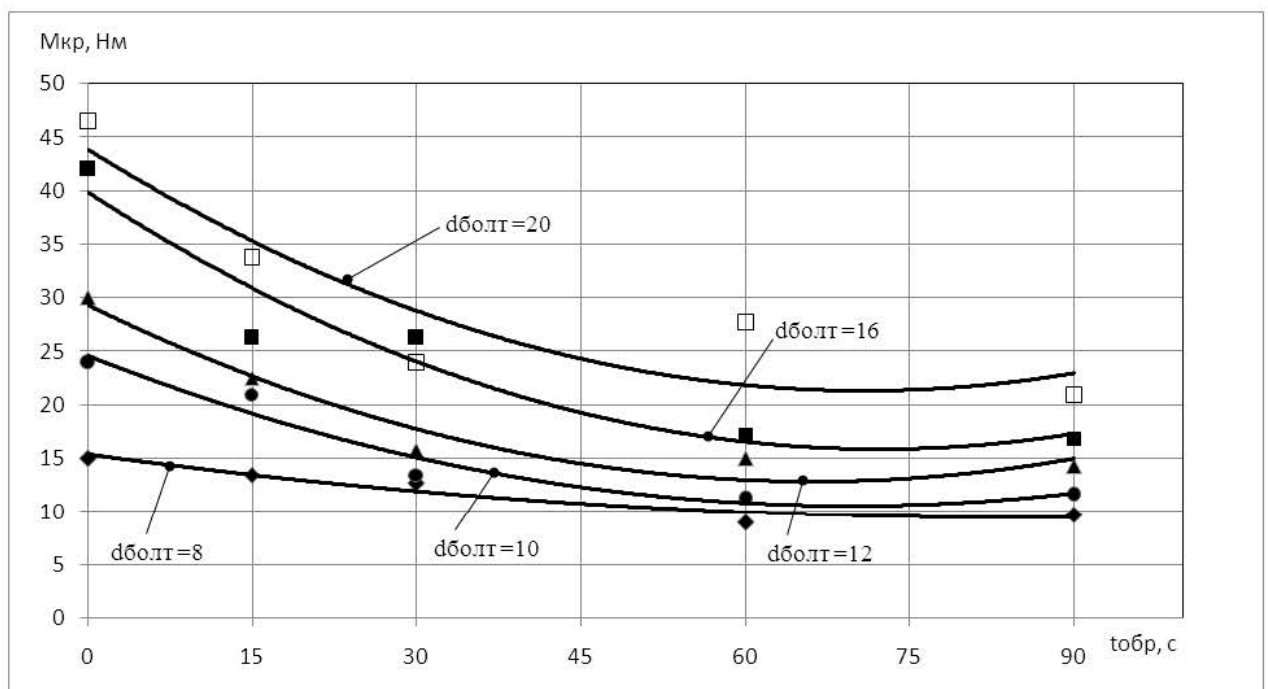
## 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 4.1 Експериментальні дослідження впливу віброхвильової дії на розбирання різьбових з'єднань при різних схемах навантаження

Для підтвердження вищевикладеного виконаний ряд експериментів за де приведені результати застосування найбільш поширеного в технології спектру коливань з частотою 15 - 50 Гц.

Ефективність віброхвильової дії на процес розбирання з'єднань оцінювалася за моментом затягування  $M_3$  і моменту, відповідному початку розгвинчування  $M_{отв}$ , що визначалося залежно від схеми, напряму і часу навантаження віброхвильового впливу.

На рис. 4.1 представлена залежність між крутним моментом розбирання і тривалістю обробки різних діаметрів пари болт-гайка в з'єднанні за допомогою навантаження з використанням хвилеводу при постійному початковому моменті відгвинчування 15 Н·м.



вібраційна дія здійснюється на грані гайки (а)

вібраційна дія здійснюється на вісь болта (б)

Рисунок 4.1 – Графічна залежність  $M_{кр}$  при розбиранні різьбового з'єднання від тривалості віброхвильового впливу для різних параметрів пари болт-гайка (а-б)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРМ.133ГМд\_24.12.000 ПЗ

Арк.

Проаналізувавши отримані результати (рис. 4.1), можна відмітити наступне: збільшення тривалості віброхвилевої дії супроводжується послабленням затягування різьбового з'єднання і зниженням  $M_{кр}$  для його роз'єму. При цьому вплив віброхвилевої дії на зниження  $M_{кр}$  проявляється інтенсивніше спочатку, після чого продовження такої дії викликає відносно невеликі зміни  $M_{кр}$  розбирання з'єднання.

Отримані результати показують, що у міру зростання діаметру кріпильних елементів зростають моменти затягування необхідні для роз'єднання з'єднання. Тривалість зовнішніх дій довкілля помітно змінює момент для роз'єднання з'єднання. Крім того, вібро хвилеве навантаження елементів з'єднань зменшує крутні моменти затягування до якогось мінімального значення, при якому тривалість процесу оптимальна. Подальша обробка приносить лише відносно незначну зміну  $M_{кр}$ . Збільшення діаметру з'єднання при постійному початковому моменті супроводжується збільшенням площі контактуючої частини деталей, що викликає зростання моменту, необхідного для роз'єднання з'єднання як до обробки, так і після обробки. Найкращий ефект забезпечується застосуванням віброхвилевої дії перпендикулярно до осі гайки.

При порівнянні оброблених зразків (див. рис. 4.2), витриманих за одних і тих же умов, але при різних інтервалах часу витримки, подібний до описаного ефект забезпечується після віброхвилевого навантаження з'єднань, але ступінь з'єднання між елементами зростає при збільшенні часу витримки.

