

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Державний університет інтелектуальних технологій
і зв'язку

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Паращанов В'ячеслав Георгійович

УДК 681.7

**МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИПРОБУВАННЯ СПРЯЖЕНИХ
ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВІ ІМПУЛЬСНОГО МОДУЛЬОВАНОГО
СТРУМУ**

Спеціальність: 05.01.02 –Стандартизація, сертифікація та метрологічне
забезпечення

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ В.Г. Паращанов
Науковий керівник _____ Квасніков Володимир Павлович,
Заслужений метролог України, д.т.н., професор.

Одеса-2020

АНОТАЦІЯ

Паращанов В.Г. Метрологічне забезпечення випробування спряжених деталей на основі імпульсного модульованого струму - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.02 – «Стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення». Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, 2020.

У дисертаційній роботі отримано такі **нові наукові результати**.

1. Вперше введено та обґрунтовано поняття метрологічного забезпечення випробувань при відновленні спряжених пар в реальному часі, що забезпечує моделювання та розрахунок похибки вимірювань.

2. Вперше для оперативного управління якістю розроблено метод ідентифікації визначення геометричних параметрів, який відрізняється від існуючих, комплексним застосуванням статистичної інформації та дає можливість реалізації нового класу на основі імпульсного модульованого струму.

3. Вперше для забезпечення в якості прецизійних деталей розроблено модель системи контролю з урахуванням зовнішніх дестабілізуючих факторів, яка на відміну від раніше відомих, дозволяє реалізувати принцип гнучкого проектування прецизійних деталей за рахунок використання статистичної інформації та дає можливість підвищити точність контролю на 10 %.

4. Запропоновано метод випробування спряжених деталей із застосуванням вихрострумове ефекту, що базується на використанні імпульсного модульованого струму та дає можливість усунення паразитних похибок при використанні цифрового фільтра.

5. Удосконалено метод випробування прецизійних пар за рахунок підвищення інтегральної оцінки узагальненого показника якості на базі визначення вірогідності аномальних процесів відхилення від форми та дослідження фізичних явищ та склад і властивостей матеріалу та речовини для

створення стандартних зразків значення про придатність деталей.

6. Подальшого розвитку отримав метод прогнозування якості випробування спряжених деталей та експериментальної підтверджено підвищення точності прогнозування, який на відміну від існуючих методів, реалізує підвищення ефективності та метрологічної надійності приладової системи з застосуванням електронних вимірювальних приладів.

В результаті розроблено новий підхід щодо метрологічного забезпечення спряжених деталей за рахунок прогнозування безвідмовності деталей з використання статистичної інформації в умовах обмеженого обсягу вимірювальної інформації.

Практичне значення одержаних результатів полягає у наступному:

1. Запропонована фізична модель випробування спряжених деталей, яка дозволяє оцінити якість припрацювання деталей з різним значенням геометричних параметрів, що дозволяє визначити площу фактичного контакту включаючи геометричні перекося.

2. Запропоновано фізична модель спряжених деталей гвинтових та зубчатих поверхонь для реалізації методу випробування, що дає можливість розробити умови ефективної роботи спряжених деталей в складі механізмів.

3. Запропонована приладова система контролю деталей після відновлення спряжених деталей з використанням імпульсного модульованого струму, метод випробування та розроблений спосіб контролю деталей, а також умови для їх випробування.

4. Запропонований стандарт підприємства по метрологічному забезпечення випробування спряжених деталей та їх діагностики.

Впровадження результатів роботи. Результати дисертаційної роботи впроваджено на підприємствах ПАТ НВО «Київський завод автоматики» та Державному підприємстві «Завод 410 ЦА», а також в навчальному процесі Національного авіаційного університету при підготовці фахівців за спеціальністю «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

Наукову новизну та практичне значення результатів роботи підтверджено трьома патентами України №36600, 36601 та 54490.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та основні задачі досліджень, показано зв'язок вибраного напрямку з науковими програмами, планами та темами, сформульовано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, наведено дані про особистий внесок здобувача, публікації, апробацію та впровадження результатів досліджень.

У **першому розділі** проведено аналіз існуючих методів та засобів вимірювання в спряжених деталях, зроблено аналіз першоджерел з питань вимірювання після відновлення поверхонь деталей, прецизійних механізмів. Проведено аналіз методик, що використовуються для моніторингу умов вимірювання при випробуванні спряжених деталей.

Відзначено, що метрологічне забезпечення, стандартизація та сертифікація виготовлення якісної промислової продукції базується на визначенні похибки вимірювання, розробці нестандартних засобів вимірювання, методів, методик і алгоритмів їх вимірювання та контролю. Встановлені основні фактори, що впливають на електрохімічні методики контролю при відновленні на виробництві спряжених деталей. Показані та обґрунтовані основні способи вимірювання та контролю поверхонь спряжених деталей.

За результатами проведеного аналізу сформульовано мету роботи, визначено основні наукові задачі, які необхідно вирішити для її досягнення. На основі проведеного аналізу стану задачі стосовно випробовування поверхонь деталей та їх контролю, запропоновані методи та шляхи вирішення задачі.

В другому розділі представлено метод проведення моніторингу поверхні деталі в процесі роботи, який полягає у візуальному контролі та фіксації параметрів вимірювання в режимі експлуатації, розроблено приладову систему контролю.

Розглянуто роботу вихрострумового дефектоскопу ВД10, досліджено склад та властивості матеріалів для створення стандартних зразків спряжених деталей.

Запропонована приладова система, яка дозволяє проводити моніторинг поверхонь деталей в динамічному режимі. Спектральні характеристики визначали за допомогою комп'ютерної програми «SpectraLAB», що дозволяє обробляти вхідний сигнал в реальному часі. Для підвищення точності вимірювання та контролю зменшення впливу сторонніх вібрацій всі працюючі механізми комплексу виготовлені з неметалевих матеріалів, підшипники та інші деталі з фторопласту-4.

Розроблено приладову систему, яка дозволяє проводити аналіз утворення плівок та контролювати переміщення матеріалу відновлення на поверхні деталі, як візуальним способом так і спектральним. Така схема може проводити вимірювання в процесі та після відновлення. За допомогою генератора ГЗ-34 та електронного перемикача з генератором (2...12) Гц створюються умови проходження струму в середовищах з високим електроопором.

У третьому розділі розглянуто метод вимірювання та контролю спряжених деталей. Для вивчення умов контролю в динамічному режимі розроблено модель, що дає можливість провести моніторинг динаміки утворення поверхневих плівок.

Проведено дослідження та розглянуто кінетику руху продуктів зношування на фактичній поверхні контакту у процесі відносного переміщення поверхонь деталі. Для цього досліджували вироби зі сталі 45 з нормальним навантаженням на зразок та показано зміну вібраційних характеристик.

Розроблено блок-схему етапів локалізації дефекту спряжених деталей.

Розроблено нестандартний засіб вимірювання, а саме приладова система визначення параметрів як механічних так і фізико-хімічних.

В четвертому розділі показано проведення випробування розробленої приладової системи, проведено оптимізацію номенклатури засобів вимірювання при випробуванні та представлені результати експериментальних досліджень вимірювання деталей. Проведено метрологічну атестацію

приладової системи за допомогою зразкових засобів вимірювання, а саме кінцеві міри довжини. Визначено наступні метрологічні характеристики: амплітудно-частотну та фазочастотну; похибку вимірювання шорсткості; динамічні характеристики.

Досліджено вплив імпульсного модульованого струму при вимірюванні шорсткості приладових систем порівняльні характеристики випробування спряжених пар. Запропоновано метод вимірювання параметрів деталей під впливом направленої імпульсного струму високої частоти.

Встановлено що вібраційний сигнал при роботі механізму збільшується починаючи з частоти 1 кГц до 5 кГц. Ефективне вимірювання поверхні деталі настає при дії імпульсного електричного струму (5...8) Гц. Показано, що розроблена приладова система дозволяє вимірювати швидкість зміни товщини плівки з високою чутливістю та швидкодією. Встановлено, що використання електронної схеми виконує автоматичну компенсацію, як активних так і реактивних паразитних параметрів датчика, мається на увазі основні впливові параметри це насамперед, опору втрат на вихрові струми та паразитна ємність датчика.

Розроблено схему з імпульсною модуляцією різними частотами тестового сигналу та швидкодіючим імпульсним фільтром.

Встановлено спроможності середовища пропускати струм. В дослідженні використали широкий діапазон частот від 20 Гц до 200 кГц. Встановлено, що процес відновлення спряжених пар більш ефективно проходить при модуляційних струмах.

В загальних висновках підсумовано основні результати досліджень, проведених в дисертаційній роботі, як теоретичних, так і експериментальних, отриманих в лабораторних умовах.

Ключові слова: метрологічне забезпечення, вимірювання при випробуванні, фільтрація паразитних сигналів, спряжені деталі, похибка вимірювання.

SUMMARY

Parashchanov VG Metrological support of testing of conjugate parts on the basis of pulse modulated current - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.01.02 - "Standardization, certification and metrological maintenance". Odessa State Academy of Technical Regulation and Quality, Odessa, 2020.

The following new scientific results are obtained in the dissertation work.

1. For the first time the concept of metrological support of tests at restoration of conjugated pairs in real time is introduced and substantiated, which provides modeling and calculation of measurement error.

2. For the first time for operational quality management the method of identification of definition of geometrical parameters which differs from existing, by complex application of the statistical information and gives the chance of realization of a new class on the basis of the pulse modulated current is developed.

3. For the first time to ensure as precision parts developed a model of control system taking into account external destabilizing factors, which, unlike previously known, allows to implement the principle of flexible design of precision parts through the use of statistical information and allows to increase control accuracy by 10%.

4. A method of testing conjugated parts using the eddy current effect is proposed, which is based on the use of pulsed modulated current and makes it possible to eliminate parasitic errors when using a digital filter.

5. Improved the method of testing precision pairs by increasing the integrated assessment of the generalized quality indicator based on determining the probability of abnormal processes of deviation from the shape and study of physical phenomena and composition and properties of material and substance to create standard samples of the suitability of parts.

6. Further developed method of predicting the quality of testing of conjugated parts and experimentally confirmed the increase in forecasting accuracy, which, unlike existing methods, implements increased efficiency and metrological reliability of the instrument system using electronic measuring instruments.

As a result, a new approach to metrological support of conjugated parts has been developed by predicting the failure of parts for the use of statistical information in a limited amount of measurement information.

The practical significance of the obtained results is as follows:

1. The physical model of testing of conjugated details which allows to estimate quality of running-in of details with various value of geometrical parameters that allows to define the area of actual contact including geometrical distortions is offered.

2. The physical model of the conjugated details of screw and gear surfaces for realization of a test method that gives the chance to develop conditions of effective work of conjugated details as a part of mechanisms is offered.

3. The device system of control of details after restoration of conjugated details with use of the pulsed modulated current is offered, the test method and the way of control of details, and also conditions for their test are developed.

4. The proposed standard of the enterprise for metrological support of testing of conjugated parts and their diagnostics.

Implementation of work results. The results of the dissertation were implemented at the enterprises of PJSC NGO "Kyiv Plant of Automation" and the State Enterprise "Plant 410 CA", as well as in the educational process of the National Aviation University in training specialists in "Metrology and Information and Measurement Technology".

The scientific novelty and practical significance of the results of the work was confirmed by three patents of Ukraine №36600, 36601 and 54490.

The introduction substantiates the relevance of the topic, formulates the purpose and main objectives of research, shows the relationship of the chosen direction with scientific programs, plans and topics, formulates scientific novelty

and practical significance of the results, provides data on the applicant's personal contribution, publications, testing and implementation of research results. .

In the first section the analysis of existing methods and means of measurement in conjugate details is carried out, the analysis of primary sources on questions of questions after restoration of surfaces of details, precision mechanisms is made. The analysis of the methods used for monitoring of conditions of measurement at test of the conjugated details is carried out.

It is noted that metrological support, standardization and certification of quality industrial products is based on determining the measurement error, development of non-standard measuring instruments, methods, techniques and algorithms for their measurement and control. The main factors influencing electrochemical methods of control at restoration on production of conjugated details are established. The main methods of measuring and controlling the surfaces of conjugated parts are shown and substantiated.

Based on the results of the analysis, the purpose of the work is formulated, the main scientific tasks that need to be solved to achieve it are identified. Based on the analysis of the state of the problem in relation to the testing of surfaces of parts and their control, the proposed methods and ways to solve the problem.

The second section presents a method of monitoring the surface of the part during operation, which consists in visual control and recording of measurement parameters in operation, developed an instrumental control system.

The operation of the VD10 eddy current defectoscope is considered, the composition and properties of materials for creating standard samples of conjugated parts are investigated.

The device system which allows to carry out monitoring of surfaces of a detail in a dynamic mode is offered. Spectral characteristics were determined using the computer program "SpectraLAB", which allows you to process the input signal in real time. To increase the accuracy of measurement and control to reduce the impact of external vibrations, all working mechanisms of the complex are made of non-metallic materials, bearings and other parts made of fluoroplastic-4.

An instrument system has been developed that allows to analyze the formation of films and control the movement of the reduction material on the surface of the part, both visually and spectrally. Such a circuit can perform measurements during and after recovery. With the help of the GZ-34 generator and the electronic switch with the generator (2 -12) Hz conditions of passage of current in the environments with high electric resistance are created.

The third section discusses the method of measuring and controlling conjugated parts. To study the control conditions in the dynamic mode, a model has been developed that makes it possible to monitor the dynamics of the formation of surface films.

The research and kinetics of motion of wear products on the actual contact surface in the process of relative movement of the surfaces of the part are considered. For this purpose, steel products 45 with normal load on the sample were investigated and the change of vibration characteristics was shown.

The block diagram of stages of localization of defect of conjugate details is developed.

A non-standard means of measurement has been developed, namely an instrumental system for determining both mechanical and physicochemical parameters.

The fourth section shows the testing of the developed instrument system, the optimization of the range of measuring instruments during the test and presents the results of experimental studies of measuring parts. Metrological certification of the instrument system was carried out with the help of exemplary measuring instruments, namely the final measures of length. The following metrological characteristics are determined: amplitude-frequency and phase-frequency; roughness measurement error; dynamic characteristics.

The influence of pulsed modulated current when measuring the roughness of instrument systems and the comparative characteristics of the conjugate pair test are investigated. A method for measuring the parameters of parts under the influence of directional pulsed high frequency current is proposed.

It is established that the vibration signal during the operation of the mechanism increases from a frequency of 1 kHz to 5 kHz. Effective measurement of the surface of the part occurs under the action of a pulsed electric current (5... 8) Hz. It is shown that the developed instrument system allows to measure the rate of change of film thickness with high sensitivity and speed. It is established that the use of electronic circuit performs automatic compensation of both active and reactive parasitic parameters of the sensor, meaning the main influential parameters are, first of all, the resistance of losses to eddy currents and parasitic capacitance of the sensor.

The scheme with pulse modulation by different frequencies of the test signal and high-speed pulse filter is developed.

The capacity of the medium to pass current is set. The study used a wide frequency range from 20 Hz to 200 kHz. It is established that the process of reduction of conjugate pairs is more efficient at modulation currents.

The general conclusions summarize the main results of research conducted in the dissertation, both theoretical and experimental, obtained in the laboratory.

Key words: metrological support, measurement during test, filtering of parasitic signals, conjugate details, measurement error.

Список публікації здобувача за темою дисертації.

По темі дисертації написано 10 статей, з них 4 в наукових журналах затверджених МОН України, а також три патенти України на корисну модель, та дві публікації у збірниках праць міжнародних науково-технічних конференцій. Матеріали дисертації опубліковані в наступних збірках:

1. Свирид М.М. Комплекс для дослідження трибологічних параметрів вузла тертя / Паращанов В.Г., Онищенко А.В.// Проблеми тертя та зношування. –2006. – Вип.45. – С. 54-62.

2. Свирид М.М. Мониторинг трибологических характеристик в полиэтиленгликоле / В.Г. Паращанов, Л.Б. Лучук // Проблеми тертя та зношування. – 2007. – Вип.49, т.1. – С.111-117.

3. Свирид М.М. Моніторинг утворення топографії поверхонь при терті без змащування, під дією магнітного поля / В.Г. Паращанов, Л.Б. Лучук // Наука і молодь, прикладна серія: збірник наукових праць. - 2007. – С.34-37.
4. Свирид М.М. Трибологічні властивості електроіскрових покриттів на основі титану і молібдену / М.М. Свирид, Е. Вайс, Н. Радек, В.Г. Паращанов, С.М. Задніпровська // Машинознавство: 2008. - №1 (127). – С.41-45.
5. Свирид М.М. Енергетична концепція стабілізації стану трибосистеми / М.М. Свирид, І.А. Кравець, С.М. Занько, Л.Б. Приймак, В.Г. Паращанов // Проблеми трибології. – 2008. – №4 (50) – С. 13-18.
6. Свирид М.Н. Мониторинг трибологических параметров узла трения в условиях переноса массы / М.Н. Свирид, В.Г. Паращанов, И.Ю. Беспалов // Проблеми тертя та зношування. – 2009. – Вип. 51. – С. 25 – 32.
7. Свирид М.М. Механізм відновлення поверхні тертя дією магнітного поля на робоче середовище модифіковане діаманетиком / М.М. Свирид, И.Л. Трофимов, Л.Б. Приймак, В.Г. Паращанов // "Східно-Європейський журнал передових технологій". - 2013. - №4/5 - С. 24 – 27.
8. Паращанов В.Г. Аналіз методів та засобів вимірювання шорсткості деталей при переміщенні / В.Г. Паращанов // Вісник Інженерної академії України. – 2018. - №3 – С.107-111.
9. Квасніков В.П. Метод алгоритмічної компенсації похибки вимірювання в трибосистемах / В.П. Квасніков, В.Г. Паращанов // Вісник Інженерної академії України – 2019. - №2. – С.19-23.
10. Паращанов В.Г. Метрологічне забезпечення проведення випробування прецизійних деталей / В.Г. Паращанов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2019.- №2 – С.46-49.
11. Патент № 36600 (Україна), МПК G01N 3/56. Пристрій для дослідження тертя та зношування [Текст] / Свирид М.М., Занько С.М., Паращанов В.Г., Задніпровська С.М., Приймак Л.Б. // Реєстрац. номер заявки U200809663. Опубліковано 27.10.2008, Бюл. № 20, 2008 р.

12. Патент № 36601 (Україна), МПК G01N 3/56, Спосіб відновлення поверхні тертя [Текст] / Свирид М.М., Кравець І.А., Паращанов В.Г., Занько С.М., Задніпровська С.М. // Реєстрац. номер заявки U200809664. 27.10.2008, Бюл. № 20, 2008 р.

13. Патент №54490 (Україна), МПК G01N 3/56. Спосіб відновлення поверхні тертя в рідинах з високим питомим електроопором [Текст] / Свирид М.М., Кравець І.А., Паращанов В.Г. Сидоренко О.Ю. // Реєстрац. номер заявки U201006047 10.11.2010. Бюл.№21, 2010 р.

14. Parashchanov V.G. Structural Changes of the friction surface due to action of pulse modulated current/ A.P. Kudrin, M.N. Svirid, V.G. Parashchanov, A.Y. Yakobchuk // “THE FIFTH WORLD CONGRESS AVIATION IN THE XXI-st CENTURY”. – Kyiv: NAU, 2012. - P.1.4.35-1.4.38.

15. Паращанов В.Г. Метрологічне забезпечення проведення випробування прецизійних деталей після їх відновлення [Текст] / В.Г.Паращанов // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2020). XIII міжнародна наукова-практична конференція 19-20 травня 2020 року, Київ, Україна.- К.:НАУ, 2020.- С.155-156.

ЗМІСТ

	стор.
АНОТАЦІЯ	2
SUMMARY	7
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ	17
ВСТУП	18
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПРЯЖЕНИХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ВИПРОБУВАННІ ІМПУЛЬСНИМ СТРУМОМ.....	28
1.1. Сучасний стан метрологічного забезпечення спряжених деталей.	28
1.2. Засоби та методи вимірювання електрохімічних покриттів спряжених пар	38
1.3. Стандарти та сертифікація процесу випробування в спряжених деталях	50
1.4. Постановка наукової задачі	53
Висновки до розділу 1	54
Список використаних джерел до розділу 1	54
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПРЯЖЕНИХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ВИПРОБУВАННІ	59
2.1. Розробка структурної схеми приладової системи вимірювання параметрів деталей	59
2.2. Методика підвищення надійності приладової системи при випробуванні спряжених пар	66
2.3. Система вимірювання параметрів спряжених деталей	73
2.4. Метод контролю електрохімічного процесу при відновленні спряжених деталей	85
2.5. Оптимальний вибір засобів вимірювальної техніки для випробування спряжених деталей	88
Висновки до розділу 2	89
Список використаних джерел до розділу 2	90

	15
РОЗДІЛ 3 МОНІТОРИНГ ТА КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ВИПРОБУВАННІ.....	93
3.1. Моніторинг та контроль параметрів при випробуванні деталей....	93
3.2. Метод компенсації похибок вимірювання параметрів при випробуванні деталей.....	106
3.3. Метод проведення вимірювання параметрів авіаційних деталей за допомогою приладової системи	108
3.4 Диференціальний метод визначення похибок при дії негаусових завод	110
Висновки до розділу 3	118
Список використаних джерел до розділу 3	119
РОЗДІЛ 4 МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИПРОБУВАННЯ СПРЯЖЕНИХ ДЕТАЛЕЙ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	123
4.1. Розрахунок метрологічних характеристик приладової системи та оптимізація номенклатури засобів вимірювальної техніки.....	123
4.2. Метрологічний комплекс та метрологічне забезпечення контролю спряжених деталей.....	129
4.3. Метрологічне забезпечення експериментального дослідження приладової системи	130
4.4. Дослідження впливу частоти сигналу на якість випробування деталі	135
4.5. Дослідження впливу імпульсного струму при вимірюванні шорсткості	141
4.6 Моделюючий комплекс приладової системи для випробування деталей та метрологічної атестації	147
Висновки до розділу 4	154
Список використаних джерел до розділу 4	155
ВИСНОВКИ.....	158
ДОДАТКИ.....	160

	16
Додаток А1 Акти впровадження.....	160
Додаток Б2 Класифікація методів випробування спряжених деталей	165
Додаток Б3 Алгоритм обробки результатів вимірювання	166
Додаток Б4 Графіки	167
Додаток Б5 Картограми, топографії, геометричні параметри.....	167
Додаток Б6 Моніторинг поверхні деталі	169
Додаток В1 Патенти.....	169
Додаток В2 Проект. Стандарт підприємства	170

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ

- АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;
ДЗ – допустиме значення;
ЗВТ – засоби вимірювальної техніки;
ЗП - захисні плівки;
ІЕС – імпульсний електричний сигнал;
ІМС – імпульсний модульований струм;
КВО – контрольно-вимірювальне обладнання;
ККД – коефіцієнт корисної дії;
МВВ – методика виконання вимірювання;
МЗ – метрологічне забезпечення;
МХ – метрологічні характеристики;
ПАР – поверхнево-активні речовини;
ПС – приладова система;
СКВ – середньо-квадратичне відхилення;
ТЗ – технічне завдання;
Ф - чинник форми заряду;
ФПК – фактична поверхня контакту;
ЦПГ – циліндро - поршнева група;
ШГП – кульково-гвинтова пара;
 β_u – ймовірність помилкового рішення;
 s_u - контрольна вибірка класу;
 γ - питома міжфазна поверхнева енергія;
 ξ - поверхнева енергія;
кТ - теплова енергія;
Sc - ентропія середовища;
 $\bar{\gamma}$ – середнє значення вхідної величини.

ВСТУП

Актуальність теми. На цей час технічні засоби управління широко використовуються в господарській діяльності, від простих автоматів до експлуатації літальних і космічних апаратів, при цьому відбувається їх модернізація, підвищення потужності. Більшість технічних пристроїв працюють в різних середовищах, при великих тисках в опорах, в широкому діапазоні швидкостей ковзання, а також високих динамічних навантажень. Весь спектр агрегатів вимагає технічного обслуговування і періодичного ремонту.

У передових країнах світу витрати на ремонт автотранспортних засобів складають мільярди доларів в рік. При цьому встановлено, що із-за зносу і поганого регулювання втрачається близько 15% потужності двигуна. Прості автомобілів унаслідок технічних несправностей в середньому автогосподарстві досягають 30-40% календарного часу. Підвищення довговічності і працездатності агрегатів за рахунок процесів відновлення значно підвищує вартість виробу. Технологія оновлення робочих параметрів механізму завжди полягала в демонтажі-відновленні з подальшим збиранням.

При виробництві машин та механізмів, де вирішальним є забезпечення якості продукції, що визначається на етапі випробувань, встановлено, що обсяг контрольних операцій досягає понад 65% загальної трудомісткості їх виробництва.

Процес випробування деталей є складовою частиною системи забезпечення якості механізмів із сучасними методиками та методами визначення діагностичних параметрів.

Розроблені в цей час методи та методики випробувань спряжених деталей ще не достатньо ефективні для визначення придатності виробів.

Вони мають низьку швидкодію, малоефективні та не придатні для роботи в цехових умовах.

Для подолання недоліків існуючих методів та методик вимірювання параметрів спряжених деталей, включаючи специфіку сучасних

випробувальних лабораторій, основною задачею є розробка методичного та метрологічного забезпечення, що зумовлює недостатню ефективність функціонування і розвиток випробувальних лабораторій.

Розробка новітніх процесів відновлення робочих поверхонь та методика їх випробування є перспективною задачею. Довговічність механізму спряжених пар вимірюється декількома мікронами дотичних поверхонь, остання маса матеріалу не втрачає своїх експлуатаційних властивостей. Тому, досить, в процесі напрацювання, підтримувати розрахункові розміри деталей, аби робочі параметри механізму витримувалися в стані закладених конструкторами властивостей.

Для виконання цих умов необхідно метрологічне забезпечення контролю прецизійних спряжених деталей. Підвищення працездатності машин, що висувається на перший план, яке регламентується головним чином розрахунковими параметрами вузлів, рівноцінно не лише пропорційному підвищенню продуктивності, але і вивільненню величезних ресурсів робочої сили, сировини, матеріалів, оптимальної кількості засобів вимірювальної техніки (ЗВТ).

Структурні зміни і надбання особливих властивостей матеріалів використаних для створення стандартних зразків, а також тонких поверхневих шарів на деталях машин, що знаходяться у роботі, умови роботи змащувальних матеріалів; створення оптимальних структур з розрахунковими характеристиками і властивостями для стендових зразків та зносостійких і антифрикційних матеріалів, а також притертих покриттів все це визначає пріоритетні напрями наукового потенціалу на визначення шляху продовження життєдіяльності механізмів.

Методи вимірювання параметрів при випробуваннях деталей машин можна розділити на механічні, пневматичні, оптичні та електричні.

Для виготовлення стендових зразків деталей існуючих типів машин і механізмів застосовуються метали і сплави різноманітні за складом, властивостями і методам їх виробництва. Вибір і призначення металевих

матеріалів для виготовлення деталей машин проводиться на основі характеристик їх міцності, отриманих при статичних, динамічних та інших випробуваннях, на підставі даних про їх особливі властивості корозійної стійкості, електроопору та інші.

Вивчення деталі або групи деталей (огляд, обмір, випробування обрізків на міцність, визначення твердості, хімічний аналіз) і порівняння з даними технічної документації на виготовлення цих деталей. Вивчення запасних деталей або деталей однотипних машин і порівняння їх з пошкодженими або зруйнованими при аварії.

Основна мета метрологічного забезпечення випробувань - отримання достовірної вимірювальної інформації про значення показників якості і безпеки продукції.

Основні завдання метрологічного забезпечення випробувань: створення необхідних умов для отримання достовірної інформації про значення показників якості і безпеки продукції при випробуваннях; розробка методики випробувань, що забезпечує отримання результатів випробувань з похибкою і відтворюваністю, які не виходять за межі встановлених норм; розробка програм випробувань, що забезпечують отримання достовірної інформації про значення показників якості і безпеки продукції та їх відповідність встановленим вимогам; проведення метрологічної експертизи програм і методики випробування.

Підвищення довговічності прецизійних спряжених деталей надзвичайно ускладнюється, оскільки тенденція розвитку науки, техніки і технології виробництва направлена на посилювання і ускладнення режимів роботи машин. Також це відноситься до спряжених деталей по навантаженні, різних швидкостях, температурах, дисипації енергії, вібрації, умовам дії різних газових і рідких середовищ, радіоактивних випромінювань і так далі. Крім того, конструктори прагнуть до зменшення габаритів і масових характеристик спряжених деталей, що більше підвищує питомі навантаження на поверхню матеріалу, що знаходиться в роботі.

Значний вклад у розвиток наукового підходу в цій галузі зробили видатні вітчизняні вчені Ф. Б. Гриневич, П. П. Орнатський, Ю. М. Туз, Ю. О. Скрипник, Є.Т. Володарський, Б. І. Стадник, П. Г. Столярчук, Є. С. Поліщук, І. М. Вишенчук, В. О. Поджаренко, В. В. Кухарчук, І. С. Кісіль, С. І. Кондрашов та інші.

Значний вклад в розробки електрохімічних процесів на поверхні металів зроблено під керівництвом проф. Г.А.Прейса, О.І.Некоз, Н.А.Сологуб, а розвиток теорії вимірювання параметрів та математичного модулювання, контролю та діагностики спряжених пар представлені в працях А.А. Войтеха, І.П. Копилова, М.Т. Костекка, Л.М. Піатровського, О.Д. Гольдберга, Д.Й. Родкіна, Ю.І. Чучмана

Часто традиційні види метрологічного контролю відновлення не відповідають вимогам сучасності. Тому розробка нових підходів і технологій відновлення завжди є актуальним завданням. В даний час одним з перспективних напрямів стану прецизійних спряжених деталей залишається дослідження матеріалів і механізмів, складових з аномально високими параметрами зносу.

Надійність і довговічність машин базується на результатах працездатності спряжених деталей. Процеси відновлення поверхні при роботі вимагають більших досліджень в області метрологічного забезпечення механіки матеріалів тонких шарів поверхні, що відбивається при деформації і значно змінює електрохімічні і хімічні параметри, впливаючи на надійність та стан роботи всієї механічної системи.

Нестійкість металу приводить до руйнування внутрішнього енергетичного потенціалу матеріалу, що супроводжується матеріальними втратами працюючих поверхонь (спряжених деталей). Для вирішення задач необхідно метрологічне забезпечення та розробка нових методик для контролю деталей при роботі після електрохімічного відновлення спряжених деталей.

Для забезпечення якості деталей та машин необхідно випробувати після відновлення дослідних зразків в цілях підвищення надійності та ефективності конкурентоспроможності продукції. Уніфікації вимог до науково-технічної продукції та дослідження сумісності та взаємозамінність.

В даний час одним з перспективних напрямів контролю стану прецизійних вузлів залишається дослідження матеріалів спряжених деталей в процесі відновлення. Проте до цих пір відсутнє метрологічне забезпечення після відновлення, що залежить від засобів вимірювання, методів та способів визначення параметрів, вхідних даних і умов роботи системи при випробуванні, що впливають на властивості працюючого механізму. Одним із слабо вивчених аспектів стандартизації та сертифікації до теперішнього часу залишається вплив структури матеріалу і докільця на формування характеру утворення захисних плівок в умовах вибіркового контролю для забезпечення високої якості продукції. На сьогодні відсутні дані за напрямком електрохімічного безрозбірного контролю та випробування спряжених деталей в процесі напрацювання.

Наявність змішаної електронно-іонної провідності, можливість точно контролювати хімічний склад і змінювати стехіометрію поверхні зразків за допомогою електрохімічних реакцій дозволяє віднести ці з'єднання до зручних модельних систем для вивчення явищ перенесення.

Метрологічне забезпечення, використовуване до теперішнього часу, не завжди задовольняє вимогам технічного завдання по виробу і можливості його відновлення для продовження працездатного стану відповідно до технічної документації, а також оптимальний вибір способів та засобів вимірювання в цілях підвищення точності вимірювання.

У зв'язку з цим актуальною є науково-прикладна задача по метрологічному забезпеченню, яке полягає в розробці та дослідженні ефективних методів процесу випробування деталей з використанням імпульсного модульованого струму (ІМС), що забезпечує високу якість деталей з урахуванням особливостей цього класу виробів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана відповідно до наукового напрямку кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем і технологій, відповідно до закону України №3715-VI «Про пріоритетні напрямки інноваційної діяльності в Україні», зокрема, «Освоєння нових технологій високотехнологічного розвитку транспортної системи, ракетно-космічної галузі, авіа- і суднобудування, озброєння та військової техніки», а також пов'язана з держбюджетною тематикою Міністерства освіти і науки України в науково-дослідній роботі №125-ДБ17 «Методологія побудови сучасних дистанційних інформаційно-вимірювальних систем» (номер держреєстрації 0117U002367).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є вирішення важливої наукової задачі підвищення ефективності метрологічного забезпечення вимірювань при випробуванні спряжених деталей за рахунок удосконалення існуючих методів і засобів вимірювання з покращеними метрологічними характеристиками на основі імпульсного модульованого електричного струму.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні прикладні задачі:

1. Провести аналіз існуючих методів і засобів вимірювання параметрів спряжених пар та класифікувати відомі теоретичні підходи.

2. Розробити та дослідити нову приладову систему з покращеними метрологічними характеристиками з використанням імпульсного модульованого струму, яка враховує комплексну зміну контролюючих параметрів та дозволяє підвищити достовірність контролю.

3. Розробити метод вимірювання в робочих умовах для забезпечення надійності спряжених деталей на етапі випробування та новий метод проектування приладів і систем вимірювання параметрів, що забезпечують високу ефективність.

4. Розробити методику вимірювання спряжених деталей за допомогою технології моніторингу поверхні контакту деталі, з використанням

метрологічних засобів вимірювання із заданими метрологічними характеристиками.

5. Запропонувати метод оцінювання точності вимірювань для забезпечення конкурентоспроможності продукції при випробуванні спряжених деталей на основі визначення взаємозв'язків між статистичними даними та результатами моделювання;

6. Розробити стандарт підприємства для гнучкого проектування та випробування після відновлення спряжених деталей, а також провести експериментальні дослідження розробленої приладової системи вимірювання шорсткості та геометричних параметрів спряжених деталей для підтвердження адекватності теоретичних моделей, ефективності запропонованого метода.

Об'єктом дослідження є процес вимірювання параметрів спряжених деталей в цілях підвищення надійності механізмів на етапі випробування виробів та прогнозування.

Предмет дослідження – методи, моделі та алгоритми для забезпечення якості деталей, їх геометричних розмірів в процесі виготовлення та відновлення спряжених деталей в умовах статистичної обробки інформації.

Методи дослідження.

При розв'язання поставленої задачі використані методи, що ґрунтуються на теорії вимірювальних систем, теорія ймовірності, теорія ідентифікації методах імітаційного моделювання та програмно-математичного забезпечення. Частотні параметри прецизійного вузла опрацьовувалися стандартною програмою «SpektraLab». Поверхневу топографію представляли за допомогою приладу «Мікрон-Альфа» з похибкою вимірювання 5 нм. Обробку експериментальних даних та підтвердження кореляційних залежностей проводили методами теорії планування.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

Розроблено новий підхід щодо метрологічного забезпечення спряжених деталей за рахунок прогнозування безвідмовності деталей з використання статистичної інформації в умовах обмеженого обсягу вимірювальної

інформації.

В роботі отримані такі наукові результати:

1. Вперше введено та обґрунтовано поняття метрологічного забезпечення випробувань при відновленні спряжених пар в реальному часі, що забезпечує моделювання та розрахунок похибки вимірювань.

2. Вперше для оперативного управління якістю розроблено метод ідентифікації визначення геометричних параметрів, який відрізняється від існуючих, комплексним застосуванням статистичної інформації та дає можливість реалізації нового класу на основі імпульсного модульованого струму.

3. Вперше для забезпечення якості прецизійних деталей розроблено модель системи контролю з урахуванням зовнішніх дестабілізуючих факторів, яка на відміну від раніше відомих, дозволяє реалізувати принцип гнучкого проектування прецизійних деталей за рахунок використання статистичної інформації та дає можливість підвищити точність контролю на 10 %.

4. Запропоновано метод випробування спряжених деталей із застосуванням вихрострумовевого ефекту, який на відміну від раніше відомих, базується на використанні імпульсного модульованого струму та дає можливість усунення паразитних похибок при використанні цифрового фільтра.

5. Удосконалено метод випробування спряжених пар за рахунок підвищення інтегральної оцінки узагальненого показника якості на базі визначення вірогідності аномальних процесів відхилення від форми та розташування дослідження фізичних явищ, складу і властивостей матеріалу для створення стандартних зразків.

6. Подальшого розвитку отримав метод прогнозування якості випробування спряжених деталей та експериментальної підтверджено підвищення точності прогнозування, який на відміну від існуючих методів, реалізує підвищення ефективності та метрологічної надійності приладової системи з застосуванням електронних вимірювальних приладів.

Достовірність результатів. Достовірність результатів підтверджується даними тривалих лабораторних і стендових випробувань і теоретичних розрахунків.

Практичне значення одержаних результатів роботи полягає у наступному:

Запропонована фізичну модель випробування спряжених деталей, яка дозволяє оцінити якість припрацювання деталей з різним значенням геометричних параметрів, що дозволяє визначити площу фактичного контакту включаючи геометричні перекося.

Запропоновано фізичну модель спряжених деталей гвинтових та зубчатих поверхонь для реалізації методу випробування, що дає можливість розробити умови ефективної роботи спряжених деталей в складі механізмів.

Запропонована приладова система контролю деталей після відновлення спряжених деталей з використанням імпульсного модульованого струму, метод випробування та розроблений спосіб контролю деталей, а також умови для їх випробування.

Запропонований стандарт підприємства по метрологічному забезпеченню випробування спряжених деталей та їх діагностики в цехових умовах.

Результати дисертаційної роботи впроваджено на підприємствах ПАТ НВО «Київський завод автоматики» та Державному підприємстві «Завод 410 Цивільної Авіації», а також в навчальному процесі Національного авіаційного університету при підготовці фахівців за спеціальністю «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

Особистий внесок здобувача. Всі наукові результати, представлені в дисертації, одержані автором особисто. У роботах, написаних у співавторстві, автору належать: [1-3, 5-6, 8-13] - внесок здобувача полягає в обґрунтуванні наукового напрямку, [2, 5-6, 8, 9, 10] - формулюванні мети і постановки завдання; [1-2, 4, 8, 10-13, 14-15] - особисто зроблено аналіз та узагальнення отриманих результатів дослідження, а саме: обґрунтовано і розроблено метод

експериментальних досліджень, проведені лабораторні дослідження; встановлено теоретичні залежності; сформульована новизна і основні висновки за результатами роботи.

Апробація результатів дисертації. Результати наукових досліджень, що включені до роботи, доповідались та обговорювались на конференціях: «Наукоємні технології-2006», «Наукоємні технології-2007», «Політ-2007», «Політ-2008», «Політ-2009». Доповідались на наукових семінарах НАУ «Новітні технології» 2006-2017 рр. та на міжнародній науково-практичній конференції «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси», ПРТК – 2020 р.

До найсуттєвіших практичних результатів дослідження належить апробація проектування приладової системи, а також методів вимірювання механічних величин.

Основні результати роботи докладалися і обговорювалися на семінарах і науково-технічних конференціях: Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні проблеми триботехніки» м. Миколаїв, 2005 р., науково-технічні семінари НАУ 2002-2013 р., семінарах кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій НАУ 2014-2019 р.р.

Дисертаційна робота складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків, акти впровадження результатів роботи. Загальний обсяг дисертації складає 170 сторінок. Основний зміст викладено на 159 сторінках, який містить 50 рисунків, 12 таблиць.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПРЯЖЕНИХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ВИПРОБУВАННІ ІМПУЛЬСНИМ СТРУМОМ

При конструюванні, виготовленні та експлуатації машин та агрегатів задаються експлуатаційні показники, які забезпечують високу точність та стабільність технологічних процесів а також поліпшення техніко-економічних показників виробництва. В результаті цього необхідно створення нормативної бази ресурсозберігаючих технологій. В даному розділі проведено аналіз методів випробовування деталей машин після відновлення. Проведено аналіз ЗВТ, похибок вимірювання, засобів та методів вимірювання електрофізичних процесів. Зазначено, що процеси, які діють на деталь руйнують, змінюють її форму, геометричні розміри, технічні характеристики, утворюючи дефекти. Показано, що для контролю параметрів спряжених пар необхідно відповідне метрологічне забезпечення.

В даному розділі представлені методи та способи вимірювання спряжених деталей, які використовуються на цей час. В результаті проведеного аналізу методів та способів випробування спряжених деталей виявлені різні недоліки при вимірюванні деталей після відновлення. Одним з цих параметрів є похибка при вимірюванні шорсткості, яка вимірюється профілометрами - профілографами, та іншими подібними приладами. Було розглянуто статті та література з використанням різних датчиків.

1.1. Сучасний стан метрологічного забезпечення спряжених деталей

Сучасний стан метрологічного забезпечення та розробка матеріалів для створення еталонів і засобів вимірювання, дослідження складу та властивостей матеріалу, для створення стандартних зразків та розвитку машинобудівного комплексу України вимагає розробки сучасного

метрологічного забезпечення процесу вимірювання при випробуванні спряжених пар, яке відповідатиме світовим та національним стандартам, а також якості машин та механізмів [1]. На сьогоднішній день відсутні стандартизовані правила встановлення норм та допусків на нелінійні показники якості машинобудівної продукції (твердість, міцність, шорсткість) після відновлення [1]. Із цієї причини процеси випробовування спряжених вузлів, насамперед, повинні бути всебічно вивчені, а відновлені поверхні деталей повинні повністю забезпечувати взаємозамінність по розмірах і якості поверхні. При цьому фізико-механічні властивості в поверхневих шарах матеріалу не повинні уступати розрахунковим по фізико-механічних властивостях [2].

На сьогодні найбільш трудомістким і менш автоматизованим є контроль шорсткості деталей із складною просторовою поверхнею фактичного контакту (ФК), з урахуванням кінематичної та динамічної властивості мастил, сили тиску, напруги. Складовою частиною ряду важливих задач, що мають суттєве значення, є підвищення точності та швидкодії, існуючих методів та засобів контролю машин та механізмів. Вирішення цих задач дозволить створити новий клас засобів автоматизованого контролю з покращеними метрологічними характеристиками. В основу побудови таких засобів контролю має бути покладено удосконалення методу автоматизованого контролю, розробка алгоритму контролю шорсткості в спряжених вузлах, розробка методів автоматичної корекції методичної та інструментальної складової похибок засобів контролю. Основні шляхи відновлення робочих поверхонь полягають у нанесенні покриттів різними методами[3], які включають контроль форми деталей, раціональний вибір приладів для вимірювання технологічних параметрів, розширення інформаційних функцій для визначення вірогідності придатності деталей. Це досягається за умови автоматизованого контролю, процесу взаємодії двох деталей в присутності поверхнево-активної речовини

(ПАР), а також вимагає енергетичного втручання з боку допоміжних систем випробування.

Відповідно до ДСТУ ISO/IEC 17025:2017 визначаються напрямки діяльності, які формують аспекти вимірювальної лабораторії, цілі та задачі по управлінню якістю, а саме: оцінювання невизначеності вимірювання, забезпечення достовірності результатів, спеціальні вимоги до сертифікатів калібрування, поводження зі зразками для випробування, вибір, верифікація та валідація методик.

У відповідності до державних стандартів по метрологічному забезпеченню(МЗ) а також в роботах [7, 10, 11], введено поняття "метрологічне забезпечення" яке застосовується, як правило, по відношенню до вимірювань (випробуванню, контролю) в цілому. У той же час допускають використання терміну "метрологічне забезпечення технологічного процесу (виробництва, організації)", маючи на увазі при цьому МЗ (випробувань або контролю) в даному процесі виробництва та організації відновлення.

При розробці МЗ необхідно використовувати системний підхід, суть якого полягає в розгляді зазначеного забезпечення як сукупності взаємопов'язаних процесів, об'єднаних однією метою - досягненням необхідної якості вимірювань [23-25]. Такими процесами є:

- встановлення раціональної номенклатури вимірюваних параметрів і оптимальних норм точності вимірювань при контролі якості продукції та управлінні процесами;
- стандартизація, уніфікація і агрегування використовуваної контрольно-вимірювальної техніки;
- розробка, впровадження та атестація сучасних методик виконання вимірювання, випробувань і контролю (МВВ);
- перевірка, метрологічна атестація і калібрування контрольно-вимірювального та випробувального обладнання (КВО), що застосовується на підприємстві;

- контроль за виробництвом, станом, застосуванням і ремонтом КВО, а також за дотриманням метрологічних правил і норм на підприємстві;
- участь в розробці і впровадженні стандартів підприємства;
- проведення аналізу стану вимірювань, розробка на його основі і здійснення заходів щодо вдосконалення МЗ.

У відповідності до положень ДСТУ ISO 9001:2015 стандарт установлює вимоги до системи управління якістю, що представляє собою соціально-економічну систему, яка об'єднує в собі взаємопов'язані підсистеми управління якістю, підґрунтям якої виступають методи вимірювання якості праці та принципи управління якістю продукції, які є базовими згідно міжнародних стандартів ISO 9001:2009[21, 22].

Підвищення якості продукції вимагає розробки сучасного метрологічного забезпечення літальних апаратів, продукції машинобудування в тому числі спряжених пар, які відповідали б вимогам міжнародних стандартів. У відповідності до стандартів по метрологічному забезпеченню необхідно оцінювати точність вимірювання в авіаційній галузі а також високоточне проведення вимірювань, метрологічної атестації та метрологічної експертизи [25-29].

Виконання цих вимог по метрологічному забезпеченню виробництва продукції, дасть змогу забезпечити єдність та достовірність вимірювань, що є актуальною науковою задачею та забезпечить конкурентоспроможність України на світовому ринку [18, 21].

Виробництво це соціально-економічна система, яка об'єднує в собі взаємопов'язані системи управління якістю, підґрунтям яких виступають методи вимірювання якості праці та принципи управління якістю продукції, які є базовими згідно міжнародних стандартів ISO 9001:2009.

Впровадження апріорного оцінювання невизначеності вимірювання в метрологічну практику сприятиме забезпеченню єдності та простежуваності вимірювань, організації на новій методичній основі вимірювального експерименту, забезпеченню контролю відповідності отриманих результатів

вимірювання фізичної величини тим вимогам, які були встановлені під час планування вимірювального експерименту, загальному підвищенню якості вимірювань у виробничій та науковій сферах [27].

Відомо, що для продовження терміну служби механізму в рамках розрахункових параметрів необхідно підтримувати його робочий стан за рахунок комплексу заходів по оптимізації метрологічного забезпечення, спрямованих на вимірювання спряжених деталей у процесі експлуатації після відновлення. В той же час для спряжених деталей дуже важливо застосування високоточних спеціальних приладів, що є основним метрологічним засобом і дозволяє оцінити якість машин та агрегатів, а також дозволяє застосовувати більш нові ефективні і високопродуктивні методики вимірювання на базі нових приладів з підвищеними метрологічними характеристиками [31-33].

При аналізі похибок вимірювань можливі три основні задачі:

- 1) кількісна оцінка окремих складових систематичної і випадкової похибок;
- 2) підсумовування кількісних характеристик складових похибки одного виду (систематичних або випадкових);
- 3) підсумовування кількісних характеристики систематичної і випадкової складових з метою одержання повної похибки [6].

Для оцінювання похибок використовуються три методи (правила, види, форми) підсумовування складових похибок: арифметичне, алгебраїчне і геометричне (квадратичне, статистичне) підсумовування. Існують методи підсумовування складових похибок вимірювання, одержаних або визначених по даним нормативно-технічних, довідкових та інших документів, звітів і інших джерел [6-8].

Одна з груп методів характерна для так званих лабораторних вимірювань, коли оцінювання похибки вимірювань здійснюється в процесі досліджень або після отримання експериментальних результатів, тобто результатів вимірювань [7].

В роботі [5, 7, 8] приведено алгоритми розрахункового оцінювання похибки вимірювання, які в цих випадках складаються з наступних основних операцій:

внесення поправок в результати вимірювань поточних значень шляхом виключення відомих систематичних складових похибки вимірювань;

обчислення оцінки СКО результатів вимірювань поточних значень, за яким при необхідності обчислюють довірчі межі випадкових складових похибок вимірювань;

обчислення довірчих границь ДЗ за винятком складової похибки вимірювань, шляхом побудови композиції розподілу, яка становить не виключену систематичну похибку вимірювання та похибку границь які відомі, з результатів експерименту;

обчислення оцінки СКО і довірчих кордонів похибки вимірювань шляхом побудови композиції розподілу випадкової і не виключеної систематичної складової похибки вимірювань. При побудові композиції розподілу не виключеної систематичної складової похибки вимірювань і границь поправок зазвичай розглядаються, як випадкова рівномірно розподілена величина [8].

Подібні алгоритми розрахункового оцінювання похибки вимірювань практично надзвичайно важко реалізувати при розробці більшості методик технологічних вимірювань, проектуванні інформаційної частини системи управління технологічними процесами.

В таких ситуаціях використовують методи розрахункового оцінювання похибок вимірювань другої групи, її характерна риса розрахунок похибки вимірювань до виконання власне вимірювань, в зв'язку з цим методи другої групи найбільшою мірою відповідають умовам роботи по оптимізації точності вимірювань[9].

Похибку технологічних вимірювань в загальному випадку можна представити трьома основними корельованими складовими: методична похибка, яка властива непрямим методом вимірювань; інструментальна

похибка, яка визначається метрологічними характеристиками засобів вимірювань і допоміжних пристроїв; похибка, яку вносить особа, яка проводить вимірювання[10].

В роботі [11] розглянуто типові джерела і види методичних похибок. Для непрямих вимірювань характерно визначення залежності між вимірюваною величиною і фізичною величиною, яка діє на вході засобів вимірювань або сукупності засобів.

Методична похибка визначається відмінністю реальної функції зв'язку вимірюваної величини від фізичної величини на вході засобів вимірювань від номінальної функції, покладеної в основу вимірюваної величини.

При вимірюванні спряжених деталей з використанням імпульсного струму визначають принципову можливість осадження двох і більш металів і відносний склад сплаву. Нижче вказані величини та прилади для їх вимірювання[12]:

-величини рівноважних потенціалів кожного металу в даному електроліті, катодна поляризація кожного металу, яка вимірюється мілівольтметром М1105;

-відносна концентрація іонів кожного металу, що осаджується, особливо в катодному просторі яку вимірюють рН-метром DLS-02.

Для контролю використовуються прилади та методи з похибками, що становлять не більше 0,35 мкм[13].

Вимірювання в спряжених парах проводиться за допомогою растрового мікроскопа РЕМ JEL1 20. Відомо, що плівка наростає та фіксується на досить не тривалий час і тому необхідно вимірювати її в реальному масштабі часу.

Електрохімічні покриття є одним з напрямків, що забезпечують поверхневий захист на деталях[15].

Вплив кожного окремого фактору може бути врахований, але надзвичайно важко передбачити ефект від одночасної зміни двох або більш вхідних параметрів. При контролі деталей, що використовуються в плунжерних механізмах, захисна плівка складається з мідних сплавів, що

працюють у парі з металом на основі заліза. На рис 1.1 показана вузол кульково-гвинтова пара [14].

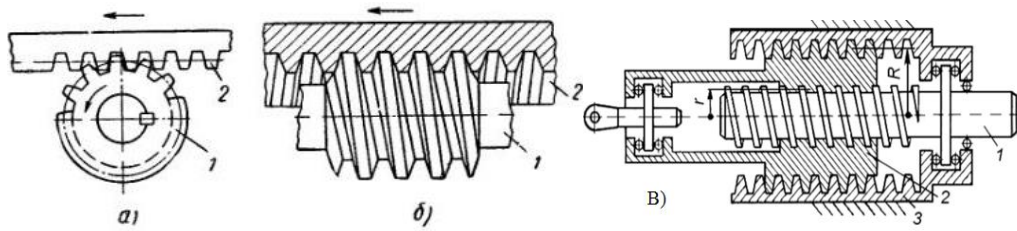


Рис.1.1. Процес випробування кульково-гвинтової пари

Топографія поверхні циліндра насоса рис. 1.2 характеризується дрібними подряпинами а шорсткість вимірюються профілометром-профілографом моделі 201[16].

На сьогодні для контролю технологічного відновлення спряжених деталей використовуються струми (постійний, змінний, синусоїдальний модульований, імпульсний та ін.). Відомо, що імпульсні струми мають різну форму імпульсів (прямокутні, синусоїдальні, експоненціальні, трикутні, трапецієподібні та ін.), для кожного з яких характерні свої особливості до використання.