					КРМ.133ГМд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

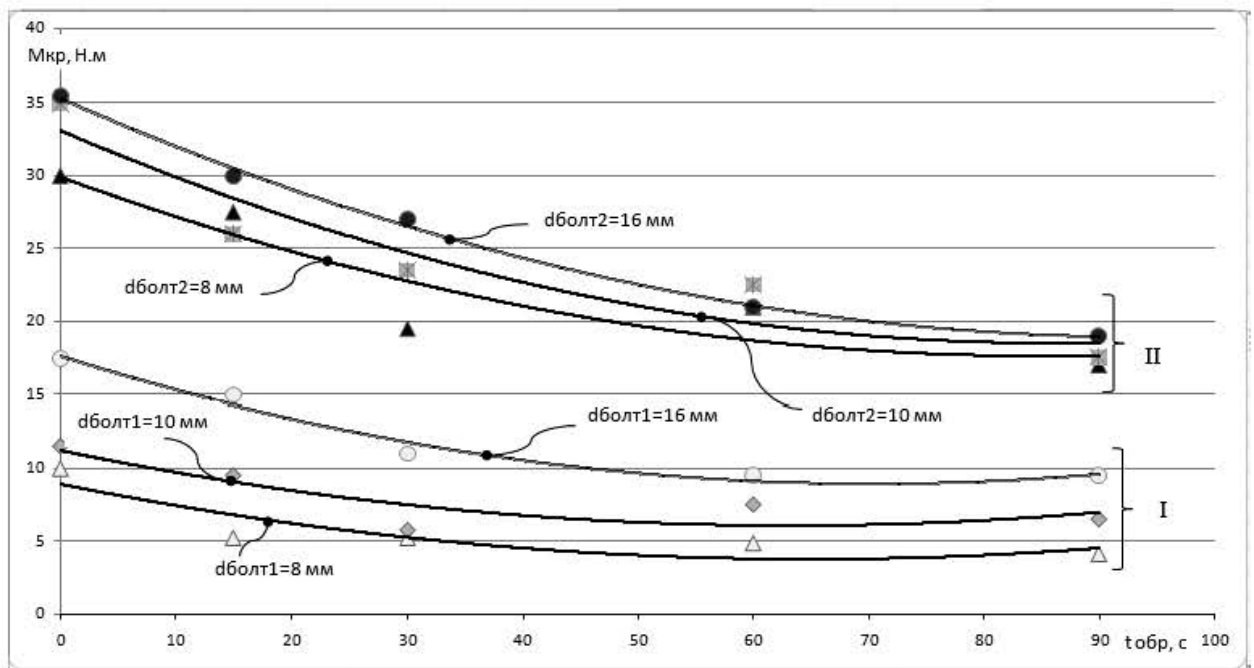


Рисунок 4.2 – Графік зміни  $M_{кр}$  при розбиранні різьбового з'єднання від тривалості віброхвильової дії для різних параметрів пари болт-гайка при початковому крутному моменті  $M_3 = 15 \text{ Н} \cdot \text{м}$  залежно від часу витримки з'єднання на вологому повітрі: I - витримка один тиждень; II - витримка один місяць

Важливо відмітити, що віброхвильове навантаження сприяє швидкому зменшенню необхідного крутного моменту в парах з'єднань, де утворені зв'язки виявляються більше.

Представлені результати досліджень на рис. 4.3, в яких розгвинчування важких утворених різьбових з'єднань за рахунок корозії, схоплювання контактуючих поверхонь, скупчення продуктів зношування та ін. відбувалося з віброхвильовими діями, а затягування - без накладення коливань.

Дослідженнями встановлено, що напрям вступу в зону сполучення деталей віброхвильової дії і початковий момент затягування роблять визначальний вплив на розбирання різьбового з'єднання.

На рис. 4.3 представлений взаємозв'язок  $M_{кр}$  початкового (затягування з'єднання  $M_3$ ) і  $M_{кр}$  розбирання при постійному оптимальному часі обробки ( $t_{обр} = 60 \text{ с}$ ). Аналіз залежностей (рис. 4.3, а) дозволяє зробити висновок про вплив схеми віброхвильової дії на зміну  $M_{кр}$  ( $M_{отв}$ ) при розбиранні. У обох випадках збільшення

початкового крутного моменту, супроводжується зростанням крутного моменту необхідного для роз'єднання з'єднання після віброхвильового навантаження, але на багато менше розрахункового крутного моменту. Зокрема, при бічному навантаженні з'єднання (по грані гайки) відмічено деяке зниження  $M_{кр}$  в порівнянні з навантаженому по осі болта. Це свідчить про те, що при збільшенні діаметру різьби відбувається зростання  $M_{кр}$ , потрібного для розбирання різьбового з'єднання. Момент роз'єму пропорційно залежить від величини моменту затягування і, отже, її похідної - зусилля затягування, що є однією з основних характеристик надійності різьбового з'єднання. Момент роз'єму також залежить від діаметрів пар в з'єднанні і від стану з'єднання під час розбирання.

Так, болт М20х1, 5 непокритий був затягнутий з моментом 40 Н·м і після утворення умови утруднення розбирання за допомогою іржі, момент, необхідний для розгвинчування, складав 29 Н·м, 35 Н·м і 55 Н·м відповідно, коли розбирання з'єднання здійснювалося із застосуванням віброхвильового навантаження по грані гайки, по осі болта і без накладення віброхвильової дії. Подібний ефект спостерігається з іншими парами з'єднань із різними діаметрами.

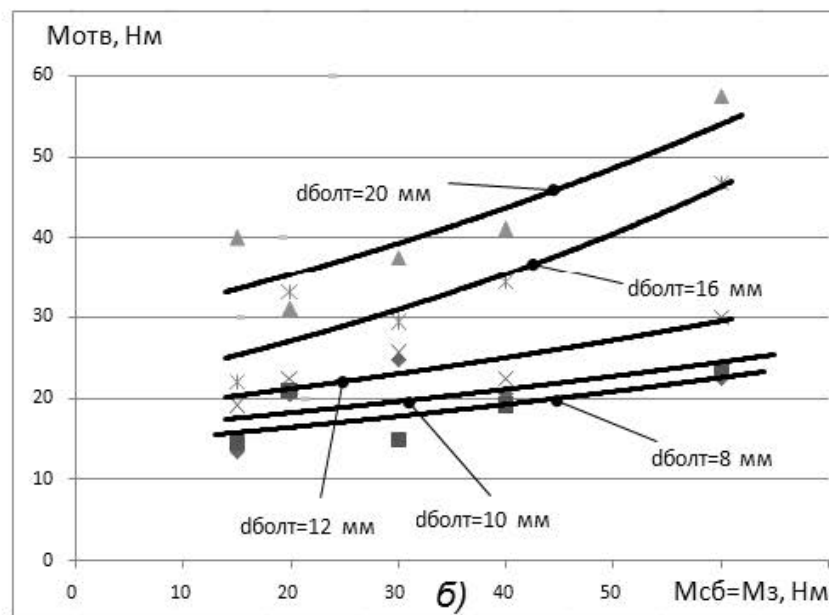


Рисунок 4.3 – Графіки залежності величини  $M_{отв}$  при роз'ємі різьбового з'єднання від моменту затягування  $M_{з}$ , діаметру елементів, що сполучаються, і схеми навантаження (час обробки – 60 с) : а) вібраційна дія по грані гайки; б) вібраційна дія по осі болта

Мікроскопічне дослідження поверхні розібраних з'єднань без віброхвильового навантаження (рис 4.5, б) показує деяку відмінність відносно поверхні розібраних з'єднань з накладенням віброхвильової дії (рис 4.5, в) і, більше того, обоє вони відрізняються від початкової поверхні. Причому в першому випадку присутні помітніші сліди поверхневої взаємодії, а також відносно великі розміри мікростружки в западині нерівностей поверхні деталей. Це пояснюється зростанням крутного моменту розбирання і виникаючими додатковими зусиллями між поверхнями деталей для видалення відносно великої за розміром стружки.

а)



б)



в)

а) початкова поверхня; б) при звичайному розбиранні; в) із застосуванням віброхвильового навантаження

Рисунок 4.4 – Вигляд профілю поверхні розібраних різьбових з'єднань

При накладенні віброхвильової дії, за рахунок зміни діаметрального розміру в кожному півперіоді, як стверджує формула (2.4), відбувається швидкий розпад дрібних стружок в западині деталей, що сполучаються, і одночасно зменшуються контактні взаємодії поверхонь деталей за рахунок зниження сил тертя і руйнування місцевих з'єднань, що утворилися, у разі їх присутності у зв'язку з умовою експлуатації виробу. Те що дозволяє заповнення западин профілів

					КРМ.133ГМмд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мікростружками, зміцнює поверхні різьблення, знижує тертя і забезпечує зручне розбирання.

#### 4.2 Вплив віброхвильової обробки на розбирання різьбових з'єднань

Характерна відмінність розбирання різьбових з'єднань з гарантованим натягом полягає в необхідності застосування великих зусиль для розпресування. Вказані дії не завжди супроводжуються їх роз'єднанням без зниження необхідного навантаження, а в деяких випадках погіршують стан якості поверхонь, що сполучаються. Віброхвильове навантаження на з'єднання істотно послабляє необхідне зусилля для його розбирання.

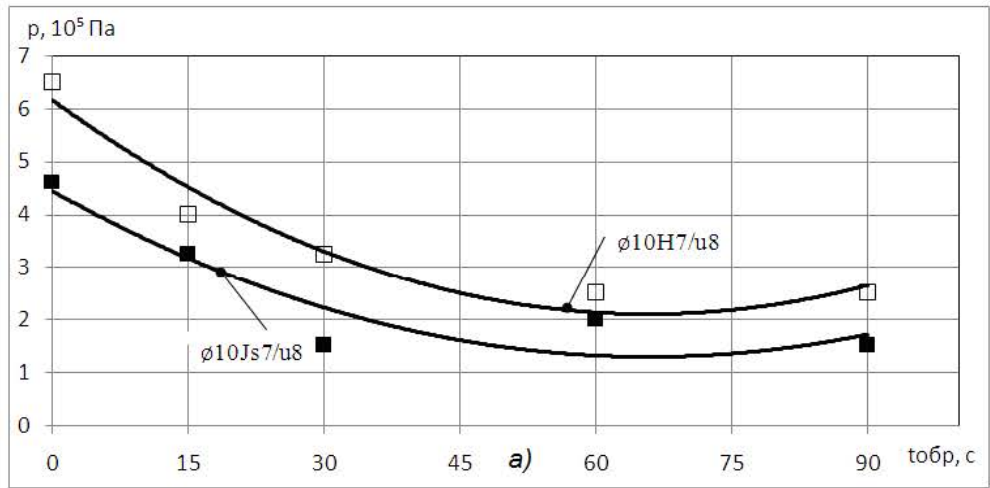
З отриманого графіка рис. 4.5, витікає, що зусилля розпресування знижується із збільшенням тривалості віброхвильової дії до деякого мінімального значення досягається в інтервалі  $t_{обр} = 60...75$  хв. Продовження навантаження лише трохи змінює зусилля, необхідне для розбирання з'єднання. Найбільш ефективна схема віброхвильового навантаження перпендикулярно осі штифта. Це пояснюється дією безлічі мікроударів, поступовим зниженням натягу внаслідок деформації і руйнування вершин мікронерівностей і можливістю розподілу що утворилися найдрібніших часток в западинах мікропрофілю поверхні, що сприяє зниженню коефіцієнта тертя і шорсткості поверхні деталей, що сполучаються, а також збільшенню їх мікротвердості і збільшенню при цьому фактичної площі контакту.