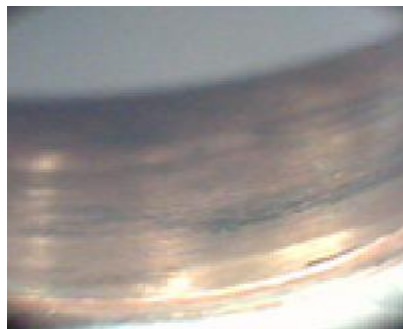


Рис.1.2. Зображення циліндра насоса (мікроскоп МЕТАМ-1(20x))

Незалежно від характеру імпульсного струму (постійний, змінний) в основі механізму їх роботи лежить дія на кристалеву решітку металів. Висока чутливість до дії імпульсним струмом на метал супроводжується зміною структури та фізичних явищ метала. При цьому зміна структури обумовлена силою (амплітудою) струму[13].

В основі механізму дії постійних імпульсних струмів лежать процеси, зумовлені явищами електролітичної дисоціації[12]. Відповідно до цієї теорії електроліти при розчиненні розпадаються (дисоціюють) на позитивні (анод) і

негативні (катод) іони. В електричному полі при використанні односпрямованого струму іони переміщуються в відповідності зі своєю полярністю: катіони рухаються до негативного полюса (катода), а аніони - до позитивного (анода), що веде до зміни іонної кон'юнктури, рН середовища і розвитку явищ поляризації на границі деталь - допоміжний метал. Відзначено високий опір мастил постійному імпульсному струму. Перевагою постійних імпульсних струмів є можливість проведення процедури зрощування, що дозволяє вводити допоміжний метал для відновлення структури спряженої деталі, що забезпечує розвиток пролонгованого ефекту.

При використанні змінного струму, який змінює свій напрямок, за рахунок чого такий струм називають різноспрямованим, полярність електродів постійно змінюється, тому і переміщення іонів також змінює напрямок, в результаті чого змінюється іонна кон'юнктура. Контролюється опір в поверхнево-активних речовинах (ПАР) при дії змінним струмом, що допомагає переносити іони з допоміжного елемента(метал) на спряжену деталь для її відновлення.

Використання ПАР один зі шляхів переносу вільних електронів у рідинах, що позитивно впливають на умови відновлення та зрощування, при цьому відповідно необхідно встановити, за який час будуть відновлені дефекти. Електродний потенціал матеріалу не завжди зручний при враховуванні його до умов переносу, як самого, так і поверхневого матеріалу [8-9, 12]. При осадженні сплавів необхідно враховувати не тільки величину різниці рівноважних потенціалів, але й величину поляризації при відповідних силах струму. Крім зближення потенціалів, як рівноважних, так і катодних, необхідно враховувати стійкість електроліту, до можливого застосування в ньому високих сил струму, при нормальне проходження анодного процесу, підтримці сталості електроліту й ряду інших показників, що характеризують процес. Основним приладом при вимірюванні струму та напруги є вольтамперметр (M2044) класу 0,2 [11].

Відомо, що катодна поляризація це зміна електродного потенціалу в позитивному (негативному) напрямках завдяки течії електричного струму, окремих компонентів сплаву часто відіграє значну роль із погляду можливості осадження сплаву й кількісного співвідношення їх у сплаві[12]. Катодний потенціал включає значення рівноважного потенціалу й величину поляризації.

На сьогодні в літературі відомі описи існуючих методів, моделей, засобів та способи вимірювання спряжених деталей[14, 16]. Однак, в них не має їх комплексного аналізу, розвитку наукових принципів на основі основних напрямків, що характеризуються використанням відповідно детермінованих стохастичних та інформаційних методів дослідження.

Вимоги державних стандартів диктують задачі по забезпеченню єдності вимірювань, достовірності а також високої точності механізмів та засобів вимірювання.

Існуючі засоби та методи вимірювання при випробуванні деталей характеризуються не високою швидкістю, точністю, не призначені для роботи у цехових умовах. Не зважаючи на кількісне зростання засобів вимірювання саме у авіаційній галузі, різко виросла потреба у розробці нових методів вимірювання шорсткості, тиску, сенсорів різного призначення з високими метрологічними характеристиками [16].

У сучасних вимірювальних задачах при випробуванні спряжених деталей виникає необхідність забезпечення високої швидкодії приладових систем що вимагає особливої уваги а також необхідність їх вимірювання в реальному часі з мінімальною похибкою [3, 24].

На рисунку (Додаток Б2) показана класифікація та структура методів та процесів випробування спряжених деталей.

Таким чином, існуюче дослідження направлене на ефективне вирішення великого класу актуальних задач по вимірюванню параметрів спряжених деталей в реальному часі при дії дестабілізуючих факторів, що

відкриває перспективу для створення нового класу вимірювальних систем з реалізацією диференційних методів з похибкою в межах статистичної.

1.2. Засоби та методи вимірювання електрохімічних покриттів спряжених пар

Випробування після відновлення в загальному вигляді можна проводити в чотири основні етапи:

- лабораторне випробування для оцінки різних фізико (хіміко) -механічних властивостей матеріалу;
- лабораторні випробування для визначення впливу різних чинників на відновлення і знос матеріалів;
- стендові випробування для оцінки нових розробок;
- натурні випробування для визначення надійності роботи механізмів або машини в цілому.

В роботі [5] вчені показали, що кожен наступний етап відрізняється від попереднього ступенем наближення роботи матеріалу до реальних умов.

Проведена класифікація методів в роботі [4]. Всі методи вимірювання діляться на дві групи: вибірковий контроль вимірювання деталей, що утворюють з'єднання та непрямим шляхом при випробуванні машини без її зупинки.

Методи визначення геометричних параметрів проводяться з кроком (0.1...1,5) мм. Вимірюванням деталей визначають: мікрометричними засобами вимірювальної техніки (мікрометр, важільна скоба) та лазерними вимірювальними системами. Метод заснований на вимірюванні деталі до і після випробування на зношування. Для якісного виготовлення кульково-гвинтових пар, підшипникових вузлів, насосів, плунжерні пари, надзвичайним є випробування, яке проводиться конструкторами, робота на відмову. На рис.1.3 [16] показано лазерна вимірювальна система

геометричних параметрів (1-лазер, 2-фільтр, 3-лінзи, 4-6- полярний дільник 7-9 –фотоприймачі).

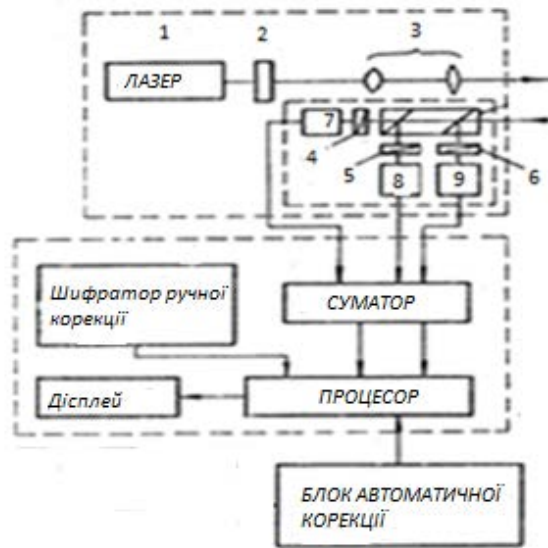


Рис.1.3 Структурна схема лазерної вимірювальної системи геометричних параметрів прецизійних пар

Одиничний показник - показник якості, що характеризує тільки одна з властивостей об'єкта; наприклад, безвідмовність - ймовірність безвідмовної роботи; збереженість - середній термін зберігання, вага, потужність і т.п. [5].

Відносний показник - ставлення одиничного показника до показника базового, виражається у відносних одиницях або відсотках [14].

Базовий показник - показник якості, прийнятий за еталон при порівняльних оцінках якості об'єкта. На відміну від базових показників якості, показники якості аналога (порівнюваного об'єкта) характеризуються відносною чисельної міри значень базових показників [17]. Таким чином, якщо в попередні роки при випробуванні спряжених пар докладали зусилля на скороченні витрат на виконання дослідження, а після його проведення на контроль кожної деталі в цілях підвищенні ефективності виробництва (застосування засобів вимірювання та автоматизації, а також автоматичних аналізаторів спектру та ін.). В той же час виняткова увага приділяється

істинності і достовірності досліджень, засобів метрологічного забезпечення надійності і якості експериментальних досліджень спряжених деталей [13].

Комплексний показник - це показник якості, що характеризує кілька властивостей об'єкта. Він дозволяє характеризувати якість об'єкта в цілому або цілу групу його властивостей [19].

У практиці застосовується кілька різновидів комплексних показників якості, наприклад груповий комплексний показник якості - показник якості, що характеризує групу властивостей об'єкта або властивості групи об'єктів, що входять до складу системи. Іншим різновидом комплексного показника є інтегральний показник якості [20].

Інтегральний показник - комплексний показник, що відображає відношення сумарного корисного ефекту в натуральних одиницях від експлуатації або споживання продукції до сумарних витрат на придбання і використання цього об'єкта за призначенням, тобто ефект, який припадає на грошові витрати. Зростання інтегрального показника може забезпечуватися за рахунок як збільшення корисного ефекту від використання продукції, так і зниження витрат на її створення і експлуатацію. Точність вимірювань зазвичай становить $(0,01 \dots 0,001)$ мм [17].

Як засоби при оцінці зносу методом мікровимірювання застосовуються кінцеві міри довжини, мікрометри, індикаторні нітрометри, важільні скоби, ричажно-механічні прилади, важільно-оптичні прилади, інструментальні та універсальні мікроскопи; по втраті маси - цей метод зазвичай застосовується для визначення зносу невеликих деталей їх зважуванням до і після зношування. Точність цього методу залежить від точності ваг і знаходиться в межах $0,055 \times 10^{-6}$ кг. Втрати маси не рекомендується вимірювати в тих випадках, коли розміри деталі міняються не тільки внаслідок відділення від неї частинок металу, а й через пластичне деформування, а також при визначенні зносу деталей, виготовлених з пористих матеріалів [14].

Як засоби вимірювання використовують різні ваги: приладові ПР-500, аналітичні ВА-200, АДВ-200М, технічні, настільні, закриті ВНЗ-3 та ін.

Методи представлені вище застосовуються як на виробництві, так і при наукових дослідженнях; метод штучних баз, що полягає в обчисленні відстані від поверхні роботи до дна поглиблення, штучно створеного на цій поверхні і закономірно ущільнюється на дно. Ось поглиблення розташована перпендикулярно до поверхні спряженої пари, і лінійний знос поверхні визначають в напрямку цієї осі. Способи нанесення поглиблень (як правило, алмазним або твердосплавним інструментом) різні: вдавненням алмазного конуса, кульки, висвердлюванням, вирізанням лунок. Для визначення зносу циліндрів і поршневих кілець двигунів, що мають діаметр 62,5 мм, застосовується прилад УПОІ-6 заснований на методі вирізаних лунок. На рис.1.4 показана схема контролю кінематичної похибки для контролю після відновлення зубчатого колеса [16].

На сьогоднішній день розглядається декілька способів вимірювання в динаміці. Вимірювання шорсткості без зупинки машини роблять кількома способами:

- за змістом продуктів зносу в відпрацьованому маслі. Цей спосіб, як правило, використовують при стендових випробуваннях, і полягає він у тому, що продукти зносу (металеві частинки і їх оксиди), що захоплюються мастилом, збирають, відбирають з них пробу, спалюють її і по залишкам вмісту металу судять про знос;

- за допомогою радіоактивних ізотопів, коли в досліджуваний зразок вводять радіоактивний ізотоп сурми, вольфраму або кобальту. При зносі зразок омивається мастилом, яке забирає продукти зносу разом з радіоактивним ізотопом [32].

Проходячи через лічильник елементарних частинок, що вимірюють наростаючу в міру зносу радіоактивність мастила, що накопичується в маслі, ізотоп дає можливість судити про знос. Цей метод дозволяє вивчати знос кількох деталей механізмів або машини одночасно. Істотний недолік складність підготовки зразків, а також застосування спеціальної апаратури для вимірювання випромінювання.

Крім описаних методів визначення зносу без зупинки машини, існують спеціальні методи, що дозволяють досить точно визначити знос за допомогою пневматичного мікрометрирування, важільних пристосувань і індикаторів годинникового типу, двох сполучених посудин з діафрагмою в одному з них, індуктивних датчиків, тензометричних датчиків, вихрострумові дефектоскопи.

Мною була проаналізована вихрострумова дефектоскопія, яка використовує три метода вимірювання [4, 13]:

1. Амплітудний метод підвищення чутливості досягається підвищенням частоти резонансу, при збільшенні вихрових струмів індуктивність знижується, частота коливань зростає. Висока чутливість досягається при високому діапазоні частот та добротності контура LC.

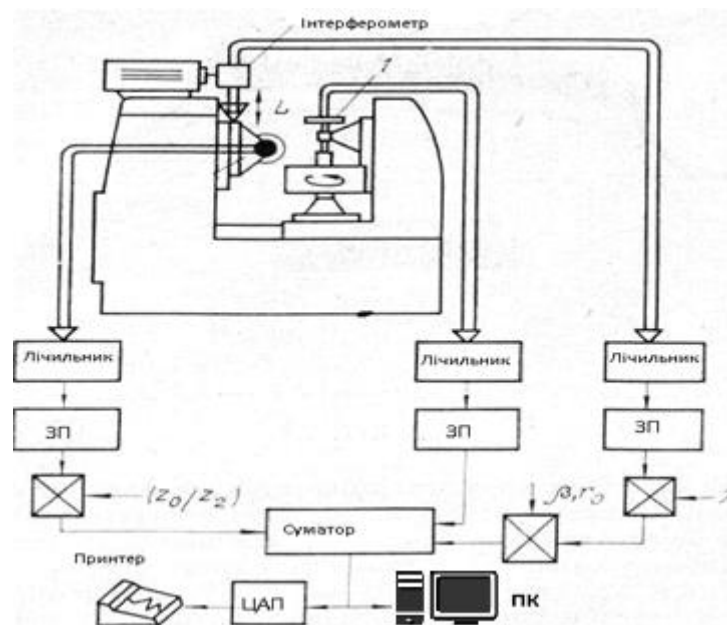


Рис.1.4. Блок-схема визначення кінематичної похибки при вимірюванні деталі

2. Компенсаційний або мостовий метод. Чутливість досягається повним зрівнянням обох пліч схеми включення. Перевага цього методу є висока чутливість у широкому діапазоні частот.

Недоліки: складність реалізації.

3. Метод використання диференційного датчика рис.1.5.

Перевага: простота реалізації електричної частини.

Недолік: складність реалізації датчика.

При аналізі випробування при відновленні спряжених деталей використовуються різні методи контролю відновлення прецензійних деталей. Один з цих методів є метод магнітної індукції з використанням імпульсного модульованого струму.

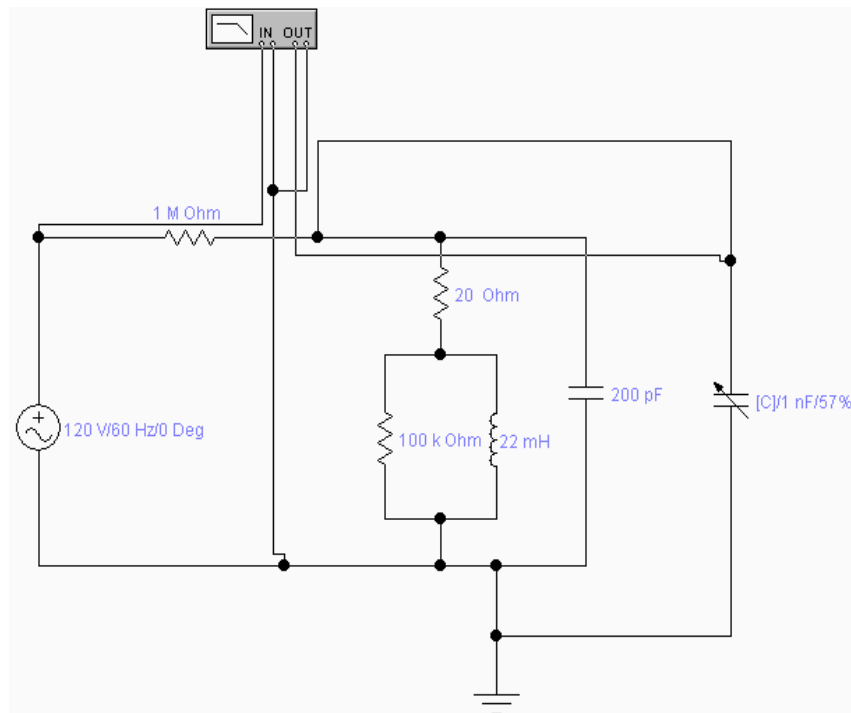


Рис.1.5 Схема включення вихрострумowego датчика з стабілізацією частоти резонансу

На сьогоднішній день є прилади, які використовують резонансний метод для контролю поверхні деталі після відновлення, наприклад прилад DVP102 – система для вихрострумової дефектоскопії [4, 13].

При вимірюванні відновлених спряжених деталей можливі різні похибки. В даній роботі вони визначені та компенсовані. Похибки перетворення класифікуються за наступними критеріями: характером прояву; характером залежності від значень вхідної величини; характером зв'язку з динамічними характеристиками вхідної величини; причинами виникнення;

часовими характеристиками параметрів; за видами інформативного параметра.

За характером прояви похибки поділяються на систематичні і випадкові. Систематичні похибки постійні у всьому діапазоні перетворення або змінюються за певним законом у функції від часу або від певного дестабілізуючого фактора. Випадкові похибки характеризуються відсутністю явних функціональних залежностей від зазначених величин. При багаторазових перетвореннях одних і тих же значень вхідного параметра ці похибки приймають різні значення.

За характером залежності від значень вхідної величини систематичні похибки поділяються: на адитивні; мультиплікативні; нелінійні; комбіновані. Адитивні похибки (похибки «нуля») мають постійне значення (в абсолютному виразі), яке не залежить від вхідної значення у всьому діапазоні зміни вхідного сигналу і призводять до паралельного переміщення вихідної характеристики перетворювача. Прикладами адитивних похибок можуть служити: зона нечутливості, похибка люфту, гістерезис; неузгодженість нулів і т. п. Мультиплікативні похибки (абсолютні) прямо пропорційні значенням вхідної величини і визначаються зміною кута нахилу функції перетворення (зміною масштабу перетворення). Нелінійні похибки (абсолютні) мають нелінійні характер зміни в функції від вхідного переміщення. Окремий випадок нелінійної похибки - циклічна похибка, що викликається різного роду механічними биттям, фазовими спотвореннями і т.п. Циклічний характер мають систематичні похибки перетворювачів, побудованих на трансформаторних датчиках електромашинного виконання. Комбіновані похибки визначаються сумою адитивної, мультиплікативної та нелінійної похибок [34].

За характером зв'язку з динамічними характеристиками вхідного сигналу похибки можуть бути: статичними; динамічними. Статична похибка відповідає режиму перетворення постійного або повільно мінливого (в порівнянні з часом перетворення) сигналу. Динамічна похибка є додатковою

складовою, обумовленою зміною величини, що перетворюється. Динамічні похибки можуть бути пов'язані: з динамічними характеристиками (інерційністю) датчиків, елементів і вузлів перетворювача; кінцевим часом аналого-цифрового перетворення; інтерполяцією перетворення в проміжку між сусідніми (за часом) відліком. Кінцевий час перетворення позначається не тільки на похибки визначення моментів часу, до яких відносяться результати перетворення, але і на додаткових похибках самого перетворення (наприклад, в перетворювачах безпосереднього зчитування з послідовним опитуванням розрядів). Значення динамічної похибки також залежить від динамічних властивостей вхідного сигналу і використовуваного методу перетворення [32].

З причин виникнення похибки прийнято ділити на дві групи: 1) методичні; 2) інструментальні.

Методичні похибки обумовлені недоліками обраного методу перетворення (похибки: інтерполяції, лінеаризації характеристик нелінійних датчиків, квантування, апроксимації функціональних залежності; впливу навантаження, внутрішнього опору джерел живлення, ірраціональності передавального відносини рейкового зачеплення в перетворювачах лінійних переміщень з кутовими датчиками і т. п.).

Інструментальні похибки визначаються динамічними властивостями властивостями елементів, що входять в структуру перетворювача переміщень, і в залежності від джерела похибок діляться: на основні; додаткові. Основна похибка може мати технологічний, конструктивний або експлуатаційний характер і визначається при нормальних значеннях факторів. Додаткова похибка виникає внаслідок зміни параметрів перетворювача під впливом виходу зовнішніх або внутрішніх факторів за межі нормальних умов. До внутрішніх відносяться: несиметричність сигналів, коливання частоти живлення, мінливість навантаження і т. п. До зовнішніх – електричне поле, температура, вологість, вібрація і т.п. [33].

Похибки оптоелектронних перетворювачів складаються з похибок: виконання заходів (крок проходження, ширина, напрямок), розташування заходів (перекіс, непаралельність площини, нерівномірність зазорів), розташування випромінюваних і чутливих елементів.

За часовими характеристиками похибки поділяються на постійні та змінні. Постійні похибки не змінюються протягом часу перетворення або періоду експлуатації перетворювача. Змінні похибки змінюються в часі за певним законом. З безлічі видів змінних похибок можуть бути виділені прогресивні і періодичні похибки.

Прогресивні похибки відрізняються монотонним (зростаючим або спадаючим) характером зміни; періодичні похибки характеризуються періодом зміни значення і знаком. В таблиці 1.1 показано класифікація похибок перетворювачів переміщень[37].

Таблиця 1.1

Класифікація похибок перетворювачів переміщень

Принцип класифікації	Вид похибок
Характер прояву	Випадкові
Характер залежності від вхідної величини	Адитивні; мультиплікативні (прості, накопичені); нелінійні (довільні, циклічні);
Характер зв'язку з динамічними	Статичні; динамічні (джерела: інерційність елементів, час перетворення, інтерполяція)
Причини виникнення	Методичні (джерела: інтерполяція, квантування, ірраціональність, апроксимація, вплив
Часові характеристики	Постійні; змінні: випадкові, прогресивні, періодичні
Вид інформативного параметра	Амплітудні, фазові, частотні, часові

Виникнення похибок вимірювань обумовлено впливом різноманітних за фізичною природою факторів, що супроводжують вимірювання (таблиця 1.1).

Традиційний аналітичний підхід до визначення похибок полягає в їх поділі на складові, кожна з яких зумовлена певними факторами. Це дозволяє досліджувати джерела складових похибки, проводити необхідні експерименти, в тому числі допоміжні вимірювання, як наслідок, визначати властивості похибки та з необхідною точністю оцінити її складові. Істинне значення фізичної величини абсолютно точно визначити неможливо. Кожне вимірювання дає значення визначуваної величини x з деякою похибкою Δx .

Це значить, що істинне значення $x_{іст}$ лежить в інтервалі:

$$x_{вим} - \Delta x \leq x_{іст} \leq x_{вим} + \Delta x \quad (1.1)$$

де $x_{вим}$ – значення величини x набуте при вимірюванні; Δx - характеризує випадкову складову похибки вимірювання величини x . Величину Δx називають невизначеністю типу А (систематична складова похибки), з якою визначається x [36].

Процес випробування відновлених деталей здійснюються як на етапі розробки методу відновлення, так і при серійному відновленні деталей на виробництві. При розробці методу відновлення відремонтовані деталі випробовують на: точність, шорсткість, міцність, теплостійкість, вібростійкість, геометричні розміри деталі.

Випробування деталей при розробці методів відновлення проводять на експериментальних установках. Експериментальні установки дозволяють: проводити точні вимірювання, виробляти випробування в натурних вузлах і машинах, що дозволяють виконувати випробування в умовах, близьких до експлуатаційних.

В умовах виробництва, випробування відремонтованих деталей зводяться до перевірки точності обробки і неруйнівного контролю.

Параметри деталей при випробуванні визначають приладами: механічними, пневматичними, оптичними та електричними.

Геометричну точність перевіряють спеціальними інструментами для вимірювання довжин, кутів, шорсткості поверхні. Спеціальними приладами користуються для визначення точності вимірювання окремих деталей - зубчастих коліс, кульково-гвинтової пари, підшипників кочення. Контролюється також непрямокутність, шорсткість поверхонь і точність кінематичних ланцюгів[10].

Для оцінки якості ремонту при дослідних випробуваннях проводять випробування деталей на зношування. Під час цих випробувань визначають: механічні втрати без навантаження, втрати при навантаженні, залежність ККД від навантаження.

Під час приймальних і періодичних випробувань відремонтовані деталі також піддаються випробуванню на шорсткість з використанням профілометра – профілографа моделі 204 [16].

Зношування деталей оцінюється при лабораторних, стендових, експлуатаційних випробуваннях.

Одним з найбільш поширених способів оцінки зносу деталей є мікровимірювання. При мікровимірюванні лінійний знос визначається за допомогою вимірювання розмірів деталей наступними засобами вимірювання, а саме мікрометром, мікроскопом ДИП6, індикатором ИЧ10, ричажною скобою та ін. Також знос деталі можна визначати зважуванням, в ході якого встановлюється сумарний знос по втратах маси з поверхонь роботи.

Ще один прогресивний спосіб діагностики зносу деталей - метод вбудованих датчиків, який дозволяє визначати знос за допомогою фіксації зміни лінійних розмірів, для чого використовуються тензодатчики, вихідні сигнали які реєструються осцилографом. Метод штучних баз дозволяє визначити значення зношення по зміні розмірів, штучно нанесених заглиблень, виконаних на зношеній поверхні.

Поглиблення виконують: вирізанням лунок, свердлення конічних отворів, відбитками в формі конуса або піраміди.

У відремонтованих механізмах рекомендується оцінювати характеристики вібрації і шуму. Спектри шумів досліджують за допомогою шумомірів, що складаються з датчика, підсилювача і показчика шуму в децибелах. Оцінка рівня вібрації прецизійних пар та механізмів проводиться за допомогою п'єзоелектричних датчиків, потім сигнал обробляється і фіксується за допомогою осцилографа та АЦП і виводиться на екран комп'ютера. Рівень вібрації на різних частотах дозволяє оцінювати стан окремих підсистем і деталей випробовуваного механізму.

Вчені які займалися сучасним станом контролю шорсткості не займалися питаннями вибору номенклатури засобу вимірювання при контролі спряжених пар. При розробці та експлуатації вперше в дисертаційній роботі був зроблений вибір засобів вимірювання безрозбірним методом для приладової системи вимірювання шорсткості в робочих умовах.