Мікрорельєф контактуючих поверхонь при вібро хвильовому розбиранні залежить від схеми навантаження і характеризується рядом особливостей в порівнянні із розбиранням в звичайних умовах.

Крім того, при однаковому натягу із збільшенням діаметру пар в з'єднанні збільшується зусилля розпресування, прикладене без або після обробки.

					КРМ.133ГМмд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		





а) вібраційна дія наноситься паралельно осі штифта;

б) вібраційна дія наноситься перпендикулярно осі штифта

Рисунок 4.6 – Графік впливу зусиль  $P$ , необхідних для розбирання різьбових з'єднань, від посадки і тривалості вібровпливу

Таким чином, проведені дослідження показують, що в прийнятому діапазоні натягу і параметрів коливань розбирання із застосуванням віброхвилевої дії супроводжується збільшенням фактичної площі контакту поверхонь сполучення, що у поєднанні з більшою мірою деформаційного зміцнення призводить до зростання контактної жорсткості з'єднання. Внаслідок цього сили тертя за період коливань діятимуть тільки в обмеженому інтервалі, що сприяє зниженню питомих тисків в з'єднанні і призводить до зменшення сил розпресування.

### 4.3 Висновки до розділу

Основним чинником, що ускладнює розбирання різьбових з'єднань, як правило, являються сили тертя в зазорі, що помітно зростають в ході експлуатації вузлів із-за корозії, забруднень, заїдання, полімеризації мастил, задирів. Вдосконалення технології розбирання можна здійснювати за допомогою віброхвилевого навантаження для зниження зусиль роз'єднання, зменшення

					КРМ.133ГМмд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дефектів поверхні деталей, що сполучаються, їх поломки, ушкодження та ін.

Приведені ефективні і експериментально апробовані схеми віброхвильово впливу з використанням хвилеводу на різьбові нерухомі з'єднання, що забезпечують зниження крутного моменту  $M_{кр}$ , і зусилля розпресування  $P$  і розбирання складальних одиниць і вузлів, що полегшують процес.

При розбиранні різьбових з'єднань найбільш ефективною схемою являється навантаження по грані гайки, яка дозволяє понизити крутний момент  $M_{кр}$ , на 80 - 65 % при початковому  $M_{кр\text{ вих}} = 15 \text{ Н}\cdot\text{м}$ . Схема навантаження по осі болта дозволяє понизити значення крутного моменту  $M_{кр}$  на 70 - 60 % при початковому  $M_{кр\text{ вих}} = 15 \text{ Н}\cdot\text{м}$ . Її застосування є доцільним за умови руйнування зв'язків, що утворюються, у вигляді забруднення, збільшення потужності енергії, що передається. Цей підхід дозволяє істотно понизити трудомісткість, а також скоротити час виконання окремих розбірних операцій в процесі ремонту і утилізації виробів або деталей машинобудування.

					КРМ.133ГМд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 5.1 Екологічна експертиза

В даний час утилізацію будь-яких об'єктів виробництва правомірно розглядати в контексті із загальними проблемами життєзабезпечення, а саме, з екологічною і енергетичною кризою, що насувається. В зв'язку з цим вкрай бажано, щоб окрім скорочення негативного енергетичного балансу технологія була б не тільки енергетично вигідною, але і максимально екологічно безпечною [26].

Враховуючи міжнародний досвід, можна зробити наступний висновок: система утилізації об'єктів виробництва відноситься до забезпечення екологічної безпеки продукції і процесів, тому її діяльність не повинна ґрунтуватися тільки на ринкових взаєминах або добровільній стандартизації, а має бути предметом обов'язкового законодавчого регулювання.

За прикладом низки розвинених країн, щоб розв'язати проблему кинутих машин і у тому числі автомобілів (оскільки вони найбільш поширені) і стимулювати торгівлю новими, необхідно:

1. Ввести пільгові умови кредиту. Це дозволить збільшити відповідальність власників за кинутий старий об'єкт і забезпечити його утилізацію. Плановані нові державні програми заходів повинні розглядати збільшення податкових тарифів для машин різних категорій нижче за 3-й екологічний клас або віком більше 10 років.

2. Плата за утилізацію об'єкту, що відслужив, і у тому числі автомобіля повинна відбуватися ще у момент продажу або першої реєстрації нового. Статистика показує, що саме такий підхід виявився найбільш ефективним в промислово розвинених країнах. Серед зарубіжного досвіду і встановлених систем і принципів формування рециклінга представляється найбільш успішною і раціональною голландська модель, яка багато в чому була повторена і в Японії.

3. Третій вивід, полягає в тому, що на момент ухвалення національних

					КРМ.133ГМд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

законів по утилізації (Директиви 2000/53/ЄС) в країнах Західної Європи, США, Канади, Японії вже була розгорнута мережа центрів прийому і підприємств по утилізації машин, що відслужили, автомобілів і авто компонентів. Наприклад, у Франції були близько 3 тисяч центрів по збору і демонтажу старих автомобілів і 40 шредерних заводів по подрібненню і сепарації. У Німеччині - близько 5 тисяч підприємств по збору і демонтажу автомобілів, що відслужили, і 47 шредерних заводів. Найбільші проблеми викликає саме найперший крок на шляху утилізації автомобілів, що відслужили, - процес передачі автомобіля в центри, збір, транспортування, оформлення необхідних паперів. Хоча учасники в ланцюжку рециклінгу можуть мати певну економічну вигоду, наприклад, ті, хто займається продажем уживаних запчастин і компонентів, демонтованих з тих, що відслужили об'єктів, переробники деяких матеріалів [26].

4. При формуванні системи утилізації мають бути чітко позначені права, обов'язки і відповідальність усіх учасників такої інфраструктури. Наприклад, на заході підприємства по збору і обробці автомобілів, що відслужили, повинні мати спеціальну ліцензію і забезпечувати виконання певних технічних вимог, у тому числі повинні мати [27]:

- певні зони з вологонепроникними поверхнями і устаткуванням для збору рідин, відстійниками і очисниками;
- устаткування для обробки і очищення води, включаючи дощову воду, відповідно до санітарних норм і норм по захисту довкілля;
- відповідні контейнери для зберігання масляних фільтрів і акумуляторних батарей (з нейтралізацією електроліту на місці або на іншій ділянці);
- відповідні місткості для роздільного зберігання рідин, злитих з тих, що відслужили свій термін машин: паливо, моторне мастило, трансмісійне масло, масло для гідравлічних систем, рідини, що охолоджують, гальмівні рідини, акумуляторні кислоти, рідини систем кондиціонування повітря, будь-які інші рідини, що містяться в об'єктах

					КРМ.133ГМмд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



нині включає також розбирання різьбових і різьбових з'єднань.

Вібровхвильова дія супроводжується зменшенням навантажень на технологічне устаткування і зниженням енерговитрат без погіршення несучої здатності з'єднання [8, 28].

Проведені дослідження затверджують можливість вібровхвильового розбирання як чинника забезпечення якості поверхневого шару і експлуатаційних показників з'єднань. Існуючі методи математичного моделювання процесу частенько базуються на використанні великого числа емпіричних даних, що сприяє їх використанню на практиці, особливо при ремонті або в ході утилізації виробу, де заздалегідь невідомо, в якому стані поступає виріб.

Основні передумови до розробки вібровхвильових технологій розбирання вузлів можна звести до наступних положень:

- під дією вібровхвильової дії при розбиранні різьбових і різьбових з'єднань помітно інтенсифікується багатократне поверхнєве стискання і розтягування, створюючи зазори між тертьовими парами і умови пластичної деформації, що може сприяти зниженню опору тертю і шорсткості поверхні і підвищенню мікротвердості;
- можливість значного поліпшення стану поверхневого шару без його ушкодження при розбиранні накладенням вібровхвильових коливань на елементи з'єднання;
- мінімізація зусилля, необхідного для роз'єднання з'єднання, і тим самим послаблення перетворюючих зв'язків, а також видалення деяких видів забруднень при вібро хвильовій дії;
- мінімізація між операційних втрат часу за допомогою поєднання з вібровхвильовим очищенням деталей, ефективність якого не викликає сумнівів.

Усі ці міркування дозволяють рахувати вібро хвильову технологію розбирання з'єднань науково-технічним напрямом, надзвичайно перспективним для використання в ремонтному виробництві або в процесі утилізації виробів машинобудування.

					КРМ.133ГМмд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проведений аналіз процесів, що протікають при віброхвильовому розбиранні, показав, що принципово розбирання з'єднань співвісних деталей може бути виконане як при дії уздовж осі, так і перпендикулярно їй. Обидва способи віброхвильового розбирання, що приймаються, дозволяють ефективно розділяти деталі з'єднання, без погіршення стану поверхні.

Істотний вплив на працездатність промислового устаткування в процесі експлуатації робить якісне виконання мийно-очисних і розбірних операцій при ремонті або в ході його утилізації. Розглянемо можливість віброхвильової обробки труби, знятого з газового устаткування нагрівача.

Вібраційна мийно-очисна операція обробки труби здійснена на верстаті моделі УВГ 40. Як мийний засіб застосовувався лужний розчин. Обробка проводилася при кімнатній температурі в середовищі битих абразивних кругів і абразивних гран ул ПТ 15x15 відповідно. Режими обробки наступні: амплітуда коливань верстата  $A=2,5$  мм; частота коливання  $f=30$  Гц;  $t_{\max} = 60$  хв. Контрольовані параметри склали ступінь очищення і час проведення обробки. Результати досліджень представлені в таблиці 5.1, а на рисунку 5.2 показаний вид деталей після кожної наступної операції.

Таблиця 5.1 – Результат обробки при очищенні зовнішньої поверхні труби від фарби

Труба з різьбленням $\varnothing 20$ мм; $L=160$ мм					
Т, хв	0	10	20	30	60
Ступінь очищення, %	0	10	25	70	100

Такі результати повною мірою задовольняють вимоги ремонтних підприємств.

Для проведення подальших досліджень застосувували віброхвильовий вплив. Основна мета полягала в розбиранні різьбових з'єднань. Контрольованим параметром був момент розбирання після очищення. наступні результати (таблиця 4.2).