По визначенню автора [5] на хімічні процеси вибіркового переносу впливає комплекс систем: зниження тиску на контакт, зниження деформації, зниження опору зрушенню; вплив дисперсних часток у зону контакту й нарощування плівки; запобігання окиснення металу утвором полімерної плівки. Сам ефект не укладається у звичні рамки квазірівносних процесів. Він полягає в переході поверхневого шару в стан, який автори назвали "рідиноподібними"[5]. Ефект незносності реалізується застосуванням металовмісних матеріалів, величина дисперсності яких не повинна перевищувати (10...15) мкм.

При дослідженні технічного стану спряжених вузлів літака «МУЛ» на різних етапах його експлуатації було виявлене явище мимовільного утвору тонкої плівки міді на поверхнях деталей важко-навантажених вузлів при роботах спряженої пари сталь – бронза й змащуванні спиртогліцериновою сумішшю. Плівка міді товщиною (1...2) мкм у процесі роботи покривала як бронзу, так і сталь. Вона різко знижувала зношування пари та зменшувала

силу зношення приблизно в 10 раз. Основою теорії роботи спряжених пар є сервовитна плівка на поверхні спряжених деталей [8]. Процеси деформації не руйнують її та нівелюють площі, які не беруть участь у роботі. Процес не нескінченний, після того як поверхня збагачується міддю, розчинення припиняється й установлюється режим вибіркового переносу. У статті [9] представлені результати прецизійного експерименту з використанням приладів цифрового вольтметра В7-40, осцилографа С1-98, генератора ГЗ-34. Виявлене формування структури граничного шару шляхом відновлення з виділенням металу комплексно утворюваного на поверхні деталі. З вище вказаних характеристик плівка яка з'являється між двома спряженими деталями мало вивчена при вимірюванні шорсткості спряжених деталей. Необхідно додавати її похибку при вимірюванні шорсткості.

1.3. Стандарти та сертифікація процесу випробування в спряжених деталях

Одним зі шляхів боротьби зі зношуванням для забезпечення надійності й довговічності техніки широке застосування знайшли електрохімічні технології, використовувані в процесі випробування.

Істотне зниження інтенсивності зношування, провокується створенням вузла робота, у якому поставка матеріалу із зовнішнього середовища визначає негативну ентропію в речовині, при цьому можуть виникати стаціонарні нерівноважні стани з високим ступенем організованості.

Основна мета метрологічного забезпечення випробувань –отримання достовірної вимірювальної інформації про значення показників якості і безпеки продукції. Основні завдання метрологічного забезпечення випробувань[16]:

створення необхідних умов для отримання достовірної інформації позначеннях показників якості та безпеки продукції при випробуваннях;

розробка методу випробувань, що забезпечує отримання результатів випробувань з похибкою і відтворюваністю, які не виходять за межі встановлених норм;

розробка програм випробувань, що забезпечують отримання достовірної інформації про значення показників якості і безпеки продукції та їх відповідність встановленим вимогам;

проведення метрологічної експертизи програм і методики випробувань забезпечення перевірки засобів вимірювальної техніки, які використовуються в сферах поширення державного метрологічного контролю і нагляду і застосовуваних для контролю параметрів випробуваної продукції, характеристик умов випробувань, умов і параметрів безпеки праці та стану навколишнього середовища [12];

забезпечення калібрування засобів вимірювальної техніки, що не підлягають державному метрологічному контролю і нагляду [6, 7];

підготовка персоналу випробувальних підрозділів до виконання вимірювань і випробувань, технічного обслуговування і атестації випробувального обладнання.

Методика розрахунків зношування полягає в тому, що послідовно виконують наступні операції:

- визначають навантаження, що діє на спряжений вузол;
- визначають деформацію поверхні деталі при дії цього навантаження, площу, форму плями контакту й величину діючих контактної напруги (для їхнього визначення використовується метод об'ємних кінцевих елементів і відповідне програмне забезпечення);

- на кожному з елементів розбивки площі контакту визначають фактичну площу контакту A_r і фактичний тиск P_r роботи, що змінюються залежно від режиму, вузлів робота, наприклад, для авіаційних виробів: запуск, прогрівання, режим руління, зліт, набір висоти, крейсерський режим, посадка, гальмування й т.п. [12].

Зношування на кожному майданчику розбивки $Jt = \varphi(\sigma_{ki})$, визначається з урахуванням цих режимів і їх тривалості.

При подібних уточненнях результати розрахунків дають непоганий збіг прогнозу й реального зношування.

На закінчення відзначимо, що найбільш істотним у всій наведеній розробці, на мою думку, є те, що кінетичний підхід до моделювання зношування дозволяє в зручній математичній формі враховувати різноманітні процеси різної природи (механічні, хімічні, теплові, акустичні й ін.), що мають місце при роботі й руйнуванні поверхонь [12].

Контроль ступеню відновлення спряженої пари здійснювали по зміні геометричних та вагових параметрів. Для цього необхідно відновлювати поверхню деталі таким чином, щоб необхідний елемент або їх група осаджувалася в зону найбільшої енергетичної нестабільності матеріалу на поверхні деталі при електрохімічному методі.

У даній дисертаційній роботі розглядається випробування деталей, яке здійснюється подачею імпульсного електричного струму на з'єднання деталей. Це дає можливість прискорити рух заряджених часток (насамперед іонів міді) в обсязі масляного шару й направити їх на відновлювану поверхню деталі та її випробування. Крім цього, змінюючи напругу й щільність струму, можна керувати силою, що діє на іони металу, а також напрямком і швидкістю їх руху. Як показують експериментальні дослідження й теоретичні оцінки для здійснення цього впливу необхідні невеликі значення електричних характеристик: напруга – (10...30) В; сили струму – (0,005...5,0) А [8].

Аналіз впливу імпульсів струму на структуру металів вивчали автори [12, 44], які указують на зміну кристалічних ґрат металу при щільності струму 100 mA/m^2 , розбудовуючи електропластичний ефект.

Виявлено що, після обробки зразка імпульсним струмом поліпшується плосконапружений стан поверхневого шару [12]. Зміна приповерхневої

структури металу стає більш однорідним, де в тонких шарах реалізується плосконапружений стан матеріалу.

1.4. Постановка наукової задачі

При аналізі літератури можна зробити такий висновок: при випробуванні та виробництві необхідний більш якісний підхід до контролю параметрів спряжених деталей з використанням новітніх вимірювальних технологій, та зменшення похибки при вимірюванні, а також видалення паразитних похибок при знятті інформації з датчиків контролю.

Проведений аналіз існуючих підходів до побудови методів та моделей вимірювання деталей при випробуванні вимагає подальшого вдосконалення приладових систем, які б забезпечували:

1. В повній мірі відображено метрологічне забезпечення проведення випробувань спряжених деталей.

2. Покращення вимірювальних перетворювачів та засобів вимірювання, підвищення їх завадостійкості до впливу їх шумів та розширення діапазону вимірювань.

3. Підвищення точності вимірювання швидкодії що зумовлено широким діапазоном вхідних сигналів, швидкоплинними змінами дестабілізуючих факторів, а також неможливість роботи в цехових умовах.

4. Відсутні стандарти підприємства по проведенню вимірювання при випробуванні спряжених деталей на виробництві.

5. При комплексному врахуванні особливостей випробування та експлуатації спряжених деталей можливо значно підвищити якість деталей на основі створення нових методів та алгоритмів випробування з використанням імпульсного модульованого струму.

Тому, враховуючи вищезазначене, основними задачами даної дисертаційної задачі є розробка нової приладової системи вимірювання деталей та нових підходів до метрологічного забезпечення єдності та

достовірності вимірювань відповідно до вимог міжнародних та державних стандартів.

Висновки до розділу 1

1. Проведено аналіз сучасних методів випробування спряжених пар, та огляд методів вимірювання деталей після відновлення, що дає можливість сказати, що в кожному методі є недоліки та похибки які не усуваються.

2. На підставі проведеного аналізу визначили необхідний напрямок роботи та вибрали напрямок дослідження, визначили прилади та обладнання для створення приладової системи.

3. Визначили стан спряжених деталей при взаємодії вхідних параметрів, обґрунтували основні напрямки для підтримки необхідних (розрахункових) властивостей механізму.

4. Враховуючи недоліки існуючих технологій відновлення, провести моніторинг зміни топографії поверхні деталі й визначити технологічні параметри відновлення досліджуваних сталей у модельних умовах для зменшення похибок при вимірюванні шорсткості деталей.

5. Аналіз методів та засобів вимірювання і контролю при експлуатації спряжених вузлів показав, що основними задачами є метрологічне забезпечення, яке полягає в оптимальному виборі засобів вимірювальної техніки.

Список використаних джерел до розділу 1

1. Дивин А.Г. Методы и средства измерений, испытаний и контроля: учебное пособие. В 5 ч. / А.Г. Дивин, С.В. Пономарев. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. – Ч. 1. – 104 с.
2. Гостев В. И. Методы управления качеством продукции. Крупносерийное и массовое производство / В. И. Гостев. – М.: Машиностроение, 1980. – 264 с.

3. Кострикина И. А. Методика измерения шероховатости объектов высокого класса чистоты / И. А. Кострикина, Л. А. Макаркин // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2019. – № 1 (27). – С. 48–54.
4. Володарський Є.Т. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. / Є.Т. Володарський, В.В. Кухарчук, В.О. Поджаренко, Г.Б. Сердюк – Вінниця: ВДТУ, 2001. – 210с.
5. Нуберт Г. П., Измерительные преобразователи неэлектрических величин, пер. с англ., – Л.: Энергия, 1970. – 370 с.
6. Корнеева Т.В. Толковый словарь по метрологии, измерительной техники и управлению качеством. Основные термины: около 7000 терминов / Т.В. Корнеева – М.: Рус. яз., 1990 – 464 с.
7. Миф Н.П. Оптимизация точности измерений в производстве. – М.: Издательство стандартов, 1991. – С.136. ил.
8. Пиатровский Я. Теория измерений для инженеров [пер. с польск.] / Я.Пиатровский. – М.: Мир,1989. – 335с.
9. Кострикина И. А. Методика измерения шероховатости объектов высокого класса чистоты / И. А. Кострикина, Л. А. Макаркин // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2019. – № 1 (27). – С. 48–54.
10. Величко О.М., Коломієць Л.В., Гордієнко Т.Б. Оцінювання результатів вимірювання: основи і нормативне забезпечення. Підручник. – Одеса: ВМВ, 2010. – 380 с.
11. Цветков Э.И. Методы электрических измерений: Учебное пособие для вузов / Л.Г. Журавин, М.А. Мариненко, Е.И. Семенов, Э.И. Цветков; под ред. Э.И. Цветкова. – Л.: Энергоатомиздат., 1990. – 288 с.: ил.
12. Кравець І.А. Ремонтна регенерація трибосистем / І.А.Кравець. – Тернопіль, Агроінститут. – 2004. – 300 с.
13. Дюрелли А., Холл Дж. Экспериментальная механика: В 2-х кн.: Кн. 2. Пер. с англ./Под ред. А. Кобаяси. — М., Мир, 1990. — 552 с., ил.
14. Тюрин Н.И. Введение в метрологию / Н.И. Тюрин. – М.: Издательство стандартов, 1974 г. – 304 с.

15. Триботехнічні вимоги і показники. Принципи забезпечення. Загальні положення: ДСТУ (ГОСТ) 50740-95. – введено 1.01.1996р. – К.: Вир. Стандарт. 1995. – 26 с.
16. Коронкевич В.П. Современные лазерные интерферометры. / В.П. Коронкевич, В.А Ханов / Новосибирск: Наука, 1985. – 174 с.
17. Зорі А.А. Методи і засоби підвищення точності електронних вимірювальних систем. / А.А. Зорі., В.Д Коренєв., М.Г Хламов – Донецьк: РВА ДонНТУ, 2004. – 140с.
18. ГОСТ ISO/IEC 17025:2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. – М.:Стандартинформ.-2019.- 32 с.
19. Сергеев А.Г. Метрологія : учебник. –М.: Логос, 2005. – 272 с.
20. Курзенков Г.Д. Основы метрологии в авиаприборостроении: Учебное пособие. – М.: Издательство МАИ, 1990. – 312 с.
21. ДСТУ ГОСТ ИСО 5725-1:2005 Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання. Частина 1. Основні положення та визначення.- (Дата введення в Україні 2006-07-01) – 28 с.
22. ДСТУ ISO 9001:2015 Системи управління якістю. ВИМОГИ (ISO 9001:2015, IDT).- 2016-07-01.- 28с.
23. Рабинович С.Г.. Погрешности измерений. – Л.: Энергия, 1978. – 262 с.
24. Проненко В.И. Метрология в промышленности. / В.И.Проненко, Р.В. Якирин. – К.: Техніка, 1979.- 222 с.
25. Земельман М.А. Метрологические основы технических измерений / М.А. Земельман. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 285с.
26. ГОСТ 8.010-99. ГСИ. Методики выполнения измерений. Основные положения. / (Дата введення 2001-06-01). – М.: НПРУП. – 19 с.
27. ДСТУ-Н РМГ 43:2006. Настанова. Метрологія. Застосування “Руководства по выражению неопределённости измерений” (РМГ 43- 2001, IDT). / (введено 2007-01-01). – М.: НПРУП. – 27 с.

28. МИ 2091-90. ГСИ. Измерения физических величин. Общие требования. / (Дата введения 01.01.92). – М.:ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, 1992.-16 с.
29. МИ 1967-89. ГСИ. Выбор методов и средств измерений при разработке методик выполнения измерений. Общие положения. – М.: Издат. Стандарт, 1989. – 24 с.
30. МИ 2083-90. ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей. / (Дата введения 01.01.92). – М.: Изд. Стандартов, 1991.- 16 с.
31. Кухарчук В. В. Метрологія та вимірювальна техніка : [навчальний посібник] / В. В. Кухарчук, В. Ю. Кучерук, В. П. Долгополов, Л. В. Грумінська. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 252 с.
32. Дорожовець М. В. Основи метрології та вимірювальної техніки. Основи метрології. Т. 1 / [Дорожовець М., Мотало В., Стадник Б. та ін.]; за ред. Б. Стадника. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2005. – 532 с.
33. Орнатський П. П. Вступ до метрології науки про вимірювання : [підручник] / П. П. Орнатський. – К.: ІСДО, 1994. – 246 с.
34. Володарський Є.Т. Статистична обробка даних : [навчальний посібник] / Є. Т. Володарський, Л. О. Кошева. – К.: НАУ, 2008. – 308 с. – ISBN 978-966-598-406-1.
35. Васілевський О.М. Статистичні методи виявлення систематичних похибок вимірювань / О.М. Васілевський // Вісник вінницького політехнічного інституту.-2012.-№1.-С.9-12.
36. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии: Учебник для вузов.-М.: Аудит, ЮНИТИ.- 1998.- 326 с.
37. Ціделко В.Д. Основи метрології та вимірювальної техніки : у 2т.: навч. посіб.. / В.Д. Ціделко, Н.А. Яремчук, С.А. Затока та ін. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 1т. – 236с.
38. Кравчук М.А. Определение шероховатости обработанной поверхности. Методические указания для вузов. / М.А Кравчук., С.Э.Крайко, В.К.Шелега. – Минск: БНТУ, 2019. – 25 с.
39. Богданов Г.П. Метрологическое обеспечение и эксплуатации измерительной техники / Г.П. Богданов, В.А. Кузнецов, М.А. Лотонов и др.; Под ред. В.А. Кузнецов. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.

40. Кузнецов В.А. Общая метрология. / В.А.Кузнецов, Г.В.Ялунина. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 272 с.
41. Новицкий П.В. Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. – Л.: «Энергоатомиздат», 1991.– 304 с.
42. Еремеев А.В. Эксплуатационная надежность строительной техники нефтегазового комплекса /А.В.Еремеев. – М.: Недра, 1991. – 263 с.
43. Губарь В. И.Аналого-цифровые измерительные преобразователи переменного тока / В. И. Губарь, Ю. М. Туз, Е. Т. Володарский. – К: Техника, 1979. – 191 с.
44. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология.: Учебник для вузов /И.Ф.Шишкин.– М.: Изд. Стандартов, 1991. – 492 с.
45. Грановский В.А. Динамические измерения. Основы метрологического обеспечения / В.А.Грановский. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 314 с

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПРЯЖЕНИХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ВИПРОБУВАННІ

В дисертаційній роботі досліджується метрологічне забезпечення випробування спряжених пар для створення продукції високої якості.

Процеси вимірювання при випробуванні спряжених пар обумовлюються комплексом механічних, фізичних і хімічних явищ на різних рівнях: макроскопічному, мікроскопічному й субмікроскопічному. Ці складні й різноманітні процеси викликають необхідність створення нових засобів та методів вимірювання метрологічного забезпечення для визначення властивостей на поверхні деталі (шорсткість, мікротвердість, хімічний склад, спектральний аналіз вузла спряжених деталей), які відбиваються на кількісних характеристиках при різних температурах, а також зростанні ентропії процесу.

В методичній частині роботи визначено та розроблено метрологічне забезпечення експериментальної установки для випробування спряжених пар, здатної провести вимірювання фізичних величин та змоделювати умови роботи реального механізму робочого вузла.

Запропоновано новий підхід до вибору оптимальної номенклатури вимірювальної апаратури та виявлені нові інформативні параметри процесу вимірювання, а також приведені нові розробки нестандартних засобів вимірювання та проведено метрологічну атестацію приладової системи.

Основні результати даного розділу надруковані в роботах автора [4, 5, 9, 10].

2.1. Розробка структурної схеми приладової системи вимірювання параметрів деталей

Враховуючи, що механізм поверхонь спряжених деталей найчастіше характеризується, дискретністю процесів, необхідно враховувати методики

вимірювання при випробуванні спряжених деталей, що включають дві особливості. Перша особливість полягає в тому, що процес фрикційної взаємодії можна моделювати та вимірювати на приладовій системі. Друга особливість полягає в тому, що на кожному рівні при використанні імпульсного модульованого струму елементарні процеси взаємодії представляють собою незворотні трансформаційні енергетичні цикли, імпульси дії на структуру металу.

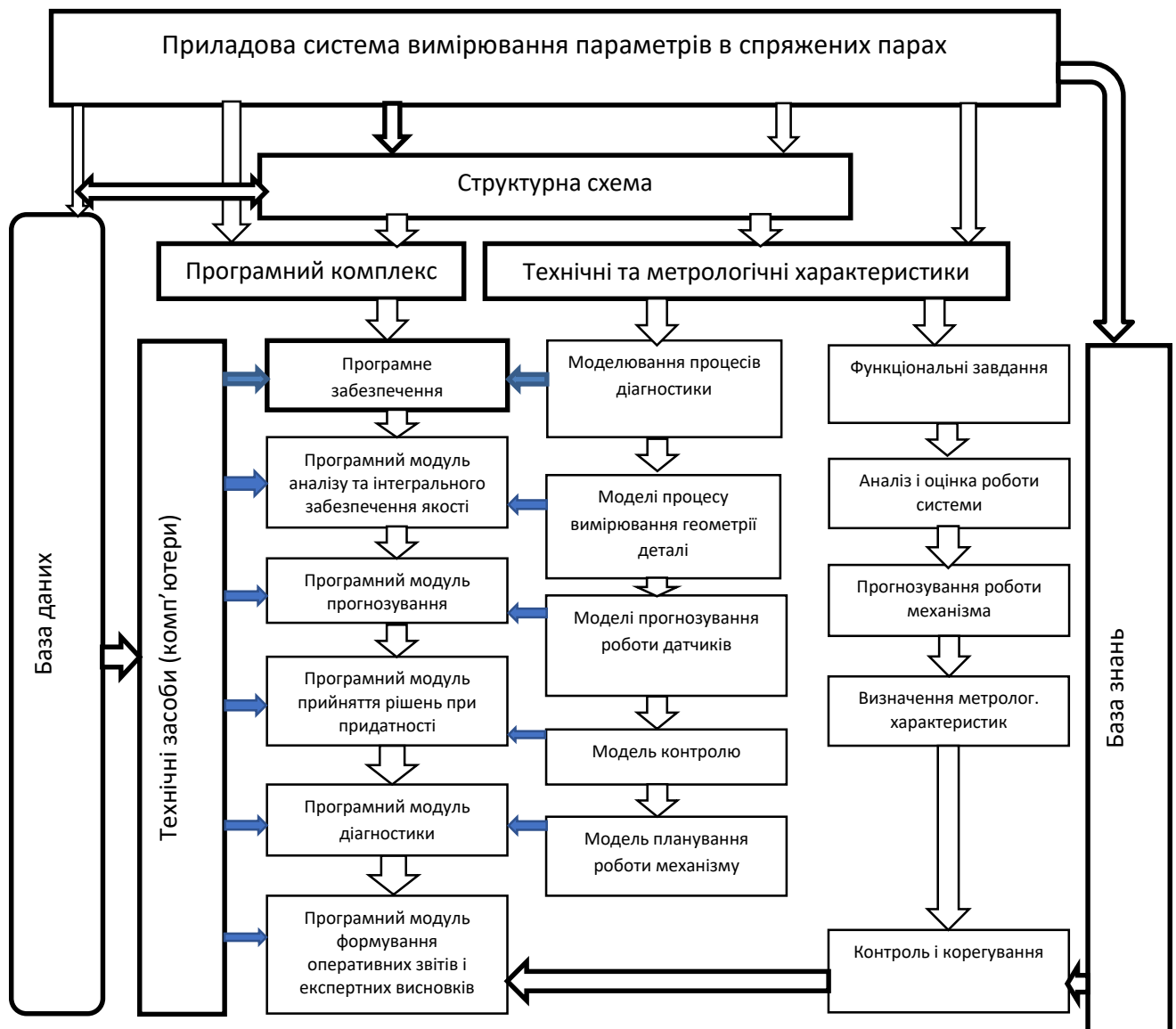


Рис. 2.1. Структурна схема обробки вимірюваних даних

Процес вимірювання в метрологічному аспекті являє собою результат множини елементарних точок дотику датчика шорсткості, контролю електротехнічних та акустичних параметрів. Тому необхідно розробити структурну схему приладової системи вимірювання геометричних та фізико-хімічних параметрів деталей, що відновлюються в великих обсягах циклів з випадковими параметрами та в умовах дії дестабілізуючих факторів.

Для моделювання процесу вимірювання параметрів відновлення, та контролю вхідних та вихідних параметрів необхідно розробити схему обробки даних. Був проведений аналіз та розроблена структурна схема аналогового інтерфейсу обробки вимірюваних даних рис. 2.1.

На сьогодні основними методами вимірювання поверхонь твердих тіл є контактні профілометричні методи. Сучасні механічні вимірювальні прилади, що працюють за контактним принципом ошупування поверхні конусними голками типу профілограф-профілометр «Калібр М-201», М-283, «Абрис ПМ-7», ПМ-300 і багато інших не здатні достатньо точно проводити оцінку якості вимірювання шорсткості поверхні деталі при визначенні шорсткості по параметрах: R_a відношення верхньої межі вимірювання до нижнього має бути не менше 2000 та $R_z = 0,1$ мкм [2], а також вимірювати знос (через голку, яка має певний радіус заокруглення). Крім цього вимірювання на згаданих приладах є трудомістким та малоінформативним, а профілографа будується по двох координатах.

Тому виникає необхідність в проведенні дослідження фізичних явищ в спряжених парах в цілях метрологічного забезпечення проведення випробування.

Виходячи з умов метрологічного забезпечення процесу випробування після відновлення та поставлених завдань визначаємо напрямок досліджень:

1) Вибір методів вимірювання та оптимальної номенклатури засобів вимірювання при випробуванні готових виробів та вивчення стану елементів, що отримані при проведенні експерименту;

2) Розробка методики вимірювання фізичних величин при дослідженні спряжених деталей, яка повинна охоплювати комплекс вхідних параметрів і реєструвати вихідні дані;

3) Розробка методів вимірювання механічних та фізичних величин для зменшення похибки геометричних параметрів вимірювання після відновлення спряжених пар;

4) Вибір оптимальних параметрів контролю та визначення оптимальної номенклатури засобів вимірювання;

5) Моніторинг геометричних параметрів деталей та вимірювання вібраційних параметрів в реальному часі у контактній зоні спряжених деталей.

Будь-який, навіть найпростіший, механізм або складний пристрій завжди має як вхідні характеристики, так і вихідні параметри, які диктуються умовами експлуатації, призначенням пристрою і його можливостями. Вузли механізмів, для виконання певної роботи, сприймають на себе не тільки зовнішні, але й технологічні навантаження, у сукупності з впливом навколишнього середовища (Додаток Бб).

Процес вимірювання фізичних величин при відновленні в енергетичному аспекті представляє собою результат обробки елементарних вхідних параметрів для підвищення властивостей системи, що проходять у мікрооб'єктах, циклічно з випадковими параметрами. Для реалізації мети й відпрацьовування поставлених завдань у даній роботі розроблена модель вимірювання та контролю випадкових процесів [1], подана у вигляді моделі рис. 2.2.

На основі аналізу літературних джерел визначені вхідні параметри (1-5), що представлений на рис. 2.2, які можна розділити на дві групи :

а) технологічні параметри (із властивостями робочого механізму: швидкістю, навантаженням, шлях проходження спряжених деталей, напруга, хімічний склад речовини)

б) сукупністю технологічних складових, які задаються згідно із проектною документацією, в тому числі техніческих документації.

В цілях метрологічного забезпечення випробування спряжених пар необхідно провести вимірювання геометричних характеристик, а саме шорсткість, профіль, зноси, при проведенні випробування після відновлення спряжених деталей.