Таблиця 5.2 – Результати реалізації віброхвильового розбирання труби Ø 20 мм; L= 160 мм газового нагрівача

Час дії, с		0	5	15	30	45	60	75	90	120
Крутний момент розбирання з'єднання, Н·м	Втулка з внутрішнією різьбою	55	46	32	28	26	23	19	15	9
	Гайка	62	51	43	38	31	24	20	16	11



а) вихідна деталь



б) деталь після очищення

Рисунок 5.2 - Реалізації вібраційної і віброхвильової обробки на трубі газового нагрівача з різьбою

Як видно з рис. 5.2, а, заздалегідь неможливо визначити, що з'єднання складається з трьох деталей, коли не існує карти з вказаною схемою розбирання. Очищення дозволяє виявити, які заздалегідь зв'язки мають місце в сполучених деталях, що сприяє підготовці наступних операцій ТП (розбирання, дефектація). Розбирання об'єкту на деталі з накладенням віброхвильового навантаження носить позитивний характер за рахунок

					КРМ.133ГМмд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



ударних імпульсів. Для цих цілей використовується гнучкий хвилевід, що забезпечує підведення його контактної частини до розмірних елементів з'єднання. Як гнучкий хвилевід можуть бути використані відомі конструкції: механічні у вигляді гнучкої спіралі, кулькові і роликові (останні поміщені в броньований гнучкий трубопровід), гідравлічний хвилевід. Дана схема забезпечує ізоляцію робочого місця від шуму і вібрацій джерела ударних імпульсів. В порядку пошукового експерименту вироблена практична апробація ефективності конструкції гнучких механічних хвилеводів (спірального), що підтвердили можливість дистанційної віброхвильової дії.

### 5.3 Техніко-економічне обґрунтування досліджень

Оцінку ефективності варіантів технологічного розбірного процесу, що розробляється, проводять на усіх етапах його проектування.

План розбирання у вигляді наочної схеми зручно мати за кожним типом машини. Розбирати виріб можна за методами послідовного і комбінованого ходу операції. При послідовному методі спочатку розбирається один вузол, потім інший, третій і т. д. Час  $T_{ц}$ , витрачений на увесь цикл розбирання, в цьому випадку визначається виразом [29]:

$$T_{ц} = \sum_{i=1}^n t_i, \quad (5.1)$$

де  $t_i$  - час, що витрачається на  $i$ -ту розбірну операцію, хв.

Одночасне розбирання декількох вузлів з урахуванням конструктивних особливостей машини ведуть при комбінованому методі. Тривалість розбирання машини в цьому випадку буде менше. Час  $T_{ц}$ , хв, витрачений на увесь цикл розбирання, визначається формулою:

$$T_{ц} = k \sum_{i=1}^{n-n_1} t_i, \quad (5.2)$$

де  $k$  - коефіцієнт, що враховує одночасність виконання операції по

					КРМ.133ГМмд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розбиранню,  $k < 1$ .

Технологічний процес автоматизованого розбирання виробу при виборі розроблених варіантів оцінюють за абсолютними показниками: трудомісткості  $T_{сб.и}$  і собівартості  $C_{сб.и}$  виконання окремих розбірних операцій і усього процесу в цілому. Трудомісткість потокового розбирання виробу визначається як

На тривалість виконання розбірних робіт впливає конструктивна складність деталей, що сполучаються, розбірних одиниць, вузлів і агрегатів, їх вага і взаємне розташування, спосіб з'єднання і освічені зв'язки в ході роботи. Типові норми носять характер норм штучного часу і розраховуються за формулою:

$$T = T_{он} \cdot [1 + 0,01 \cdot (\alpha_{ом} + \alpha_{отл} + \alpha_{пз})], \quad (5.3)$$

де  $T$  - норма часу на операцію, год;

$T_{он}$  - оперативний час на розбірну операцію, год;

$\alpha_{ом}, \alpha_{отл}, \alpha_{пз}$  - час на обслуговування робочого місця, на відпочинок і особисті потреби і на підготовчо-завершальну роботу, у відсотках від оперативного часу.

У тих випадках, коли дані варіанти розрізняються тільки величинами складових витрат (одноразових і поточних), як економічний критерій вибору оптимального рішення використовують їх сумарний мінімум:

$$\min(Z_2^j), \quad (5.4)$$

де  $Z_2$  - сумарні витрати:

$$Z_2 = Z_1 + Z_2 = C \cdot N + (K_p + E_n) \cdot K, \quad (5.5)$$

де  $Z_1$  - поточні витрати;

$Z_2$  - капітальні витрати;

$C$  - собівартість розбирання виробу, ум. од.;

$N$  - задана річна програма випуску, шт;

$K_p$  - коефіцієнт реновації;

					КРМ.133ГМмд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$E_n$  - банківський кредит в долях;

$K$  - величина капітальних витрат на реалізацію цього варіанту процесу,  
ум. од.

На тривалість виконання розбірних робіт впливає конструктивна складність деталей, що сполучаються, розбірних одиниць, вузлів і агрегатів, їх вага і взаємне розташування, спосіб з'єднання і освічені зв'язки в ході роботи.

При встановленні технічно обґрунтованих норм на розбірні роботи необхідно враховувати наступні особливості: допоміжний і основний час, що витрачається на виконання ручної однотипної роботи, визначається на базі хронометражних спостережень; зміст і послідовність трудових прийомів і рухів при виконанні однієї і тієї ж операції можуть бути різноманітні; ручні роботи виконуються в певних організаційно-технічних умовах. До введення типових норм часу необхідно привести організаційно-технічні умови на відповідних ділянках (цехах) підприємства у відповідність з умовами, передбаченими типовими нормами.

Значення  $T_{on}$  приведені у відповідних типових нормах часу на ремонт автомобіля і його агрегатів. Для вирішення даного завдання застосовуємо методику знаходження економічної ефективності [30] за формулою:

$$\mathcal{E}_{нт} = (Z_{баз} - Z_{нт})N_{нт}, \quad (5.6)$$

де  $\mathcal{E}_{нт}$  – річний економічний ефект від застосування нового методу;

$Z_{баз}$  – приведені витрати на розбирання за допомогою базового варіанту;

$Z_{нт}$  – приведені витрати на розбирання за допомогою нового методу;

$N_{нт}$  – річна продуктивність при двозмінній роботі.

Відомо, що приведені витрати  $Z$  визначаються за формулою:

$$Z = C + e_n K, \quad (5.7)$$

де  $C$  – собівартість розбирання  $1\text{м}^2$  сталевій поверхні;

$e_n = 0,15$  – нормативний коефіцієнт ефективності;

$K$  – капітальні вкладення на розбирання.

					КРМ.133ГМд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За даними Полтавського автоагрегатного заводу собівартість зміцнення сталеві поверхні по базовому варіанту і при дробеструменевому зміцненні приблизно рівні між собою і рівні

$$C_{баз} = C_{нт} = C = 102 \text{ грн./м}^2.$$

Модуль при годинній продуктивності  $a_{нт}=9\text{м}^2/\text{год}$  дозволяє зміцнити за рік при двозмінній роботі і річному фонді робочого часу  $T=4006$  годин [10] площу

$$N_{нт} = a_{нт}T = 6 \cdot 4006 = 24036 \text{ м}^2/\text{год}. \quad (5.8)$$

Зміцнення за допомогою механізованого інструменту при  $a_{баз}=6\text{м}^2/\text{год}$  за тих же умов дозволяє досягти річного об'єму

$$N_{баз} = a_{баз}T = 3 \cdot 4006 = 12018 \text{ м}^2/\text{год}. \quad (5.9)$$

Капітальні вкладення для базового варіанту складають  $K_{о.баз}=200000$ грн, а для модуля, де встановлений більш потужний повітряний компресор і апарат нагнітальної дії ємкістю 200л, будуть  $K_{о.нт}=240000$ грн.

Тоді капітальні вкладення на 1 м<sup>2</sup> зміцненої сталеві поверхні складають:

для базового варіанту

$$K_{баз} = \frac{K_{о.баз}}{N_{баз}} = \frac{200000}{12018} = 16,64 \text{ грн./м}^2 \quad (5.10)$$

для нової техніки

$$K_{нт} = \frac{K_{о.нт}}{N_{нт}} = \frac{240000}{24036} = 9,98 \text{ грн./м}^2 \quad (5.11)$$

Таким чином, приведені витрати для базового варіанту

$$З = 102 + 0,15 \cdot 16,64 = 104,5 \text{ грн./м}^2$$

для нової техніки

$$З = 102 + 0,15 \cdot 9,98 = 103,5 \text{ грн./м}^2$$

Після підстановки набутих числових значень у формулу (5.12) знаходимо, що

$$\mathcal{E}_{нт} = (104,5 - 103,5)24036 = 24036 \text{ грн./год}.$$

					КРМ.133ГМмд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отриманий економічний ефект дає окупність додаткових капіталовкладень

$$T_{ок} = \frac{K_{о.нт} - K_{о.баз}}{N_{нт}} = \frac{240000 - 200000}{24036} = 1,8 \text{ року}$$

що менше нормативного  $T_{ок.норм} = 5 - 7$  років.

					КРМ.133ГМд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Встановлено, що при розбиранні різьбових з'єднань накладення на з'єднання коливань призводить до його пружних подовжніх деформацій на величину, пропорційну амплітуді, і поперечним деформаціям діаметру на величину при розбиранні різьбових з'єднань, утворюється певне зменшення посадки на при розбиранні різьбових з'єднань. Це сприяє активному руйнуванню корозійних і адгезійних зв'язків, а зміна діаметральних розмірів істотно зменшує момент, необхідний для розгвинчування, і зусилля, необхідне для розпресування.

Виявлені фізико-технологічні особливості віброхвильового розбирання різьбових з'єднань і основні закономірності впливу віброхвильового вантаження на параметри процесу і якість з'єднань, у тому числі поверхневого шару, контактну жорсткість, міцність, фактичну площу контакту.

Встановлено, що застосування віброхвильових коливань підвищує ефективність розбирання різьбових з'єднань. Залежно від схеми вантаження момент розгвинчування і зусилля знижуються на 65 - 85 % і 70 - 90 % відповідно при максимальному часі віброхвильового вантаження елементів з'єднання 90 с.

Дослідженнями встановлено, що схема вступу в зону сполучення деталей віброхвильової дії і початковий момент затягування (зусилля) чинять визначальний вплив на розбирання різьбового з'єднання. Найбільший ефект отриманий при одночасному вступі віброхвильової дії і розбирання.