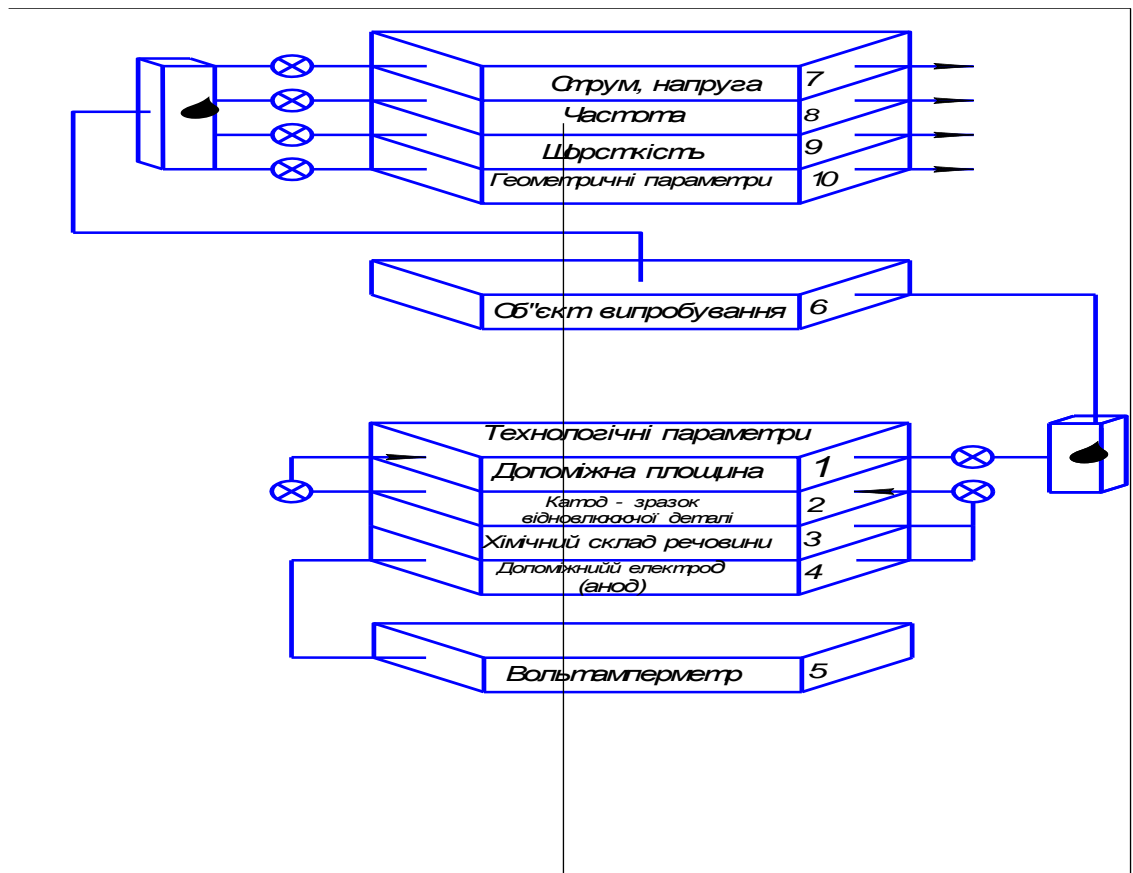


Рис. 2.2. Модель отримання інформаційних параметрів при випробуванні спряжених пар.

Значення напруги в блоці (5), подано через допоміжний електрод (4), який виконує функції анода в електричному колі, через використовуване

середовище ПАР (3) та зразок (2), який служить катодом у тому ж електричному колі.

Залежно від енергетичного стану спряжених деталей, що сформувалася в об'єкті контролю (6) на виході з нього одержуємо вихідні дані. Енергетичний стан спряжених деталей визначається взаємодією двох поверхонь. В експериментальній частині вони розділені на зразок (2) та допоміжну площину (1). Взаємодія технологічних параметрів системи, що полягає з напруги (5), допоміжного електрода (4), зразка – катода (2) і робочого середовища ПАР - переносника іонів металу (3), також вплив допоміжної площини (1) становлять систему для переносу матеріалу між поверхнями спряжених деталей. Основним невивченим і закритим об'єктом моделі залишається чорний ящик (6), у якому підсумуються всі вхідні параметри (1...5) на рис.2.2 і видаються як результат контролю геометричних параметрів (10) або параметр шорсткості (9) з характеристикою струму та напруги (7) у ланцюзі з геометричними параметрами (8).

Таким чином, увесь обсяг вхідних факторів, взаємодіючий між собою, прагнуть зрівноважити внутрішній енергетичний баланс із зовнішньою системою. Під дією експлуатаційних параметрів енергетично балансує, створює захисну оболонку у вигляді електрохімічного захисту поверхні, в якій потрібно встановити кількісні параметри.

Процеси, що відбуваються в об'єкті контролю, формуються на поверхні матеріалу під час взаємодії між собою за рахунок енергетичної складової при взаємодії, створюючи при цьому захисні з'єднання, названі захисна плівка (ЗП), що володіє мінімальним значенням внутрішньої енергії. На рис. 2.3 представлена модель розкритого об'єкту (системи) контролю та перераховані фактори характеризуючи стан системи (Ф1...Ф6) [1, 3].

До першої групи відносяться фактори, що характеризують внутрішній стан металу. Їх дуже важко врахувати в умовах відносного переміщення двох спряжених площин.

У другій групі (Ф7...Ф12) сконцентровані взаємодії деталей машини між собою й технологічність конструкції, що визначаються заготівельними операціями сполучених деталей, що впливають на параметри поверхні.

Умови експлуатації спряжених деталей є визначальними факторами, під які підбираються й розробляються поверхневі покриття й умови їх відновлення. На частку експлуатаційних параметрів (Ф13...Ф17) припадають умови взаємодії механізму із середовищем і внутрішнього зв'язку між собою. Практично кожний з множини представлених факторів може змінити потужність, навантаження на деталь, а іноді й напрямок дії процесу роботи. Сукупність вхідних, експлуатаційних і інших факторів ускладнює завдання переносу матеріалу в умовах електрохімічного впливу



Рис. 2.3. Сукупність властивостей і факторів що беруть участь при випробуванні.

Теоретично необхідно розробити методику прогнозування, умов контролю спряжених пар, які утворюються при випробуванні. В основному вони вимагають індивідуального підходу до методів електрохімічного захисту, з урахуванням зовнішніх впливів середовища, умов роботи й сукупності матеріалів.

Основними напрямками дослідження є метрологічне забезпечення випробування деталей та розробка методики вимірювання геометричних параметрів в тому числі шорсткості, товщини плівки з використанням імпульсного модульованого струму для мінімізації похибки вимірювання та компенсації інформативної складової.

Для метрологічного забезпечення випробування спряжених деталей відіграє важливу роль аналіз похибок вимірювання спряжених деталей. Тому необхідно розробити математичну модель визначення похибок по основним контрольованим параметрам, а саме струм, тиск, напруга, геометричні параметри та шорсткість.

2.2. Методика підвищення надійності приладової системи при випробуванні спряжених пар

Надійність системи дуже важливий фактор який складається з багатьох параметрів, електрохімічний склад металів є один з таких факторів. Авторами в роботі [3] було доведено, що при випробуванні деталей із сталі 45 у середовищі ПАР необхідно 19 секунд для утворення плівки, це в стаціонарному режимі, при товщині плівок (20...30) мкм. Встановлено, що на поверхні деталі утворюються плівки товщиною 20 мкм, яку виміряли за допомогою мікроскопа РЕМ-20. Після проведення електрохімічної обробки в ПАР (ПЕГ-400) спостерігається, що товщина плівка не збільшується. Це

пов'язано з механічним стиранням, розтріскуванням і віднесенням часток плівок із зони роботи деталей.

Наявність захисної плівки між робочими поверхнями спряжених пар при роботі можна оцінити по зміні електроопору (мегомметр Ф4108/1), яке залежить від середньої товщини захисної плівки та кількості розривів плівки в точках фактичного контакту. Контроль електроопору повинен проводитись в процесі роботи вузла з високою точністю.

Здійснити контроль (тобто провести моніторинг), у динамічному режимі без спеціальних пристосувань для шарикової та гвинтової пари зупинки з подальшим розбиранням, не представляється можливим. Умови моніторингу реалізовували за допомогою деформаційно-спектрального аналізу, запропонованим в даній роботі, де алмазним щупом знімалися дані поверхневої деформації й будувалися графіки структурного стану поверхневого шару. Використання вібраційних (акустичних) параметрів спряжених пар вивчалися під керівництвом авторів [7, 8], де фіксувалися зміни поверхневих характеристик у спряжених парах.

Розроблений контрольно-вимірювальний комплекс (приладова система), а також методичний підхід [9] проведення моніторингу на поверхні спряжених деталей дає можливість вимірювати геометричні параметри при відновленні.

Базуючись на технологіях методів зносостійкості необхідно проводити вимірювання в динамічному режимі переміщення матеріалу з допоміжного електрода на робочу поверхню з використанням цифрового вольтметра В7-40 вимірюючи напругу і струм через кожні 20 с. після початку випробування деталей. Для цього використовували методику по вимірювання електрохімічного процесу.

Після відмовлення застосовують методи і пристрої для вимірювання акустичних (вібраційних) і п'єзоелектричних параметрів деталей. Для цього використовують прилад ВШВ-003М1, який може вимірювати в октавних

полосах частот. Поряд з основним застосуванням акустичних (вібраційних) та оптичних методів для цілей обробки інформації ці методи ефективно використовуються для вимірювань основних властивостей матеріалів (шорсткість, електроопір плівки, товщина захисної плівки, акустичні характеристики спряженого вузла) і параметрів різних матеріалів.

Акустичні властивості кристалічних та ізотропних середовищ надійно і з достатньою точністю реалізуються при простій апаратурній реалізації, визначаються акустичними, оптичними методами лазерного контролю та виміру. При цьому використовуються і метод картин Шеффера-Бергмана, і метод «тіньової» візуалізації, і кореляційний метод вимірювання фазової швидкості акустичних хвиль. Дуже важливими при технічному застосуванні є характеристики загасання акустичних мод різних напрямків і поляризації. На сучасному етапі найбільш простими і досконалими методами визначення цих характеристик виявляються акустичні та оптичні методи, які дозволяють в реальних ситуаціях з заданою точністю вимірювати частотні залежності.

Випробування деталей проводили на нормалізованій сталі 20, алюмінії, міді. Життєдіяльність механізму залежить від здатності спряжених деталей перебувати в розрахункових параметрах і виконувати роботу, яка прямо залежить від зміни й стабілізації їх роботи. При проведенні випробування розроблена методика вимірювань на приладовій системі, яка забезпечує контроль спряженої деталі за допомогою імпульсного модульованого струму з аналізом точності та ефективності роботи. Розроблена часова діаграма координат руху на кінцевому інтервалі часу.

Запропонована приладова система що дає можливість використовувати імпульсний модульований струм для випробування спряжених деталей. Приладова система включає в себе два індуктивних датчика, датчик для ВШВ-003М1, веб-камера, механічний вузол вимірювання, мікроскоп.

Основними метрологічними характеристиками даного приладу є діапазон вимірювання (мкм), роздільна здатність, похибка вимірювання, АЧХ, динамічна похибка, мережевий інтерфейсу, блок живлення.

Для забезпечення уніфікації підключення між датчиком та виконуючих пристроєм використано інтерфейс RS-232 що дає можливість використання різних датчиків. Для підключення основного модуля системи, розроблена плата підключення та контролю, що дає можливість зручного розташування компонентів, розроблений модуль з'єднується з основним блоком стандартним інтерфейсом RS-232.

Для проведення випробування використовуються такі функції системи:

1. Налаштування апаратної частини контролера та ініціалізація контролера інтерфейсу RS-232.

2. Запускається цикл вимірювання відповідно до частоти імпульсного модульованого струму 0,1-10 МГц.

3. Таймер циклічного процесу вимірювання видає періодичні сигнали, які є якістю джерела подій вимірювання дефекту на поверхні деталі з похибкою 0.1 %.

4. По комутаційній шині передаються значення після фільтра Калмана, що відсікає паразитні похибки, які наводяться на поверхні деталі при використанні модульованого струму.

5. Після надходження вихідного сигналу після закінчення циклу вимірювання, данні з пам'яті контролера передаються на АЦП і в комп'ютер де обробляються спеціальним програмним забезпеченням "SpektrLab".

6. Для оптимізації ресурсів ПК, структура програмного забезпечення розділена на три модуля. Запуск яких здійснюється на початку імпульсного модульованого струму, в реальному часі за допомогою розробленого апаратного переривання.

7. На початку вимірювання на індуктивні датчики діє паразитна індукція, але в запропонованій приладовій системі передбачається компенсація, що зменшує похибку до 0,1%.

8. Для візуального контролю був використаний мікроскоп, що дозволяє контролювати кінетику утвору вторинних структур на поверхні деталі. При цьому, можливо фіксувати топографію поверхонь контакту у процесі напрацювань, при різних параметрах роботи спряженого вузла. Данна приладова система дозволяє одночасно фіксувати швидкість росту плівок на веб-камеру. Приладова система представлена на рис. 2.4 [9].

Розроблена приладова система рис. 2.4 дозволяє провести моніторинг параметрів системи в динамічному режимі поверхонь спряжених деталей.



Рис. 2.4. Приладова система для дослідження метрологічних характеристик спряжених деталей

У процесі наробітку визначити якість і геометричні розміри деталей. Для цього під скло розташовуємо металографічний мікроскоп Микрон-8, у систему лінз якого вмонтована веб-камера зі стандартним комп'ютерним програмним

забезпеченням. Площина спряжених деталей перебуває на оптичній осі мікроскопа і веб-камери, тому процеси, що відбуваються на поверхні зразка, можливо спостерігати на екрані комп'ютера також записувати на електронні носії. По схемі спряжених пар палець-площина, зразок діаметром (3...4) мм проходить шлях приблизно в 90 разів більший на поверхні скла до наступного зіткнення з тією ж позицією. Використовуючи механізми переміщення каретки зі зразком, положення зразка стосовно поверхні скла можна змінювати. Таким чином, можливо проводити чистий експеримент по практично новій поверхні, що значно піднімає якість досліджень [8, 9].

Доведено, що практично візуальне спостереження за поведінкою продуктів зношування поблизу зони роботи дозволяє зробити експрес аналіз їх розмірів і характеристик зовнішнього вигляду й місце розташування.

Метрологічне забезпечення систем управління якістю виробів в процесі вимірювання виявляється багатьма факторами, серед яких є більш впливовим контрольно-вимірювальна техніка, вимоги до допусків на параметрах виробів, ефективність прямих та зворотнім зв'язком в системі і можливість оперативного управління технологічним процесом. Міркування свідчать про можливість прийняття критерія метрологічного забезпечення випадкової величини P , представляє собою можливість показу інформаційного параметра виробів X в рамках допусків $\pm D$ після закінчення операцій контролю.

В загальному виді критерій, введений В.М. Криксуновим, характеризуючи інформаційну взаємодію в системі «об'єкт-вимірювальний прибор», має вид

$$P(t) = P\{\pi(t) \in D_0\}, \quad (2.1)$$

де $\pi(t)$ – вихідні параметри виробів; D_0 – область допустимих значень інформаційних параметрів [6].

Метрологічні властивості вимірювальних приладів визначається його похибкою яка буває випадковою величиною, розподілена з деякою щільністю.

При вимірюванні в процесі відновлення спряжених пар можливо виміряти частотні сигнали за допомогою осцилографа С1-98, вимірювальний комплекс обладнаний датчиком для зняття акустичних параметрів ВШВ-003. Частотні характеристики виводяться на екран комп'ютера програмним забезпеченням Spectralab – це потужний двоканальний спектроаналізатор, який обробляє вхідний сигнал у реальному часі, так само як і записані аудіо файли з можливістю запису на зовнішні носії.

Для точності виміру й зменшення впливу сторонніх сигналів від працюючих механізмів усі деталі установки виготовлені з неметалевих матеріалів. Підшипники виготовлено із фторопласта-4, їх робоча частота коливається в діапазоні середніх значень від (700...950) Гц, каретка із закріпленим зразком має частоту коливань близько 800 Гц.

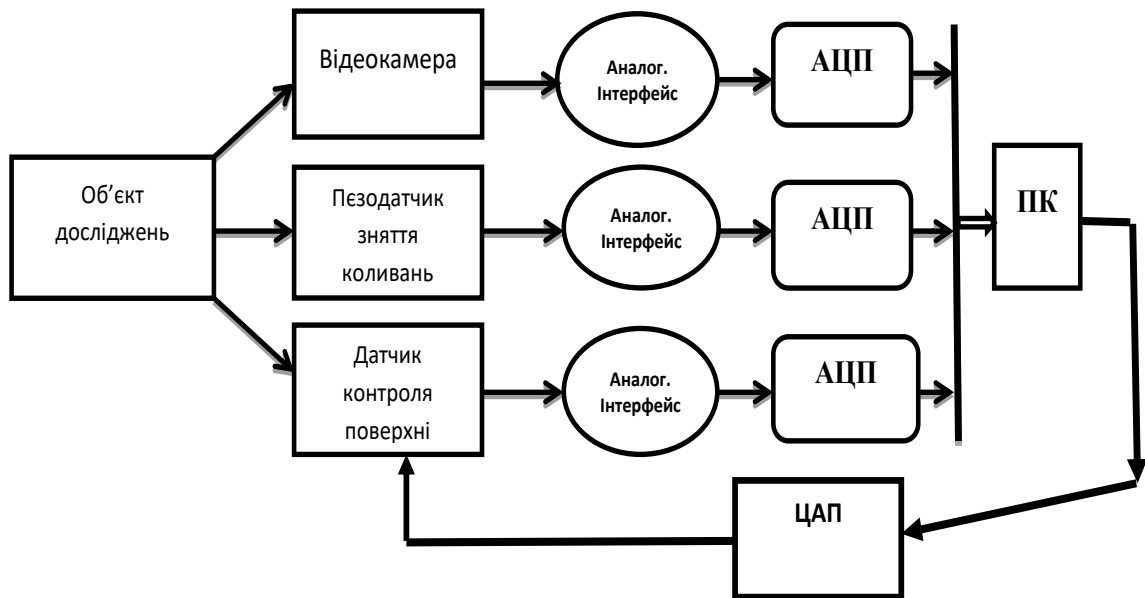


Рис. 2.5. Схема вимірювання параметрів спряжених пар

Момент роботи вузла вимірюється двома способами: перший – реєструється зміна струму на двигуні залежно від навантаження; другий – тензометричною балкою, яка вмонтована в каретку, де вставлений вібраційний

датчик і пружина навантаження зразка. На рис. 2.5 показана схема вимірювання спряжених деталей та обробки даних на ПК.

2.3. Система вимірювання параметрів спряжених деталей

Присутність рідини у вузла спряжених пар створює електрохімічне ланцюг зі спрямованим переміщенням іонів або електронів.

Для підвищення якості виготовлених спряжених деталей використовується електрохімічна система.

Електрохімічна система складається з металевого зразка і скла. Умови проходження імпульсного електричного сигналу (ІЕС) визначається опором робочого середовища й дефектами на поверхні деталі, блок-схема показана на рис. 2.6. Іони під дією спрямованого електричного поля переміщуються на

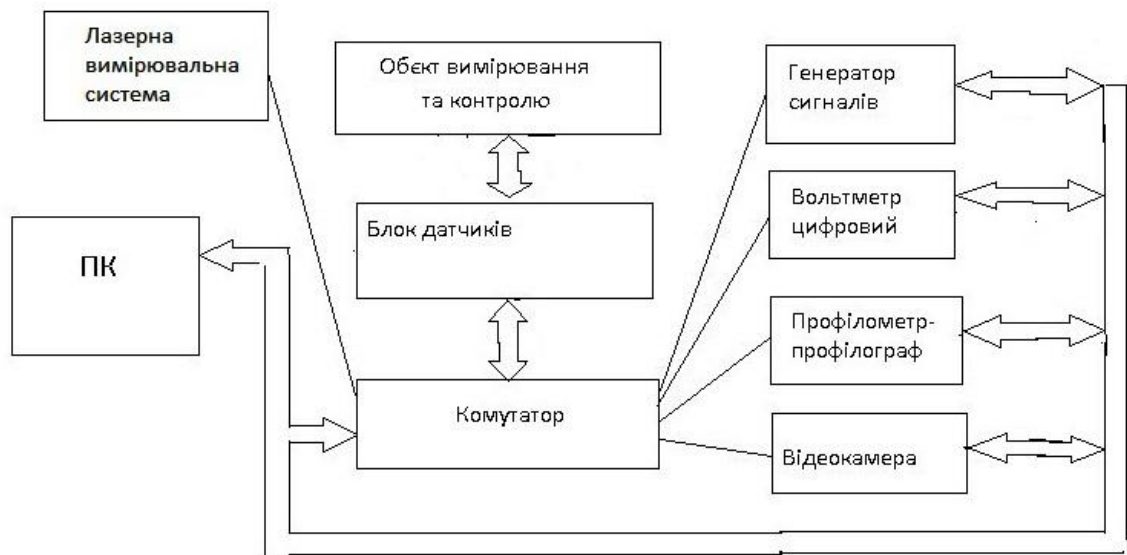


Рис. 2.6 Блок – схема приладової системи

катод – зразок. В умовах реальної роботи спряженого вузла поняття розміру електродів нівелюється технологічністю деталей і їх умовами зіткненням з робочою рідиною. Тому за тонкий електрод приймемо поверхню допоміжного

електрода (ДЕ), площа якого бажане мати максимальним на скільки дозволяють технологічні умови. Товстий електрод – це поверхня реальної деталі, яку необхідно відновити, площа її може в багато разів перевищувати площа ДЕ. Проходження електричного сигналу через робоче середовище з високим опором ПАР (ПЕГ-400) концентрацією 75% здійснюємо на несучій частоті сигналу (100...1000) кГц. Моделюючим сигналом, здатним змінити стан поверхні деталі, буде переривчастий сигнал на рівні (10...15) кГц. Застосування електрохімічного методу відновлення поверхні обумовлюється наявністю електрохімічної схеми. Величина струму характеризується потужністю утвору плівки на поверхні деталі. Для забезпечення коректного дослідження необхідно ізолювати поверхні таким чином, щоб поверхні спряжених деталей брали участь в електрохімічному процесі. Неробочу поверхню зразка захищаємо від влучення на неї робочої рідини, звичайно лаком або термоусадочними ізоляторами. У такий спосіб вимірюючи отриманий струм між зразком і допоміжним електродом у процесі роботи досліджуємо характеристики отриманих плівок [3, 4, 9].

Проходження струму по замкненому колу робочий зразок – робоча рідина – допоміжний електрод, амперметр – робочий зразок (Додаток Б2) одержимо струм пропорційний кількості електронів, які генеруються з поверхні допоміжного електрода (анода). І спрямовані на поверхню зразка (катода), згідно з електричною схемою в режимі напруги (5...200) В, при якому початковий струм становить (2...0,5) А.

Для дослідження в змінному імпульсному сигналі струму із частотою (18...20000) Гц використовували генератор частоти ГЗ-34 (8), осцилограф С1-98 (4; 5) для контролю частотної характеристики та генератор ГЗ-102 (Anritsu MG3690C) на частоті (4 -10) Гц (Додаток Б2).

Для контролю шорсткості поверхні після методу відновлення вказаного вище використовуються профілографи-профілометри та дефектоскопи. Багато

авторів використовують в своїх роботах вихреструмову дефектоскопію, але зовсім мало авторів описують вимір похибки при такому методі.

Вихреструмова дефектоскопія використовує три метода вимірювання похибки:

1. Амплітудний метод підвищення чутливості досягається підвищенням резонансу, при збільшенні токів індуктивність знижується LC коливання в ланцюзі. Висока чутливість досягається при високому діапазоні частот та добротності контуру LC. Котушки з осердям більш чутливі ніж без осердя, тому порівняно низький магнітний опір такої котушки потрібно для отримання необхідної індуктивності та потрібно менша кількість витків ніж котушка без осердя.

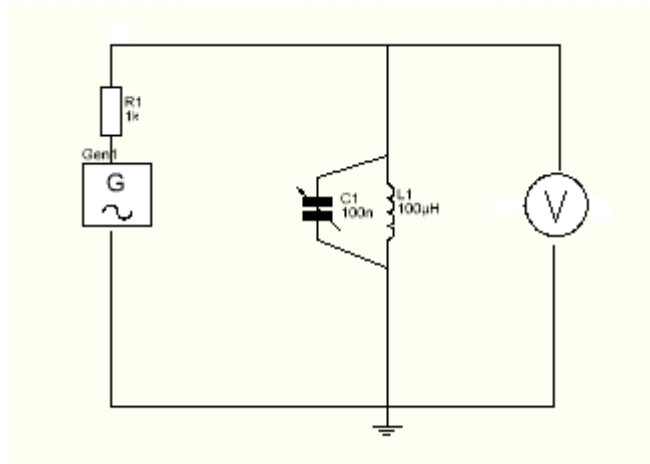


Рис. 2.7 Еквівалентна схема котушки індуктивності

Вимірювані фізичні параметри можуть впливати на зміни індуктивності котушки також як і в разі змінного активного опору, а змінна індуктивність використовується для зміни параметрів електричного кола, яка включає в себе котушку змінної індуктивності з урахуванням природи індуктивності, цей ланцюг повинен приєднуватися до джерела змінного струму. Еквівалентна схема котушки індуктивності (рис. 2.7).

Позначимо через ω число витків рівномірно намотаною на котушці з магнітним сердечником довжиною l і магнітною проникністю μ . Тоді спрямованість магнітного поля H всередині сердечника, обумовленого струмом I і визначається співвідношенням: $H = I\omega/l$, індукція $B = \mu H = I\omega\mu/l$, магнітний потік в сердечнику з площею S : $\Phi = BS = I\omega S/l$.

Індуктивність котушки визначається як відношення повного потокощеплення до току, тому її величина є отвір потоку і число витків поділене на струм:

$$L = \omega\Phi/I \quad (2.2)$$

Опір втрат в міді R_{Cu} . Номінальний опір з ω гілки дроту діаметром d і з питомим опором ρ ланцюга визначається співвідношенням:

$$R_{Cu} = \rho (\omega l_{cp}) / ((\pi d^2) / 4) \quad (2.3)$$

де l_{cp} - середня довжина витка.

Величина R_{Cu} визначається тільки матеріалом, довжиною обмотки котушки і не залежить від частоти, якщо поверхневим ефектом та ефектом зовнішнього екранування можна знехтувати.

Затухання D_{cu} котушки індуктивності L на частоті $f = \omega/2\pi$ для еквівалентної схеми з послідовним опором:

$$D_{cu} = R_{Cu}/\omega L. \quad (2.4)$$

Таким чином, загасання котушки D_{cu} обумовлено послідовним опором R_{Cu} обернено пропорційна частоті.

Є фактори які значно впливають на точність вимірювання, один з них – це еквівалентний опір втрат на вихрові струми. Допустимо, що феромагнітний сердечник виготовлений з пластинок товщиною t . Паралельно еквівалентний опір втрат R_{Fe} , що характеризує втрати на вихрові струми такого сердечника буде наступним:

$$R_{Fe} = \frac{2z}{t} \frac{ch\left(\frac{t}{z}\right) - \cos\left(\frac{t}{z}\right)}{sh\left(\frac{t}{z}\right) - \sin\left(\frac{t}{z}\right)}, \quad (2.5)$$

де z – глибина проникання вихрового струму в товщу сердечника, знаходиться по формулі $z = \sqrt{\rho l / \pi \mu f}$ – питомий опір матеріалу сердечника, μ - магнітна проникність. Як показує практика для цілей дослідження характеристики індуктивного перетворювача втрати на вихрові струми більш зручне уявити послідовність еквівалентним опором, яка може бути поєднана з послідовним опором втрати в міді R_{Cu} .

Інтерпретація втрат на гістерезис в еквівалентній схемі діє менш чітко, ніж уявлення втрат міді на вихрові струми. Тому втрати на гістерезис не можуть бути охарактеризовані за допомогою опору в еквівалентній схемі рис 2.7, де затухання D_{Cu} характеризує втрати на гістерезис інверсної частоти.

Вище розглядалися феромагнітні сердечники замкнутої форми. Але в перетворювачах часто використовуються осерді з повітряними зазорами розміри яких змінюється в залежності від вимірюваної величини. На більш зручний спосіб оцінки впливу зазору складається введення поняття ефективної проникності, що відноситься до комбінації феромагнітного сердечника і повітряного зазору магнітний опір тороїдального сердечника з повітряним зазором буде наступний:

$$\frac{1}{\mu_0 S} \left(\frac{l-\delta}{\mu_s} + \delta \right) = \frac{l}{\mu_s}, \quad (2.6)$$

де l – повна довжина шляху магнітного потоку; δ – товщина повітряного зазору; μ – «ефективна» магнітна проникність магнітного ланцюга; μ_0 - магнітна проникність вакуумна; μ_s - магнітна проникність матеріала осердя; S – переріз полюса який утворює зазор.

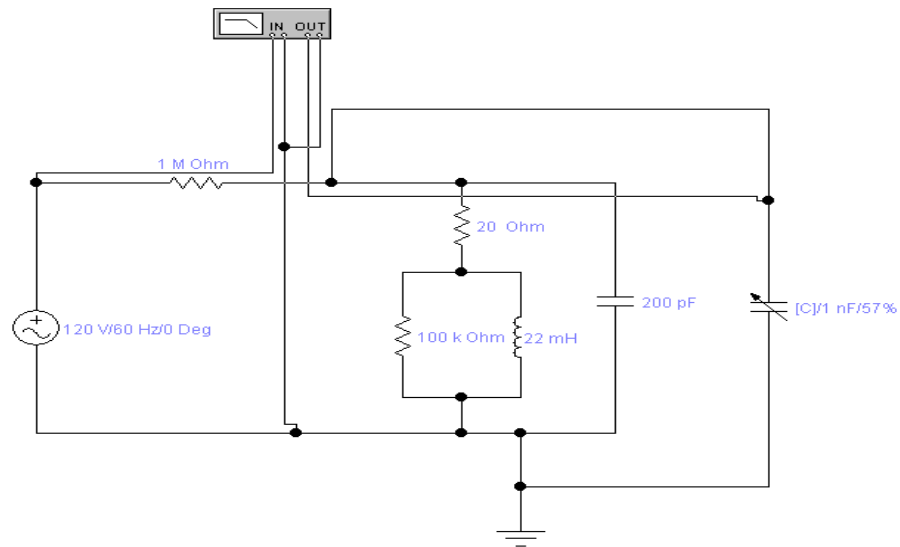


Рис. 2.8 Схема включення індуктивного датчика резонансним методом

На схемі рис.2.8 показано чиста індуктивність L котушки перетворювача, яка з'єднана послідовно з опором R_{Cu} (втрати в міді котушки) і паралельно з опором R_{fe} втрати на вихрові струми в феритових осердя. А ємність C паралельно L і R_{Cu} є власної ємністю між витками обмотки і проявляється лише на високих частотах [16, 21].

2. Компенсаційний або мостовий метод. Чутливість досягається повним зрівнянням обох пліч схеми включення, та зменшення активного та реактивного опору. Недоліки: складність реалізації.

3. Метод використання диференційного датчика. Перевага: простота реалізації цієї електричної частини. Недолік: складність реалізації датчика.

При аналізі випробування при відновленні спряжених деталей використовуються різні методи контролю відновлення прецензійних деталей. Один з цих методів є метод магнітної індукції з використанням імпульсного модульованого струму.

На сьогоднішній день є прилади, які використовують магнітну індукцію для контролю поверхні деталі після відновлення, наприклад DVP102 – система для вихрострумове дефектоскопа, але в цьому приборі присутні паразитні

похибки, які впливають на показники вимірювання. В даній роботі також буде розглянуто спосіб усунення цієї похибки.

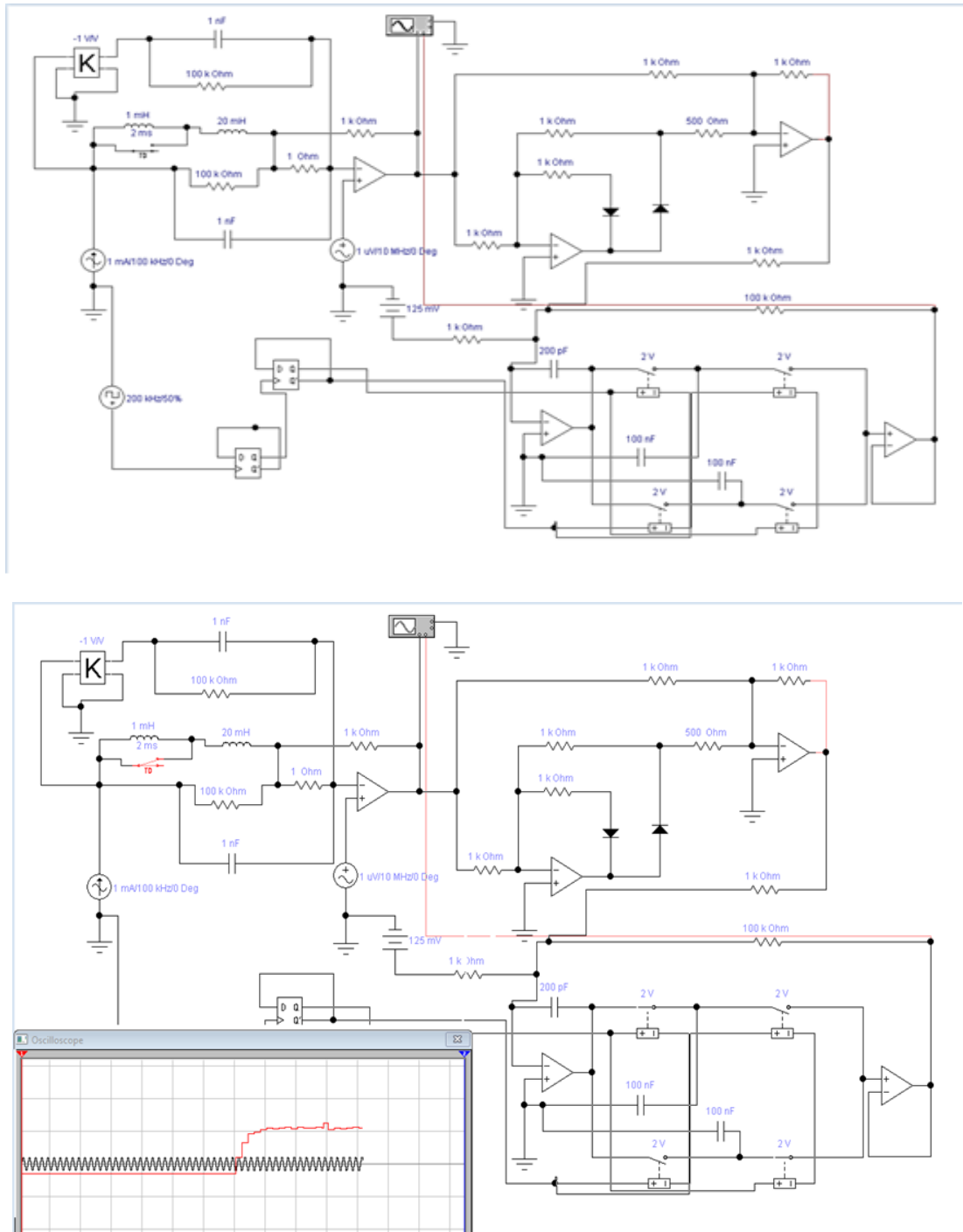


Рис. 2.9. Схема компенсації індуктивного датчика змодельовано в програмі Electronics Workbench

Певним компромісом може бути схема запропонована мною для контролю поверхні деталі. Схема, принцип дії якої полягає в використанні електричної схеми компенсації паразитних параметрів датчика з послідуєчим перетворення змінного струму в інформаційному складова та постійну напругу.

В дисертаційній роботі запропонована приладова система для контролю та випробовування деталей спряжених пар на основі вихрострумовеї індукції з використанням імпульсного модульованого струму. Певною компенсацією диференційного датчика може бути схема запропонована автором (рис. 2.9), принцип дії якої полягає в використанні електронної схеми компенсації паразитних параметрів датчика.

Таблиця 2.1

Порівняльна характеристика приладової системи та закордонного аналога

	Характеристика	Приладова система	Зарубіжний аналог ES
1	Паразитна похибка	0,1%	0.3%
2	Абсолютна похибка	0,1мкм	0,2 мкм
3	Діапазон вимірювання	600 мм	400 мм
4	Швидкодія	1 с	3 с
5	Дискретність	0,1мкм	0,5 мкм
6	Похибка вимірювання лінійних переміщень	0.5 мкм/м	1.5 мкм/м

Було проаналізовані характеристики зарубіжної системи ES та розробленої приладової системи табл. 2.1. Задача розробленої приладової системи - вимірювати дефекти, шорсткість швидко та точніше. Завдяки використанню електронної схеми автоматичної компенсації, як активних так і реактивних паразитних параметрів датчика, мається на увазі основні впливові параметри це насамперед R_F і паразитна ємність C_d датчика. Для

автоматичного компенсування цих параметрів розроблена схема з імпульсною модуляцією різними частотами тестового сигналу та швидкодіючим імпульсним фільтром, які дозволяють виконати операцію компенсування основної частини цих впливових факторів на бездефектній зоні датчика за 0,1 мілісекунди на частоті тестового сигналу (100...10000) кГц.

Вимірювання при експлуатації пристроїв направлено на досягнення необхідної готовності цих пристроїв їх характеристики (точність і швидкодія) визначають достовірність і тривалість контрольних і діагностичних операцій, тому кількісно оцінити ефективність використання засобів вимірювання можна по коефіцієнту готовності пристрою K_r , оскільки він розглядається, як функція показників достовірності і тривалості вимірювання та контролю.

Розглянемо функцію показника достовірності та тривалості контролю і діагностики, яка кількісно оцінює ефективність використання засобів вимірювання [14]:

$$K_r = \frac{1 - e^{\lambda(-\lambda T_k)} (\lambda T_k / 1 - \beta_0) + e^{\lambda(-\lambda T_k)} [1 - e^{\lambda(-\lambda T_k)}] + \lambda T_k \left[\frac{1 - \exp(-\lambda T_k)}{1 - \beta_0} \beta_0 + 1 \right] + [1 - e^{\lambda(-\lambda T_k)}] (1 - \alpha_0)}{(2.7)}$$

де γ - інтенсивність відмови приладу, T_k , t_k - період та тривалість відповідно, α_0 , β_0 -умовні ймовірності помилкових і невиявлених відмови, t_b – середній час відновлення пристроїв.

Аналіз залежності K_r від T_k рис. 2.10 показує, що на коефіцієнт готовності приладової системи впливають тривалість контролю та діагностики, а також періодичність перевірки системи. Для досягнення високої готовності системи потрібно скорочувати час на контроль та діагностику, а також оптимізувати періодичність контролю.

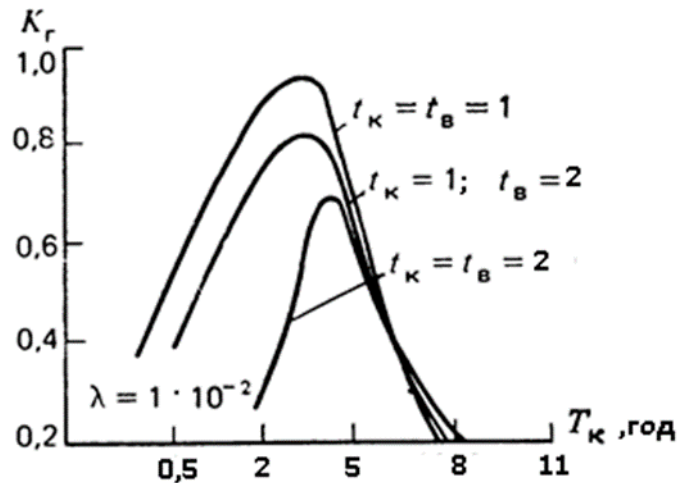


Рис. 2.10. Залежність коефіцієнта готовності від часу

Умови хибної відмови системи також залежать від бракованих деталей.

Оптимальний період T_k вимірювання параметрів визначається із умов максимізації коефіцієнта готовності приладової системи. Для цього необхідно розв'язати систему [10]:

$$\begin{cases} \frac{\partial k_r(T_k)}{\partial T_k} = 0 \\ \frac{\partial^2 k_r(T_k)}{\partial^2 T_k^2} < 0 \end{cases} \quad (2.8)$$

де k_r – коефіцієнт готовності приладу.

Тривалість контролю t_k обумовлено затратами часу на підготовчі роботи (t_n), невимірювальний контроль t_H , числом вимірювальних параметрів n та тривалістю вимірювання одного параметра t_1 :

$$t_k = t_n + t_H + t_u(n, t_1), \quad (2.9)$$

де t_H – тривалість вимірювального контролю.

Готовність роботи включає в себе підготовку системи до вимірювання, розвертання приладів системи та підготовку до вимірювання та контролю. Тривалість вимірювання одного параметра визначається з затрат часу по окремим показникам (2.10): $t_{\text{ком}}$ – на комутацію вимірювального ланцюга, $t_{\text{пв}}$ – на подачу вхідного сигналу, $t_{\text{пок}}$ – на завершення перехідних процесів в об'єкті

вимірювання під час подачі сигналу, $t_{\text{вим}}$ – на вимірювання вихідного сигналу, t_p – на реєстрацію та індикацію результатів вимірювання:

$$t_1 = t_{\text{ком}} + t_{\text{пв}} + t_{\text{пок}} + t_{\text{вим}} + t_p \quad (2.10)$$

Тривалість відновлення системи визначається затратами часу на пошук відмовившого елемента (приладу) системи $t_{\text{п}}$, ремонт цього вузла або заміна $t_{\text{рем}}$ та після ремонтний контроль приладу $t_{\text{п.к}}$:

$$t_{\text{в}} = t_{\text{п}} + t_{\text{рем}} + t_{\text{п.к.}} \quad (2.11)$$

При каскадній відмові приладової системи $2/3$ часу витрачається на пошук відмов елемента (блоку). Якщо використовувати послідовний пошук невимірювального контролю $t_{\text{н}}$, то при наявності помилок контролю час локалізації такий:

$$t_{\text{н}} = t(t_H + n_1 t_1). \quad (2.12)$$

В кожному із дискретних моментів часу $t = 0, 1, 2, \dots, T$ вимірювальний комплекс характеризується декількома станами $X(t)$ – одним із важливих станів X ($X(t) \in X$). Перехід об'єкта з одного стану в інший проходить звичайно під впливом випадкових факторів. Тому можна припустити, що еволюційний стан системи в часі відмічається декількома випадковими процесами $\xi(t)$, причому природне направлення цього процесу являється перехід системи, перехід від справного стану до максимальної завантаженості. Задача технічного обслуговування та ремонту спряженої пари, як раз залежить від того, щоб зупинити перехід на даному часовому інтервалі $(0, T)$.

Ефективність функціонування системи випробування спряжених деталей в інтервалі $[0, T]$ залежить від еволюції випадкового процесу $\xi(t)$ і повинен розглядатися як функціонал побудований на траєкторії процесу $\xi(t)$,

$$\Phi = \Phi\{\xi(t), t \in [0, T]\}. \quad (2.13)$$

Так як показник Φ є функцією випадкової величини та є випадковою величиною, при рішення задач оптимізації вимірювання після відновлення спряжених деталей звичайно використовують критерій отриманого значення:

$$E[\Phi] = E \{ \Phi(\xi(t), t \in [0, T]) \}, \quad (2.14)$$

де $E[\Phi]$ – оператор математичного очікування [11].

Похибка засобів вимірювання не буває постійною, а змінюється від часу, тому реальну точність пристрою треба оцінювати по його метрологічним характеристикам. Як правило, з часом змінюється основна похибка, тому реальну похибку в приладах можна оцінити по формулі [23]:

$$\Delta = 0,85 \left[\varphi + (1,1 \dots 1,4) \sqrt{\{\theta_0 [1 - P_m(t)] + (1,5 \dots 2) \theta_0 P_m(t)\} + \sum_{j=2}^{m-1} \theta_j^2} \right], \quad (2.15)$$

де θ_0 – межа систематичної основної похибки вимірювального пристрою; $P_m(t)$ – ймовірність виявлення основної похибки засобів вимірювання в межах нормованого поля допусків в момент часу t ; φ – випадкова похибка; θ_j – границя складової j -й систематичної похибки; m – число складових.

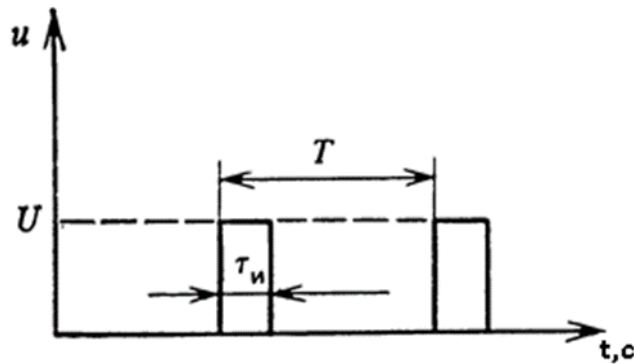


Рис. 2.11. Первинний сигнал для випробування спряжених пар

Приладова система, яка запропонована в цій роботі, може вимірювати наступні параметри: акустичні (вібраційні) характеристики вузла спряжених пар, шорсткість відновленого деталі спряжених пар, відновлювати та випробувати спряжені шарико-підшипникові пари.

На рис.2.11 показаний сигнал, який подається на шарика – підшипникову пару для її відновлення електрохімічним методом в поверхнево активних речовинах.

Вперше для контролю характеристик спряжених деталей введено амплітудо-частотну характеристику. Діапазон напруги, яка подається в вузол спряжених пар регулюється плавно до 60 В.

2.4. Метод контролю електрохімічного процесу при відновленні спряжених деталей

Вчені [1, 3, 6] які займались процесом випробовування після відновлення в своїх роботах вказували, що системою переносу енергії є робота, залишається визначити, як і куди направити її потік. Зміни поверхні в процесі роботи вузла формує тонкі плівки, які захищають поверхні від зношування. Робота спряженого вузла не може знищити плівку, вона створюється постійно при роботі. Відбувається явище вибіркового переносу матеріалу анода (міді, олова, свинцю й ін.) на сталь у режимах енергостабілізації. Для проведення електрохімічних розрахунків режимів відновлення поверхні матеріала за допомогою допоміжного електрода в умовах динамічного режиму переносу матеріалу сталі 20, необхідно визначити параметри зношування й знати умови роботи матеріалів у робочому середовищі. Виходячи з попередніх досліджень, маса матеріалу що зносився, сталевого зразка за один кілометр шляху склала $m_{zn}=0,00095$ г. з робочою площею зразка $0,12$ см², враховуючи швидкості можливо одержати час роботи спряжених деталей. Для стабілізації роботи спряжених деталей необхідно відновити таку ж кількість матеріалу, у цьому випадку необхідні сталі з питомою вагою $7,8$ г/см³ [3]. Зберігаючи умови позитивного градієнта поверхні спряжених деталей, для прикладу,

використовуємо свинець або алюміній з питомою щільністю 18.8 г/см³ та 2.7 г/см³ відповідно. Враховуючи, що нам необхідно наростити тей же обсяг матеріалу, що відрізняється значенням щільності, необхідно зрівняти їхні геометричні параметри. Зміна зношеної ваги відповідає обсягу матеріалу катода, який вимірюємо спектральним мікроскопом, але матеріал анода по питомій вазі відрізняється від нього. Тому необхідно розрахувати зміну ваги ($m_{\text{відн.}}$) матеріалу для відновлення.

Маса спряжених деталей зменшується на величину $m_{\text{зн}}$, для стабілізації маси елементів необхідно здійснити відновлення на масу $m_{\text{відн.}}$. На підставі закону Фарадея:

$$m_{\text{відн}} = ItE/26,8, \quad (2.16)$$

де: I – струм відновлення; t - час відновлення; $E = A/Z$ (A -Атомна маса, Z -валентність металу анода).

Режим стабілізації досягає оптимальних параметрів при: $m_{\text{изн}} = m_{\text{вост}}$; звідки враховуючи, що величина $26,8/E$ для конкретного матеріалу постійна, позначимо її через k . Зі співвідношення одержимо:

$$I = kv, \quad (2.17)$$

де: v - швидкість зношування. Отже, величина відновлення пропорційна величині струму.

Основними факторами, що визначають принципову можливість осадження двох і більш металів і відносний склад сплаву є:

- величини рівноважних потенціалів кожного металу в речовині-переноснику катодна поляризація кожного металу;
- відносна концентрація іонів кожного з металів, які необхідно нанести на поверхню, особливо в катодному просторі;
- режим електролізу – температура, величина струму, переміщення, наявність у розчині колоїдів або інших поверхнево-активних речовин.

Таблиця 2.2

Похибки які впливають на механічні деталі

Принцип класифікації	Вид похибок
Характер прояву	Випадкові
Характер залежності від вхідної величини	Адитивні; мультиплікативні (прості, накопичені); нелінійні (довільні, циклічні); комбіновані
Характер зв'язку з динамічними характеристиками вхідної величини	Статичні; динамічні (джерела: інерційність елементів, час перетворення, інтерполяція результатів)
Причини виникнення	Методичні (джерела: інтерполяція, квантування, ірраціональність, апроксимація, вплив навантаження) Інструментальні: основні (технологічні, конструктивні, експлуатаційні); додаткові (джерела: зовнішні, внутрішні фактори)
Тимчасові характеристики	Постійні; змінні: випадкові, прогресивні, періодичні
Вид інформативного параметра	Амплітудні, фазові, частотні, тимчасові

В таблиці 2.2 показано похибки які впливають на механічні деталі, характеристики механічних деталей, розглянуто причини їх виникнення. Данна таблиця допомагає зрозуміти, які похибки бувають та в яких випадках вони виникають.

2.5. Оптимальний вибір засобів вимірювальної техніки для випробування спряжених деталей

Вибір модельного матеріалу являє собою складне завдання, практичне машинобудування має у своєму розпорядженні більший досвід і засобами в доборі прецизійної пари залежно від умов роботи й впливу на неї навколишнього середовища. Для проведення дослідження використовувалися матеріали, застосовувані в машинобудуванні для вузлів прецизійних пар, таких як:

- а) шестерні насоси; сталі вуглеводисті загартовані, 40ХНМА, ШХ15 та інші;
- б) плунжерні насоси – бронзи як основу насоса й плунжер загартована сталь, може бути хромована;
- в) підп'ятники насосів – різні бронзи.

При проведенні експерименту використовувалися сталі 20 як модельна, сталі 45 – для проведення дослідження в спряжених парах й репарації із Брос5-25 і ЛС59-1.

Дослідження на зносостійкість проводили в рідинах, використовуваних у масляних і гідравлічних системах, І-20, 5W-40, М10Г2.

Перевагою металевих матеріалів є їхні високі механічні властивості, стійкість до динамічних навантажень. Найкраще якщо нанесений шар буде електрично нейтральним. Вибираючи матеріал для виготовлення деталей і вузлів проекрованої техніки необхідно враховувати значимість і надійність устаткування, а також питому міцність і стійкість до умов експлуатації. На підставі проведених досліджень на сталі 20 і для встановлення рівних властивостей по твердості матричний матеріал насичувався вуглецем методом хіміко-термічної обробки, за прийнятою методикою [4], що давало можливість

довести структуру до рівня високовуглеводистої сталі, для одержання мартенситної структури в результаті термообробки.

При розробці приладової системи були використані наступні прилади: спектрофотометр КФК-2; мікроскоп Микрон-8; цифровий генератор ГЗ-110; двопробеневий осцилограф С1-98; генератор ГЗ-34; цифровий вольтметр В7-вольтамперметр М2044 класу 0,2; віброшумомір ВШВ-003М1; РС відеокамера; комутатор КЦС/М.

Висновки до розділу 2

1. Розроблена приладова система, яка дозволяє проводити моніторинг перетворень поверхні спряжених деталей та аналізувати зміну параметрів матеріалів з урахуванням впливу навколишнього середовища.
2. Технічні можливості комплексу дозволяють зафіксувати зміни й визначити параметр зміни стану спряжених деталей, за допомогою вібраційних характеристик поверхні деталі.
3. Проведений оптимальний вибір засобів вимірювальної техніки для науково-дослідних робіт та випробуванні спряжених деталей.
4. На основі аналізу проведений аналіз похибок для різних методів випробування спряжених пар, які використовуються на сьогоднішній день.
5. Розроблений метод вимірювання процесу відновлення для дослідження з використанням змінного імпульсного сигналу частотою (10...2000) кГц.
6. Вперше для контролю характеристик спряжених деталей введено амплітудо-частотну характеристику.
7. Моделювання взаємодій процесів в умовах електрохімічного відновлення та розроблена структурна схема інтерфейсу обробки вимірних даних.

Список використаних джерел до розділу 2

1. Венедиктов В.А. Дослідження впливу електродного потенціалу на контактну сумісність стиків і сполучень авіаційних матеріалів і покриття. Збірник Удосконалювання ремонту авіаційної техніки / В.А. Венедиктов. – КИИГА. 1982. – с.40 – 43.
2. Средства измерений шероховатости поверхности профильным методом. Профилографы-профилометры контактные. Типы и основные параметры: ГОСТ 19300-86 (ISO 1880-79) – [дата введения 01.07.87]. – Изд. стандартов, 1986. – 18 с.
3. Кравець І.А. Ремонтна регенерація трибосистем / І.А. Кравець. – Тернопіль, Агроінститут. – 2004. – 300 с.
4. Паращанов В. Г. Аналіз методів та засобів вимірювання шорсткості деталей при переміщенні / В. Г. Паращанов // Вісник Інженерної академії України. – 2018. – №3 – С.107-111.
5. Квасніков В. П., Паращанов В. Г. Метод алгоритмічної компенсації похибки вимірювання в трибосистемах / В. П. Квасніков, В. Г. Паращанов // Вісник Інженерної академії України. – 2019. – №2. – С.19-23.
6. Криксунов В.М. Расчет метрологического запаса при оценке качества изделий электронной технике / В.М. Криксунов // Электронная техника. Сер.12. – 1979. – вып.1. – С. 22-27.
7. Jiaa C., Dornfeld D. Experimental studies of sliding friction and wear via acoustic emission signal analysis / C.Jiaa, D.Dornfeld //Wear. – 1990. – №139. – P. 403– 424.
8. Филоненко С.Ф. Акустическая эмиссия. Измерение, контроль, диагностика / С.Ф.Филоненко. – К.: КМУГА, 1999. – 312 с.
9. Патент № 36600 (Україна), МПК G01N 3/56. “Пристрій для дослідження тертя та зношування“ / Свирид М.М., Паращанов В.Г., Занько С.М.,

Задніпровська С.М., Приймак Л.Б. // Реєстрац. номер заявки U200809663. Опубліковано 27.10.2008, Бюл. № 20, 2008 р.