					КРМ.133ГМд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Павлице В.Т. Основы конструирования та розрахунок деталей машин . Киев: Вища школа, 1993. 556 с.
2. Андриенко Л.А. Детали машин: учебник для вузов / Л.А. Андриенко, Б.А. Байков, И.К. Ганулич и др.; под ред. О.А. Ряховского. Москва : издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 544 с.
3. А.А. Дудніков, І.А. Дудніков, А.О. Келемеш, О.В. Горбенко. Influence of the hardening treatment of a machine parts' material on wear-resistance. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol 3, No 1 (93). P. 6–11.
4. Маталин А.А. Технологические методы повышения долговечности машин. Киев : Техника, 1971. 144 с.
5. Бабичев А.П. Вибрационная обработка деталей. Москва : Машиностроение, 1974. 134 с.
6. Келемеш А.О., Горбенко О.В. Дудніков І.А., Дудніков А.А. RESEARCH OF WEAR RESISTANCE OF BRONZE BUSHINGS DURING PLASTIC VIBRATION DEFORMATION. Східно-європейський журнал передових технологій, VOL 2, NO 11 (86) (2017) MATERIALS SCIENCE.
7. Новіков Ф. В., Анділахай О. О. Основы струминно-абразивной обработки дрібних деталей: монографія. Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014. 348 с.
8. Dudnikov A.A., Dudnikov I.A., Gorbenko O.V. Kelemesh A. Improving the technology of part machining by surface plastic deformation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Engineering technological systems. 2019. Vol. 6, № 1 (102). P. 26–32. (Scopus) DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.183541>
9. Анкудинов Д.В. Повышение прочности прессовых соединений за счет использования явления схватывания при ультразвуковой запрессовке зубков шарошек буровых долот: автореф. дис. канд. тех. наук. Самара, 2012. 21 с.
10. Бабичев А.П. Вибрационная и виброволновая обработка в технологии ремонта и утилизации изделий машиностроения / Бабичев А.П., Эссоло Д.,

					КРМ.133ГМмд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Коваленко Е.Н., Коваль Н.С., Пастухов Ф.А. // Вопросы вибрационной технологии: межвуз. сб. науч. ст. 2011. С. 3-6.
11. Воловик Е.Л. Справочник по восстановлению деталей. Киев : Колос, 1981. 351 с., ил.
  12. Селиванов А.И. Теоретические основы ремонта и надежности сельскохозяйственной техники / Селиванов А.И. и Артемьев Ю.Н. Киев : «Колос», 1978, 248 с.
  13. Детеринский Л.В. Ремонт автомобилей: Учеб. для вузов / Л.В. Детеринский, К.Х. Акмаев, В.П. Аспин и др; Под ред. Л.В. Дехтеринского: Минск : Транспорт, 1992. 295 с.
  14. Литвинов Л.А. Моющие жидкости: учебное пособие по разделу курса «топлива, смазочные материалы и специальные жидкости» / Литвинов Л.А., Терехин В.И. Киев 1973. 66 с.
  15. Зайвенко Г.М. Ремонт летательных аппаратов и авиационных двигателей: курс лекций ИИГА. / Зайвенко Г.М., Козаков В.Л., Черняк В.В. Киев : Колос, 1975. 175 с.
  16. Дидык Р.П. Технология производства и ремонт горных машин. / Дидык Р.П., Забара В.Н., Шилов П.М. Днепропетровськ : Пороги, 1996. 440 с.
  17. Вологин М.Ф. Применение ультразвука и взрыва при обработке и сборке / Вологин М.Ф., Калашников В.В., Нерубай М.С., Штриков В.Л. Минск : Машиностроение, 2002. – 264 с.
  18. Бабичев А.П. Применение механических колебаний (вибраций) в процессах разборки неподвижных разъемных соединений в условиях ремонта и утилизации изделий машиностроения / Бабичев А.П., Эссоло Д., Коваленко Е.Н., Коваль Н.С., Гончаров Б.А. //Вестник ДГТУ № 1 – 2012. С. 55-61.
  19. Бабичев А.П. Вибрационные станки для обработки деталей / А.П. Бабичев, В.Б. Трунин, Ю.М. Сомодумский, В.П. Устипов. Киев : Машиностроение, 1984. 168 с.
  20. Дудніков А.А. Проектування технологічних процесів сервісних

					КРМ.133ГМмд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- підприємств: навчальний посібник / А.А. Дудніков, П.В. Писаренко, О.І. Біловод, І.А. Дудніков, О.П.Ківшик. – Вінниця: Нова книга, 2011. 400 с.
21. Безъязычный В. Ф. Влияние качества поверхностного слоя после механической обработки на эксплуатационные свойства деталей машин. Инженерный журнал, 2001. № 4. С. 9–16.
  22. Олейник Н. В. Поверхностное динамическое упрочнение деталей машин. Киев : Техника, 1984. 150 с.
  23. Горик О.В., Черняк Р.Є., Чернявський А.М., Брикун О.М. Дробоструминне очищення. Теорія і практика. Полтава : Видавництво ПП «Астроя», 2021. 326 с.3
  24. Дальский А.М. Механическая обработка металлов. Минск : Машиностроение, 1981. 264 с.
  25. Воронін С. Є. Про збільшення продуктивності дробоструминної камери всмоктувального типу : наукові журнали НТУ "ХП": *Інтегровані технології та енергозбереження*, 2007. № 2. С. 125-132.
  26. Головка В.О. Сільськогосподарська екологія: навчальний посібник для студентів вузів. Харків: Ескада, 2009. 617 с.
  27. Одарченко М.С., Степанов В.І. Основи охорони праці : підручник. Харків : Издат, 2017. 362 с.
  28. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: навчальний посібник. Київ: Каравела, 2003. 408 с.
  29. Кулішов В. В. Економіка підприємства: теорія і практика: навч. посіб. Київ : Ніка-Центр, 2002. 216 с.
  30. Бойчик І. М. Економіка підприємства. Київ : Атіка, 2002. 480 с.

					КРМ.133ГМд_24.12.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		