10. Паращанов В.Г. Метрологічне забезпечення проведення випробування прецизійних деталей / В.Г. Паращанов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2019.- №2 – С.45-48.

11. Гонсьор О.Й. Метрологічне забезпечення якості виробництва / О.Й. Гонсьор, М.М. Микійчук // Національний університет “Львівська політехніка” – Л ЛП, – 2009. Вип №639 – С. 201-205.

12. Логин В.В., Чепульский Ю.П., Андреев П.А. Метрологическое обеспечение предприятий: Учебное пособие/ Под ред. В.А. Карпычева. - М.: МГУПС (МИИТ), 2016. – 289 с.

13. Метрологическое обеспечение и контроль качества материалов и изделий: монография / [Н.Г.Никуличева и др.]; под общей редакцией д.т.н., проф. В.Т. Прохорова.– Шахты: Изд-во ГОУ ВПО «ЮРГУЭС» – с.164

14. Сычев Е.И. Оценка влияния измерительного контроля на надежность технических систем/ Е.И. Сычев // Надежность и контроль качества. – 1979. – №10. – С.18– 26

15. Метрологическое обеспечение и эксплуатации измерительной техники/ [Г.П. Богдаов, В.А.Кузнецов, М.А. Лотонов и др.]; под ред. В.А.Кузнецова. – М.: Радио и связь, 1990. – 240с.

16. Нуберт Г. П., Измерительные преобразователи неэлектрических величин, пер. с англ., – Л.: Энергия, 1970. – 370 с.

17. Руководство по выражению неопределенности измерения. Первая редакция Международная организация по стандартизации. 1993 г., Перевод и публикация ГП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева». [Научный редактор проф. Слаев В.А.] – СПб.: 1999. – 134 с.

18. Сергеев А.Г. Метрология. Карманная энциклопедия студента: Учебное пособие для студентов высших и средних специальных учебных заведений / А.Г.Сергеев, В.В. Крохин. – М.: Логос, 2001. – 376 с.
19. Сергеев А.Г. Сертификация / А.Г.Сергеев, М.В. Латышев. – М.: Изд-во «Логос», 2000. – 248с.
20. Тартаковский Д.Ф., Ястребов А.С. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: Учеб. для вузов / Д.Ф.Тартаковский, А.С. Ястребов. – М.: Высш. шк., 2001. – 205 с.
21. Дюрелли А., Холл Дж. Экспериментальная механика: В 2-х кн.: Кн. 2. Пер. с англ./Под ред. А. Кобаяси. — М., Мир, 1990. — 552 с., ил.
22. Шабалин С.А. Прикладная метрология в вопросах и ответах. – 2-е изд., перераб. и доп./ С.А.Шабалин – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 192 с.
23. Шишкин И.Ф. Теоретическая метрология / И.Ф.Шишкин. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 492 с.
24. Шишкин И.Ф. Теоретическая метрология. Ч.1. Общая теория измерений: учеб.-мет. комплекс (учеб. пособие), 3-е изд., перераб. и доп., / И.Ф. Шишкин. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2008. – 189 с.
25. Харт Х. Введение в измерительную технику / Х.Харт. – М.: Мир, 1999. – 1000 с.
26. Серебrenицкий П. П. Общетехнический справочник / П. П. Серебrenицкий. – СПб: Политехника, 2004. – 445 с.
27. Панфилов В. А. Электрические измерения / В. А. Панфилов. М.: Издательский центр «Академия», 2004 – 700 с.
28. Основы метрологии. Ч. 1. / [Ю. А.Богомолов, Т. М. Полховская, М. Н. Филиппов и др.]. – М.: МИСИС , 2000. – 850 с.

РОЗДІЛ 3

МОНІТОРИНГ ТА КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ВИПРОБУВАННІ

Подальшого розвитку набув метод вимірювання та контролю спряжених деталей. В даному розділі розглянуто процес контролю та вимірювання спряжених деталей, а також описаний метод моніторингу.

Розроблено метод компенсації похибок, які з'являються при випробуванні спряжених деталей, вимірюванні шорсткості, геометричних параметрів, з використанням профілометра-профілографа та вихрострумового дефектоскопа.

Розроблений новий метод визначення похибок при дії негаусових завад, які присутні при випробуванні.

Запропонований нова приладова система на основі існуючої устаткування по відновленню спряжених деталей та допрацьовані і зроблені деякі вузли, а саме: система керування, система обробки та плата збору та обробки даних.

Розрахована та приведена дисперсія похибок, які діють можливість компесувати похибки спряженого вузла на різних швидкостях при випробуванні.

Основні результати даного розділу надруковані в роботах автора [1-4].

3.1. Моніторинг та контроль параметрів при випробуванні деталей

Для досягнення поставленої мети, детального вивчення хімічного та фізичного стану металів автором було проведено експерименти по відновленню металів в поверхнево-активних речовинах (ПАР), при використанні різних металів з яких виготовляються прецизійні та спряжені

деталі, з використанням різних струмів, для контролю відновлювальної поверхні використовувався дефектоскоп DVP102. Результат показав, що для збільшення чутливості дефектоскопа необхідно використовувати дві індуктивні головки дефектоскопа, з'єднані разом. Для оцінки рівня якості продукції в машинобудуванні застосовують диференціальний і комплексний методи. Диференційний метод оцінки рівня якості полягає в роздільному зіставленні одиничних показників якості аналізованого виробу з аналогічними базовими показниками.

Внаслідок хвилястості й шорсткості кожної з поверхонь торкання вібраційного датчика з приладом ВШВ-003М1 одного з двох твердих тіл проходить лише по окремих зонах зосереджених на поверхні виступів які називаються фактичним поверхневим контактом (ФПК). Розміри контакту залежать від відхилення від форми природи тіл і умов роботи. Більш тверді виступи впроваджуються в деформуюче скло, утворюючи одиничні плями робочого контакту, у місцях яких виникають сили (адгезія, хімічні зв'язки, взаємна дифузія та ін.). У результаті прироблення області контакту бувають зміцнені у напрямку руху. Діаметр еквівалентної по площі плями контакту становить від (1...50) мкм залежно від природи поверхні, виду обробки.

Для вивчення умов контролю в динамічному режимі розроблено модель, що дає можливість провести моніторинг динаміки утворення поверхневих плівок. Відносне переміщення супроводжується порушенням коливальних процесів частот різної інтенсивності. Вібраційні параметри зменшують силу роботи [5] зі зміною показання генерації пружних хвиль залежно від стану поверхні деталі.

На рис. 3.1 показані зміни поверхні сталі 20 по склу на швидкості 0,1 м/с. Де відзначені переходи на рівні наробітку до 0,2 км шляху проходження зразка, умови наростання навантаження з різким збільшенням до (0,5...0,6)

(крива 1, ділянка 1). Далі навантаження зменшується майже вдвічі (0,25...0,3) (ділянка 2 (0,2...1,2) км пройденого шляху зразком.

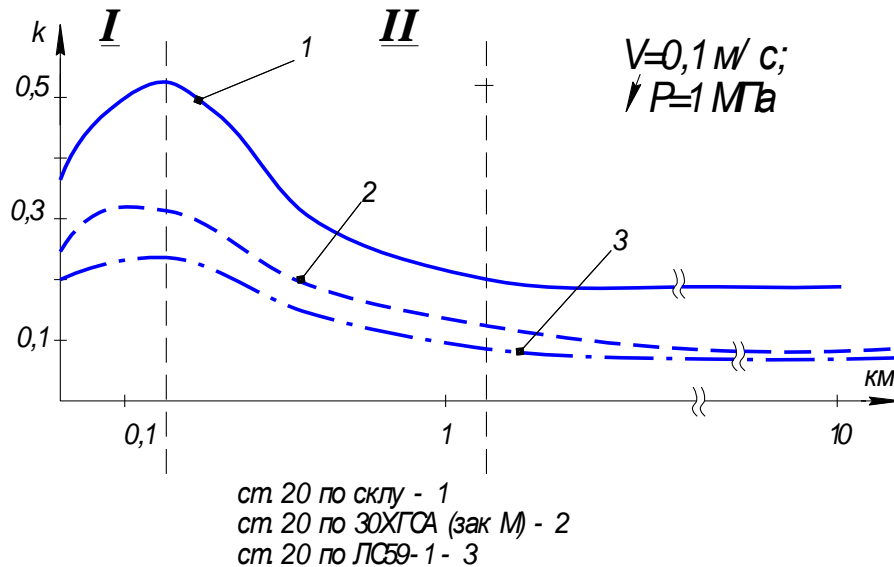


Рис. 3.1. Етапи роботи вузла від наробітку яку проходить деталь

Приробка деталей в третій частині (рис.3.1) характеризується зниженням коефіцієнта роботи до 0,1...0,2 протягом тривалого часу (приробка). Крива 1 (рис. 3.1) характеризує силу роботи сталі 20 по склу. Чисельна величина коефіцієнта роботи на режимі, що встановився, становить (0,1...0,15). При цьому можливо встановити коефіцієнт пропорційності $k_{\text{проп}}$, який становить для латунного зразка:

$$k_{\text{проп}} = k_{\text{т}} / 0,12 = 0,2 / 0,12 = 1,7 \quad (3.1)$$

Моніторинг характеристик матеріалів у динамічному режимі з утвором плівок у русі дозволяє відзначити зміни в характері створення, переносу й віднесення матеріалу із площини прецизійного вузла. Контроль томографії поверхні показано на рис. 3.2. На ділянці (I) проходять початковий період утвору плівки (рис. 3.2а) значними змінами геометрії поверхні деталі, це підвищує навантаження в вузлі до максимуму за рахунок збільшення дефектів на поверхні робочої частини деталі (рис. 3.2б). Дослідження проводили в

динамічному режимі на приладовій системі [3]. Фіксувалися зміни топографії поверхні мікроскопом ДИП-6, який розташовувався навпроти поверхні спряженого вузла.

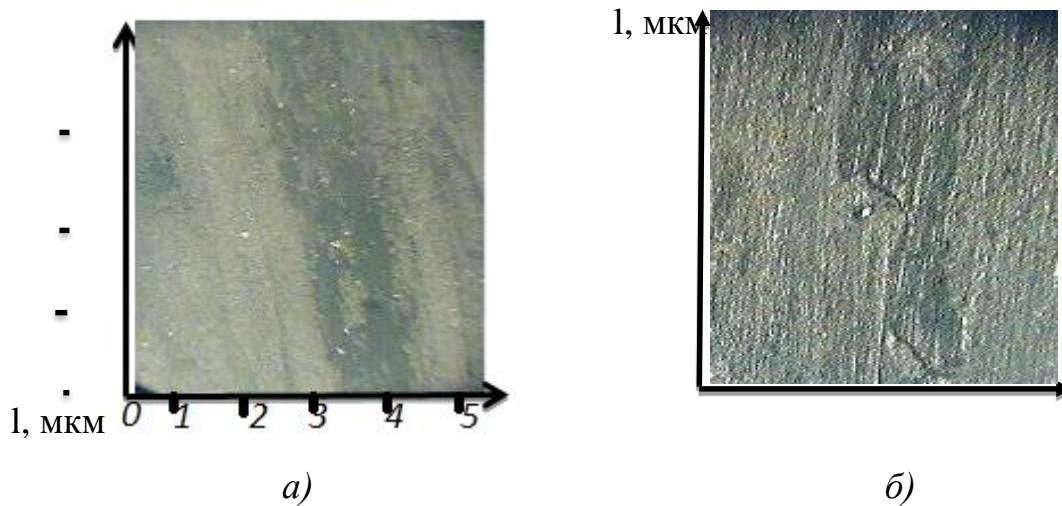


Рис. 3.2. Контроль топографії поверхні сталі 20 в спряженому вузлі, мікроскопом ДИП 6 (120х); а) - початок створення плівки; б) – пошкодження плівки

Зазначені результати експерименту проводили на швидкості 0,1 м/с з навантаженням 1 МПа, скло оберталось навколо центру. При цьому зразок описував концентричні кола по поверхні скла. Проводили фото-контроль вузла, при цьому контролювали, щоб швидкість не змінювалася.

Дослідження проводили на приладовій системі [3], механічна частина якої виготовлена з неметалевих матеріалів. Технічні можливості системи дозволяють провести моніторинг вібраційних (акустичних) параметрів на поверхні спряжених деталей в динамічному режимі.

Було проведено 150 вимірювань випадкових величин шорсткості спряженої пари з невідомим математичним очікуванням, $|K_{ac}| \leq 2$; $|K_{екс}| \leq 6$. Такі значення коефіцієнта асиметрії та ексцесу відповідають експоненціальному розподіленню. Розрахована інтервальна оцінка

математичного очікування при $P_{\text{дов}}=0,95$. Скільки N достатньо велике, при першому огляді оцінка m_1 можна рахувати нормальною. Тоді отримуємо:

$$m_{1н} = m_1^* - 2\sqrt{M_2/150}; m_{1н} = m_1^* + 2\sqrt{M_2/150}, \quad (3.2)$$

де M_2 – відповідає формулі, $\widetilde{M}_2 = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N \left(\xi_j - \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \xi_k \right)^2$.

Уточнимо границі довірчого інтервалу з асиметрії та ексцесу m_1^*

Дослідження проводимо на зразках зі сталі 20, сталі 45(М), сплаву 30ХГСА(М), сплаву алюмінію АЛ5 і міді ЛС59-1. Методика вимірювання полягає в наступному, скло вибрали як абсолютно твердий хімічно нейтральний матеріал з бездоганною шорсткістю й міцністю. Щільність скла (2,4...2,9) г/см³, що більш ніж у три рази менше, чим у заліза, а твердість скла по Брунеллю рівна 500 НВ, поряд з ним загартовані сталі мають твердість до (650...700) НВ. У скла теплопровідність дорівнює 1,15 Вт/м*К, що майже в 45 раз менше ніж у сталі, коефіцієнт теплопровідності якої рівний 52 Вт/м*К. Використовуючи прозоре скло, маємо можливість спостерігати зміни топографії поверхні роботи вузла в динамічному режимі. В засоби вимірювальної техніки входить приладова система, ПК, алгоритм управління процесом вимірювання.

Виміряна інформація з об'єкта поступає у вигляді зареєстрованих значень u_j відповідних позначень $\pi_j, j=1 \dots n$. Ці значення можуть бути вільними числами, рівномірно позначені в заданому інтервалу l_{ij} . Перевірка ознаки π_j полягає в вимірюванні його теперішнього значення u_j та виявлення приналежності цього значенню інтервалу $l_{ij} \in L$ або декількох інтервалів у разі їх перекреслення.

Необхідно синтезувати гнучку оптимальну програму діагностування задаючи декілька параметрів та послідовність їх перевірки, для запису кожного з технічних станів спряженої пари $S_i, i=1, m$, об'єкта з максимальною правдоподібністю [1, 5, 6]

Для дослідження параметрів вібрації використовували комп'ютерну програму Spektralab, для цього вібраційний датчик установили на приладовій системі.

За початок відліку узгоджуємо частотну характеристику механічного вузла в приладовій системі, зі зразком без навантаження, який відповідає крива №1 (рис. 3.3) на рівні (-110...-100) дБ по всьому частотному діапазоні. При дослідженні сталі 45 з нормальним навантаженням на зразок (1; 5; 10) МПа спектральний параметр змінювався відповідного кривим №3, №4 рис. 3.3. Сплески на кривій № 5 характеризують зрив плівок великої площі, приблизно (10...20) % від площі робочої поверхні, яку контролюємо вібродатчиком з приладом ВШВ – 003М1, візуально контролюємо на комп'ютері через веб – камеру, що видно на рис. 3.2.б. Піки на кривих №3, №4 визначають обрив з поверхні деталі більш дрібних плівок, товщиною до (5...10) мкм.

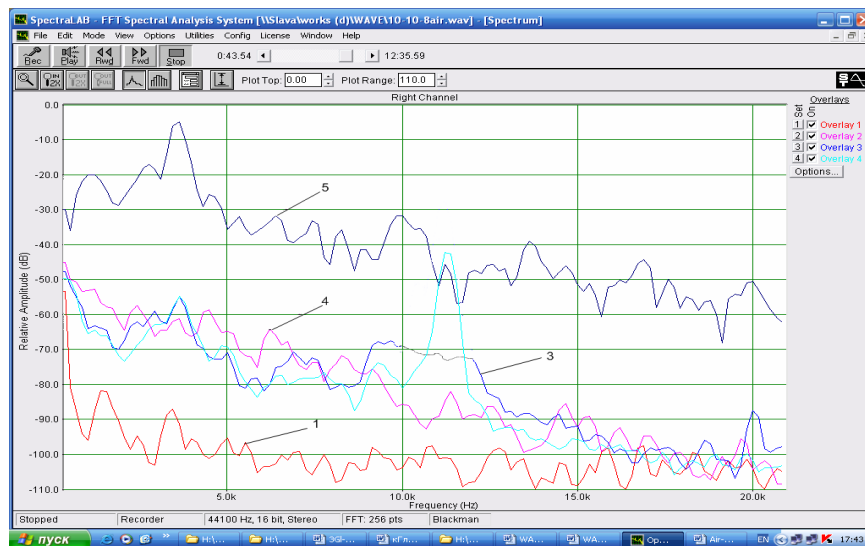


Рис. 3.3. Спектральна характеристика на поверхні сталі 45 при випробовуванні

Тривалість існування піка вимірюється в частках секунди. Пік кривій №4 існував 0,09 с, а на кривій №5 – 0,15 с. Переміщення сили коливань з діапазону

від (-90...-80) дБ до (-40...-50) дБ, у процесі роботи вказує на механічно-вібраційне походження сигналу.

Використовуючи параметри вібраційного сигналу для аналізу та дослідження у режимі роботи спряженої пари і його вплив на процеси, що відбуваються в контакті (рис.3.2.а.б), можливо контролювати стан створення плівки. Після 5-ти хвилинного наробітку вимірюємо вібраційний сигнал (рис.3.3), де видно, що на частотах (1...5) кГц сила сигналу досягає (-30...-20) дБ. На початкових стадіях роботи в вузлі проходять процеси прироблення поверхонь, що описується високим коливаннями сигналу до -10 дБ у частотному діапазоні (2...3) кГц. Далі поступово на 10 кГц знижується до -50 дБ, і на частоті до 18 кГц сигнал знижується до рівня -60дБ (рис. 3.3 крива 5).

Деякі автори розглядають коливання (вібрація) при роботі (frictionnoise), як додаткову характеристику спряженого вузла [26, 36]. Відомо, що вібрація є результатом суперпозиції пружних коливань, генеруючих на областях контакту їх резонансу на власних частотах спряжених деталей і т. п.

У даній роботі зроблена спроба ідентифікації вібраційних коливань, відповідальних за процеси, що відбуваються в області контакту спряженої пари, за допомогою методів комп'ютерного моделювання.

Для ефективного метрологічного забезпечення прецизійних деталей використовуються інтелектуальні вимірювальні системи (ІВС). Вони основані на використанні так званих віртуальних засобів вимірювання (LabVIEW, Electronics Workbench).

Під метрологічним автосупроводженням (МАС) розуміється сукупність принципів, методів, апаратних і програмних засобів, що забезпечують автоматичне визначення характеристик похибкою, результатів вимірювань, одержуваних ІВС в конкретних вимірювальних ситуаціях, що визначаються реалізованою структурою вимірювальних каналів, алгоритмом збору і обробки

вимірювальної інформації, характеристиками вхідних впливів і зовнішніх впливових величин та іншими факторами.

Автором в статті [2] була запропонована блок-схема етапів локалізації дефекту спряжених деталей рис. 3.4.

Високий рівень інтелекту сучасних вимірювальних систем вимагає відповідного інтелектуального рівня їх метрологічного забезпечення як на етапі їх компонування і метрологічної атестації, так і під час експлуатації. Ефективність застосування і споживання якості ІВС істотно залежить від їх можливостей автоматичного розрахунку в реальному часі і наявності у користувача характеристик похибок отриманих результатів вимірювань.

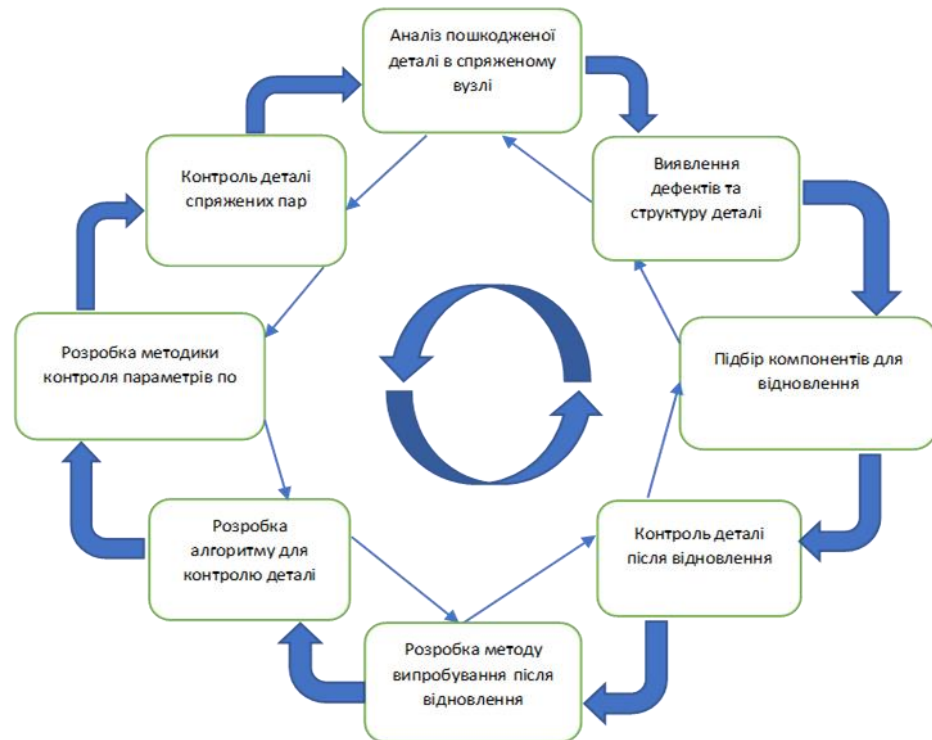


Рис. 3.4 Етапи виявлення локального дефекту спряженої деталі

Процедури МАС зазвичай базуються на нормованих метрологічних характеристиках (МХ) через вимірювальні модулі та посібники (методики) з розрахунку характеристик похибок, які забезпечуються виробником. Вони дозволяють отримати оцінку індивідуальної похибки модуля в залежності від

значення (характеристик) вхідного сигналу та зовнішніх впливів величин в реальних умовах експлуатації.

Параметри нержавіючої сталі 40Х13 по склу й мідного сплаву ЛС59-1 по склу більш стійкі до зношування чим сталі 20. Результати дослідження представлені на (рис. Б5.8) (Додаток Б5). Характерною відмінною рисою є, зношування латуні майже вдвічі менше сталі 40Х13, хоча сталь термічно оброблена на мартенсит. Тверді поверхні сталі при роботі по склу провокують схоплювання зі склом тому збільшує шорсткість зношування металів.

Латунний зразок ЛС59-1 характеризується переносом латуні на всій ділянці досліджень. На рисунках (Додаток Б5 рис. Б5.5) при швидкості ковзання 0,1 м/сек і навантаженню приблизно 10 МПа, чітко відслідковується час початку утвору плівки (Додаток Б5 рис. Б5.5б) вузькою смугою. На режимі, що встановився, плівка розширюється до розмірів зразка (Додаток Б5 рис. Б 5.5г). Початок руйнування проходить вибірково плямами, на ділянках з товщиною плівки більш ніж 10-15 мкм (Додаток Б5 рис. Б5.5ж). Подальший наробіток характеризується руйнуванням отриманих плівок, з утвором дрібної лушпайки й дрібних конгломератів (Додаток Б5 рис. Б5.5д) на сталі 40Х13) і розтиранням продуктів зношування. Латунний зразок має плівку двох параметрів одночасно в стані початку руйнування й появи нової плівки (Додаток Б5 рис. Б5.5ж).

Експериментально встановлено, що процес заміни поверхневих плівок з нормальним навантаженням 1 МПа (площа зразка 12,56 мм²) і швидкістю взаємного переміщення 0,1 м/сек при роботі сталі 40Х13 по склу визначався в межах 20-25 хвилин (Додаток Б5 рис. Б5.6а). Подальший наробіток розширює діапазон до 45 хвилин (Додаток Б5 рис. Б5.6б).

При цьому щільність поверхневих плівок збільшується до 80...90% площі покриття (Додаток Б5 рис. Б5.6). Паралельно із проведенням моніторингу топографії поверхні деталі фіксували вібраційні сигнали у

спряжених вузлах. На (Додаток Б5 рис. Б5.9) представлені спектральні характеристики топографії деталі. Криві №2 та №3 характеризують умови роботи відповідні до топографії поверхні (Додаток Б5 рис. Б5.9). На всій ділянці частотного діапазону сила коливань сигналу становила від (35...85) дБ найбільш активний підйом спостерігається на частоті до 10 кГц.

Виходячи з наведених результатів впливає відзначити, що найбільша сила коливань припадає на частоти від 1 кГц до 7 кГц. Величина сили коливань характеризує активність змін у структурі й щільності матеріалу.

При дослідженні використовували зразок сталь 45(М) по склу або по сталі 30ХГСА, загартованої на мартенсит. Швидкість деталі становила 0,3 м/с при нормальних навантаженнях 1 МПа і 5 МПа. При взаємодії зі сталлю фіксували коефіцієнт роботи. Порівнюючи характеристики, по склу й металу виявлена подібність, на режимі, що встановився. Робота вузла і якість топографій поверхонь при роботі на зразках зі сталі 45(М) (Додаток Б5 рис. Б5.10). На (Додаток Б5 рис. Б5.10) видно, що чисельна зміна приборки видно по двом зразкам, склу й загартованої сталі 30ХГСА, проходить паралельно, досить близько, а головне рівномірно. У процесі наробітку в зоні I (крива 2 і 2а) спостерігається різке підвищення сили навантаження, що пояснюється механізмом приборблення металевих поверхонь. Сила роботи сталі 45 по склу характеризується нерівномірною характеристикою, особливо на етапі приборблення, що пояснюється поганою змащуваністю взаємодіючих матеріалів.

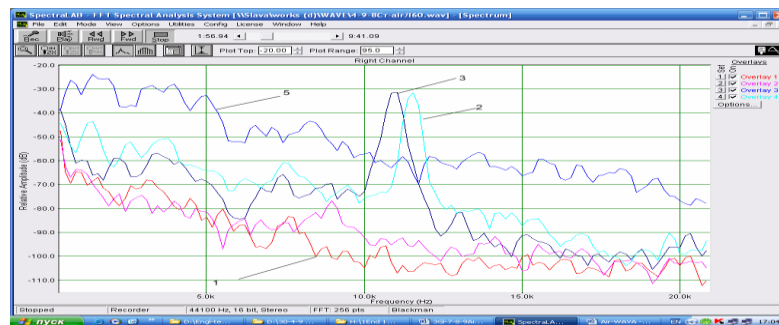


Рис. 3.5. Спектральні характеристики спряженої пари сталі 45 по ЛС59-1

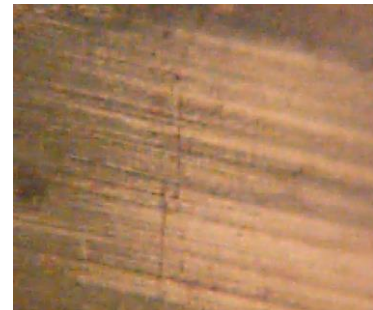
Зона II (Додаток Б5 рис. Б5.10 крива 1 і 2) характеризується рівномірним параметром сили роботи при навантаженні 1 МПа, на ділянці 0,8 км до 10 км приробленого шляху. Підвищення навантаження до 5 МПа відображені кривими 1а та 2а, де можна відзначити, що навантаження не змінює механізм роботи. Формування топографії поверхні (рис. 3.6а) по склу характеризується тонкими, до 1 мкм плівками. Умови вузла сталь 45 по сплаву 30ХГСА (загартованих на мартенсит) визначаються коефіцієнтом роботи рівним 0,008...0,01. Умови схожості коефіцієнта роботи проведеного по сталі представлено на рис. 3.6 визначені:

$$k_1 = 0,0375/0,024 = 1,5625;$$

$$k_5 = 0,014/0,01 = 1,4$$



а)



б)

Рис. 3.6 Топографія поверхні зразка сталі 45 на ділянці II в 50% ПАР

Топографія поверхні на сталі 45 при роботі по сталі 30ХГСА в середовищі ПАР (ПЕГ-400) відрізняється плівкою товщиною до (2...3) мкм. Відмінність у плівко відтвореннях на поверхнях пояснюється неоднозначними умовами змащування, що відбивається й на значенні коефіцієнта приробки.

Таблиця 3.1

Коефіцієнт приробки

Ділянка	Сталь 45	30ХГСА
I	<0,06	>0,024
II	0,04	>0,022
III	0,053	<>0,024

У табл. 3.1 показані межі зміни коефіцієнта приробки залежно від наробітку по сталі 45 й сталі 30ХГСА (рис.3.1).

Швидкість поширення звукової хвилі у твердому тілі:

$$1/2 E V A^2 k^2 = 1/2 \rho 2 \omega^2 V A^2 \Rightarrow x = (E / c)^{1/2}, \quad (3.3)$$

$$\text{у рідині: } x = (K / c)^{1/2}, \quad (3.4)$$

де: E - модуль Юнга; V -швидкість світла; K - модуль об'ємної пружності.

Процес контролю вібраційних характеристик роботи поверхонь здійснювали за допомогою спеціального комп'ютерного програмного забезпечення «Spectralab» в динаміці. У результаті дослідження слід зазначити, що стабільний режим роботи (зона II Додаток Б5 рис. Б5.10) характеризується силою вібраційного сигнал на рівні (70...80). Вібрація в режимі приробляння відповідає значенню на рівні (20...70) дБ (рис. 3.7 крива 3,4) по частотному діапазоні від 50 до 18000Гц. Необхідно відзначити, що на частотах до 5 кГц сигнал має значну силу до (-20...-30) дБ, з підвищенням частоти сила вібрації на режимах (10...18) кГц знижується до (-50...-70) дБ. Підвищення сили вібрації характеризує зміна параметрів стану структури матеріалу. Чим більше нестационарний стан спряжених пар, тем сильніше вібрація.

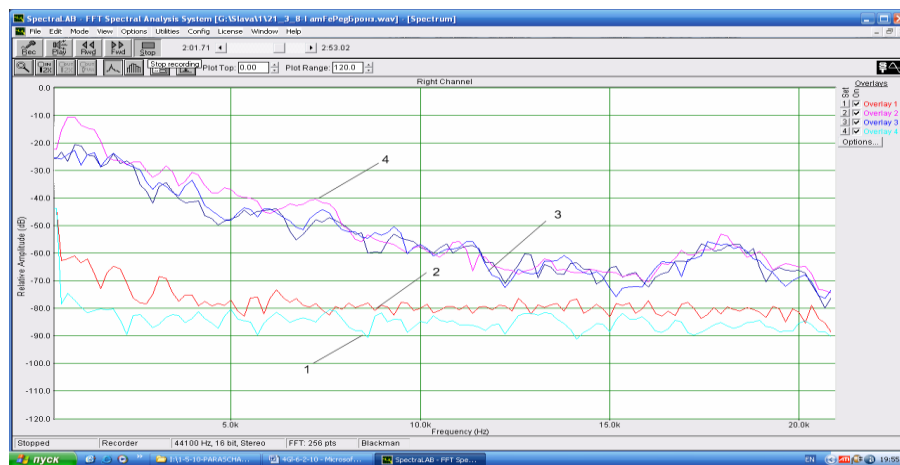


Рис. 3.7 Спектральна характеристика спряженої пари сталі 45 по сплаву 30ХГСА

Таким чином, вібраційні параметри твердого тіла описують деформаційні характеристики матеріалу, у процесі роботи, враховуючи стан середовища.

Зміна індивідуальних властивостей матеріалів у процесі відносного переміщення поверхонь ускладнює вивчення їх взаємодії. При концентрації (25...50)% спостерігається зношування сталі 20, (Додаток Б5 рис. Б5.11) площина 1. Подальше підвищення концентрації ПАР утворює щільний шар густого змащення, зміщаючи умови роботи в умови гідродинамічної роботи. Властивості ПАР залежить від концентрації в ньому води й інших складових визначається плинністю, в'язкістю.

Криві №4, №5 (Додаток Б5 рис. Б5.13) описують стабільний характер роботи механічних деталей при навантаженні 9 МПа.

Виходячи з результатів досліджень сталі 20 і ЛС59-1 представлених (Додаток Б5 рис. Б5.14), дійшли висновку, що для зниження навантаження необхідно: створити енергетичні умови, при яких знижується швидкість утвору й ріст плівки.

Моніторинг умов роботи спряжених пар, проведено за допомогою аналізу спектральних параметрів, отриманих програмним забезпеченням «Spectralab» у звуковому діапазоні частот.

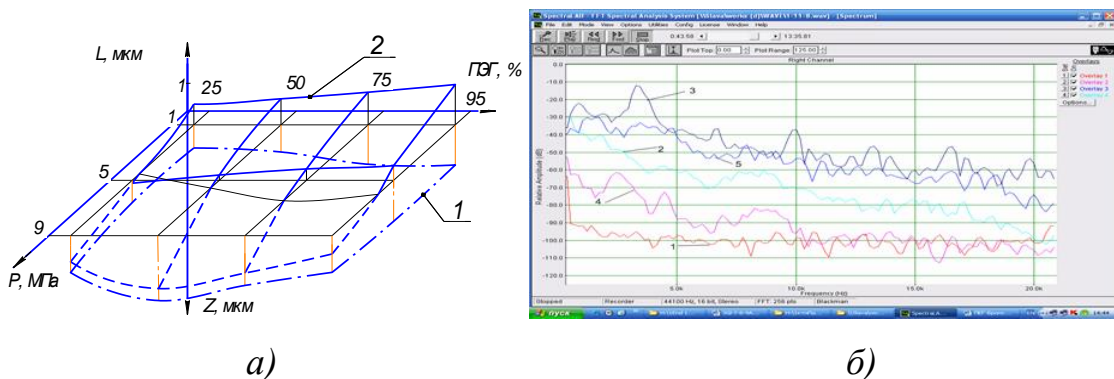


Рис. 3.8 а) Результати вимірювання зразків сталі 45 та ЛС59-1
б) Спектральна характеристика спряженої пари сталі 45 - ЛС59-1

На рис. 3.86 представлена спектральна характеристика спряженої пари сталі 45 -ЛС59-1 у середовищі ПАР з різною концентрацією від 25% до 95%. Початкова частотна характеристика визначає умови роботи приладової системи без навантаження на зразок на рівні -100 дБ (крива №1). При навантаженні до 3 кг сила вібрації збільшується на 50 дБ (крива №2). Подальший нарост при концентрації ПАР 95% зменшує силу коливань на 40 дБ (крива №4).

Вібраційна характеристика на режимі, що встановився, приробка описується графіком №5. Підвищення навантаження до 10 кг підвищує силу коливань до величини (-30...-50) дБ (рис. 3.86 крива №3).

Таким чином, умови відтворення методики відновлення спряженої пари сталь - сплав мідь у середовищі ПАР супроводжується активними змінами властивостей середовища, а також умов сумісності матеріалів і зміни їх стану в процесі роботи.

3.2. Метод компенсації похибок вимірювання параметрів при випробуванні деталей

При вимірюванні дисперсії випадкового струму та напруги використовувалися цифрові та аналогові прилади, які мають квадратичну характеристику перетворення.

Серед аналогових методів вимірювання дисперсії випадкових процесів в діапазоні частот до декілька мегагерц широке використання знаходять термоелектричні методи вимірювання. Цей метод засновано на явищі термоелектричного ефекту, сутність якого в тому, що є два різні метали, в яких з'являється електрорушійна сила.

Похибка термоелектричного метода вимірювання в основному визначається двома обставинами: тепловим режимом та частотою вимірювального випадкового процесу.

Для випадкового процесу оцінка дисперсії \tilde{D} визначається співвідношенням [3]:

$$\tilde{D} = \frac{A^2}{n} \sum_{i=1}^n y_{1i} y_{2i}, \quad (3.5)$$

де $y_{1i} = y_1(t_1)$, $y_{2i} = y_2(t_2)$.

Обчислимо дисперсію оцінки дисперсії \tilde{D} стосовно до аналізу випадкових процесів в дискретні моменти часу, визнаючи що вибірки y_{1i}, y_{2i} незалежні, так як в залежних вибірках повинен бути розрахунок двомірної платності вірогідності допоміжних рівномірно розповсюджених випадкових процесів. Дисперсія оцінена та дисперсії записується наступним

$$\text{чином: } D(\tilde{D}) = \frac{A^4}{n^2} \sum_{i,j=1}^n \langle y_{1i} y_{1j} y_{2i} y_{2j} \rangle - \langle \tilde{D} \rangle^2, \quad (3.6)$$

У подвійної суми виділили члени з $i = j$. Тоді:

$$\sum_{i,j=1}^n \langle y_{1i} y_{1j} y_{2i} y_{2j} \rangle = \sum_{i=1}^n \langle y_{1i} y_{2i} \rangle + \sum_{i,j=1, i \neq j}^n \langle y_{1i} y_{1j} y_{2i} y_{2j} \rangle, \quad (3.7)$$

де $\langle y_{1i} y_{1j} y_{2i} y_{2j} \rangle = \langle \eta_{1i} \eta_{1j} \eta_{2i} \eta_{2j} \rangle$.

Визначимо при стаціонарному випадковому процесі з нульовим математичним сподіванням дві знакові функції:

$$\eta_1(t) = \text{sgn}[\xi(t) - \mu_1(t)], \eta_2(t) = \text{sgn}[\xi(t) - \mu_2(t)] \quad (3.8)$$

отримуємо наступне: $[y_1(t) y_2(t)]^2 = 1$ (3.9)

Комулятивний момент $\langle (\eta_{1i} \eta_{1j} \eta_{2i} \eta_{2j} | x_i x_j) \rangle$ при умовах, що $\xi(t_1) = x_i$, $\xi(t_2) = x_j$. Враховуючи статичну незалежність вибірок η_1 та η_2 , умовний змішаний момент можна записати як:

$$\langle (\eta_{1i} \eta_{1j} \eta_{2i} \eta_{2j} | x_i x_j) \rangle = \frac{x_i^2 x_j^2}{A^4}. \quad (3.10)$$

За допомогою усереднення отримано вираз по можливим значенням незалежних випадкових величин x_i та x_j , маємо наступне:

$$\langle \eta_{1i} \eta_{1j} \eta_{2i} \eta_{2j} \rangle = \frac{\langle x_i^2 x_j^2 \rangle}{A^4} = \frac{\langle x_i^2 \rangle \langle x_j^2 \rangle}{A^4} = \frac{D_0^2}{A^4}. \quad (3.11)$$

Підставляючи (3.9) та (3.11) в (3.5), отримуємо формулу для дисперсії оцінки дисперсії: $D(\tilde{D}) = \frac{A^4}{n} \left(1 - \frac{D_0^2}{A^4} \right)$. (3.12)

При оцінці дисперсії повинно виконуватись умови $D_0 \ll A^2$. Тому, також як і при оцінці математичного очікування з використанням допоміжного сигналу, дисперсії оцінки дисперсії \tilde{D} повністю виконуються вимоги на інтервалі можливих значень допоміжних випадкових послідовностей. При вимірюванні та контролі шорсткості спряжених деталей.

Зрівнюємо отримане значення дисперсії (3.12):

$$\frac{D(\tilde{D})}{D(D^*)} = \frac{A^4}{2D_0^2} \left(1 - \frac{D_0^2}{A^4} \right). \quad (3.13)$$

3.3. Метод проведення вимірювання параметрів авіаційних деталей за допомогою приладової системи

При визначальних випробуваннях виконується також перевірка закону розподілу відмов для даного виду об'єкту. Результати визначальних випробувань служать підставою для оцінки відповідності фактичних показників надійності технічних об'єктів вимогам технічних умов (ТУ).

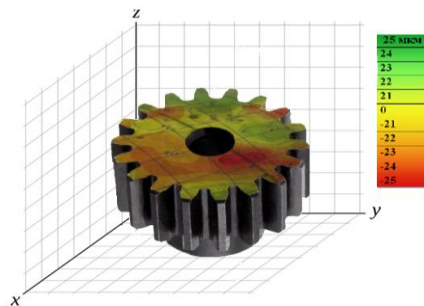


Рис. 3.9. Кольорова карта геометричних параметрів відхилення від форми та розташування поверхні

Контрольні випробування (англ. proof-testing) технічних об'єктів на надійність проводяться з метою контролю відповідності кількісних показників

надійності [2] відповідним стандартам чи ТУ. Ці випробування проводяться періодично в терміни, передбачені стандартами або технічними умовами на даний об'єкт.

За умовами проведення випробування визначальні та контрольні випробування поділяються на лабораторні та експлуатаційні [1, 2]:

- лабораторні випробування — контрольні чи визначальні випробування на надійність, що проводяться в заданих і контрольованих режимах та умовах навколишнього середовища;

- прискорені випробування на надійність - лабораторні (стендові) випробування, методи та умови проведення яких забезпечують одержання інформації про надійність за коротший термін;

- нормальні випробування на надійність — лабораторні (стендові) випробування, методи й умови проведення яких максимально наближені до експлуатаційних для об'єкта;

- експлуатаційні випробування на надійність — контрольні чи визначальні випробування, що проводяться в умовах експлуатації при реєстрованих режимах роботи, умовах навколишнього середовища, технічного обслуговування та вимірювань. Випробування на надійність проводяться для того, щоб на ранніх етапах життєвого циклу виробу виявити потенційні проблеми, забезпечити впевненість, що система буде відповідати заданим вимогам.

Розроблено проект стандарту підприємства по випробуванню деталей в цехових умовах (Додаток В2).

В приладовій системі для контролю параметрів спряжених пар використовувались індуктивні датчики від вихрострумове дефектоскопа D102 для вимірювання шорсткості, датчики з приладом ВШВ-003М1 для зняття вібраційних параметрів при випробуванні спряженого вузла, для

візуального контролю поверхні спряжених деталей мікроскоп МІМ-7 з веб-камерою HD якості та спеціальним програмним забезпеченням «SpectrLab».

Для визначення показників надійності використовують два методи [5]:

- непараметричний — за невідомого виду закону розподілу випадкової величини;
- параметричний — за відомого виду закону розподілу випадкової величини, який містить у собі оцінку параметрів закону розподілу.

Складні системи можуть випробовуватися на рівні компонент, пристроїв, підсистем і всієї системи в цілому. Наприклад, випробування компонент на вплив зовнішніх факторів може виявити проблеми перед тим, як вони будуть виявлені на вищому рівні інтеграції.

Все частіше застосовуються так звані прискорені випробування у динамічно змінному середовищі для оцінювання якості і надійності високоякісної і високонадійної продукції, в тому числі і структурно-складних систем з урахуванням їх старіння, втоми, зносу і деградації в ході їх експлуатації. Для цього в статистиці прискорених випробувань розроблені спеціальні моделі прискорення життя (див праці авторів: Nelson [10], Meeker and Escobar [11], Singpurvalla [12]), котрі добре адаптовані для статистичного аналізу даних про відмови, що спостерігаються як при змінних у часі стресових навантаженнях, так і при наявності процесів деградації, що у свою чергу можуть залежати від цих дестабілізуючих факторів [11].

3.4 Диференціальний метод визначення похибок при дії негаусових завад

Розглянемо вимірювання векторного інформаційного параметру корисного сигналу при впливі адитивної завади з негаусовою щільністю розподілення ймовірності.

Вибір випадкового процесу $Y_h = Y(t_h)$, $h = 1, \dots, H$, є поєднанням

вимірюваного корисного сигналу $S(\lambda, t_h)$, що несе інформацію про інформаційні параметри $\lambda = \{\lambda_1, \dots, \lambda_m\}$, та адитивну негаусову заваду n_h . (21-27), $Y(i_h) = S(\lambda, t_h) + n_h$.

На інтервалі спостереження вимірюванні інформаційні параметри не змінюються та представляють собою функції достатньої статистики та володіють асимптотичними властивостями послідовності.

З метою визначення кількісних оцінок вимірюваних параметрів використовуються нижні границі нерівності Крамера-Рао. Отже, враховуємо що адитивна завада та вимірювані параметри незалежні один від одного. Відповідно до теореми Крамера-Рао, дисперсія будь-якої несуміщеної оцінки визначається наступною нерівністю: $G_\lambda^2 \geq [-m\{d^2 \ln W_n(\lambda)/d\lambda^2\}]^{-1}$, (3.14) де $W_n(\lambda)$ – функція подібності.

Визначимо, що логарифм функції правдоподібності:

$$B_n = \ln W_n\{Y_h - S(\lambda, t_h)\}, \quad (3.15)$$

де $W_n\{*\}$ – щільність розподілення ймовірності адитивної завади.

Визначення точності вимірювання векторного інформаційного параметра на прикладі одночасного вимірювання частоти ω , довільної частоти ω' корисного сигналу:

$$S(\lambda, t_h) = U_{mh} \sin[(\omega + 0,5\omega' t_h)t_h + \phi]. \quad (3.16)$$

Для зручності, корисний сигнал (3.16) представимо у вигляді

$$S(\lambda, t_i) = U_{min} \sin(\lambda_1 + \lambda_2 t_i + \lambda_3 t_i^2), \quad (3.17)$$

де $\lambda_1 = \phi$; $\lambda_2 = \omega$; $\lambda_3 = \omega'$.

При оцінці інформаційних параметрів за максимумом апостеріорної густини розподілу ймовірності мають виконуватися наступні рівняння:

$$\frac{d}{d\lambda_1} \ln W_y(\lambda) \Big|_{\lambda_1 = \hat{\lambda}} = 0; \quad \frac{d}{d\lambda_2} \ln W_y(\lambda) \Big|_{\lambda_2 = \hat{\lambda}} = 0; \quad \frac{d}{d\lambda_3} \ln W_y(\lambda) \Big|_{\lambda_3 = \hat{\lambda}} = 0. \quad (3.18)$$

Елементи інформаційної матриці при $i \neq j$ враховують взаємну залежність

параметрів, що оцінюються. Якщо вимірювані параметри не залежать один від одного, інформаційна матриця спрощується:

$$\|J\| = \begin{vmatrix} J_{11} & & 0 \\ & J_{22} & \\ 0 & & 0 \end{vmatrix} \quad (3.19)$$

Дисперсія параметру буде $G_{ai}^2 = G_{aii}^2 = |J_{ii}|/|J|$; $i=1,2,3$.

Елементи матриці (3.19) можна сформулювати

$$J_{ij} = \sum_{h=1}^H h'_{\lambda_i}(\hat{\lambda}_1, \hat{\lambda}_2, \hat{\lambda}_3, t_l, t_h) S'_{\lambda_j}(\hat{\lambda}_1, \hat{\lambda}_2, \hat{\lambda}_3, t_h) \Delta + I_{\lambda_{\phi ij}} \quad (3.20)$$

де $H = T\Delta$ - ціла частина співвідношення; $\Delta = h-(h-1)$ - інтервал часових відліків; t_i - початок вимірювань; S'_{λ_j} - похідна від корисного сигналу за оцінюваним параметром λ_j ($J = 1,2,3$), що визначається при $\lambda = \hat{\lambda}$; $I_{\lambda_{\phi ij}}$ - як складової інформаційної матриці Фішера відносно вимірюваних параметрів, що полягає в сумісній густині розподілу ймовірностей оцінюваних параметрів $W_{\lambda}(\lambda)$; h'_{λ_i} - похідна по параметру λ_i ($i = 1,2,3$), що визначається $\lambda = \hat{\lambda}$ від вагової функції $h(\lambda, t_l, t_h)$, що є розв'язком рівняння:

$$\sum_{h=1}^H R_n(t_h - t_{h-1}) h(\lambda, t_l, t_h) \Delta = S(\lambda, t_h),$$

де $R_n(t_h - t_{h-1})$ - автокореляційна функція завади.

У випадку δ -корельованого шуму, що має негаусовий характер,

$$h(\lambda, t_l, t_h) = \mu_n^2 N_n^{-2} S(\lambda, t_h),$$

де $\mu_n^2 \geq 1$ - коефіцієнт, що враховує густину розподілу ймовірностей адитивної завади від гаусової; N_n^2 - спектральна густина завади. Тоді рівняння (3.20):

$J_{ij} = \mu_n^2 G_{n\Delta}^2 \sum_{h=1}^H S'_{\lambda_i}(\hat{\lambda}, t_h) S'_{\lambda_j}(\hat{\lambda}, t_h) + I_{\lambda_{\phi ij}}$, де $G_{n\Delta}^2 = N_n^2/\Delta$ - дисперсія завади у смузі $f=1/\Delta$. На інтервалі оцінки інформаційних параметрів отримуємо:

$$J_{ij} = \mu_n^2 \frac{U_{mh}^2}{2G_n^2} (-1)^{i+j-2} T^{i+j-2} (i+j-1)^{-1} + I_{\lambda\phi ij} \quad (3.21)$$

де $U_m = H^{-1} \sum_{h=1}^H U_{mh}$; $G_n^2 = N_n^2 (\Delta H)^{-1} = N_{mm}^2 / T$ - дисперсія адитивної завади.

При оцінці інформаційних параметрів методом максимальної правдоподібності кореляційної матриці помилок:

$$\|J\| = \left\| \mu_n^2 \rho \begin{pmatrix} 1 & -0,5T & 1/3T^2 \\ -0,5T & 1/3T^2 & -0,25T^3 \\ 1/3T^2 & -0,25T^3 & 0,2T^4 \end{pmatrix} \right\| \quad (3.22)$$

Застосовуючи приведені вирази та враховуючи вплив адитивних негаусових завад отримаємо наступе:

$$\text{для частоти: } G_{\omega}^2 \geq \{\mu_n^2 \rho T^2 / 192\}^{-1} \quad (3.23)$$

$$\text{для похідної частоти: } G_{\omega'}^2 \geq \{\mu_n^2 \rho T^4 / 720\}^{-1} \quad (3.24)$$

Прийmemo значення інформаційних параметрів корисного сигналу своїм значенням в момент середини інтервалу вимірювання, вираз для визначення елементів матриці $\|J_{ij}\|$ буде мати наступний вигляд:

$$J_{ij} = \mu_n^2 \frac{U^2 m}{2G_n^2} (-1)^{i+j-2} [(0,5T)^{i+j-2} - (-0,5T)^{i+j-2}] [i+j-1]^{-1} + I_{\lambda\phi ij}$$

При оцінюванні інформаційних параметрів матриці $\|J_{ij}\|$ методом максимальної правдоподібності визначимо її як:

$$\|J\| = \mu_n^2 \rho \begin{pmatrix} 1 & 0 & T^2 / 12 \\ 0 & T^2 / 12 & 0 \\ T^2 / 12 & 0 & T^4 / 80 \end{pmatrix} \quad (3.25)$$

Звідси $\|J\| = (\mu_n^2 \rho)^3 T^{\sigma} / 2160$.

$$\text{В цьому випадку для частоти: } G_{\omega}^2 \geq \{\mu_n^2 \rho T^2 / 12\}^{-1} \quad (3.26)$$

$$\text{для похідної частоти: } G_{\omega'}^2 \geq \{\mu_n^2 \rho T^4 / 720\}^{-1} \quad (3.27)$$

Порівнюючи вирази (3.22) та (3.26) визначимо, що нижня границя дисперсії оцінок ω та φ значно менше при вимірюванні в середині інтервали спостереження. Підвищення точності таких вимірювань пов'язано з тим, що в цьому випадку, виходячи з виразу (3.24), недиагональні елементи $J_{12}, J_{21}, J_{23}, J_{32}$ рівні нулю. У випадку відмінності від нуля недиагональних елементів в матриці $\|J\|$ - слід враховувати наявність кореляційних зв'язків між похибками оцінок окремих вимірюваних параметрів.

На графіках (рис 3.10) видно, що зі зростанням ρ , T , и μ_n^2 приведена похибка вимірювання зменшується, а точність вимірювання зростає.

Отже, врахування негаусового характеру впливу адитивної похибки дозволяє значно підвищити точність.

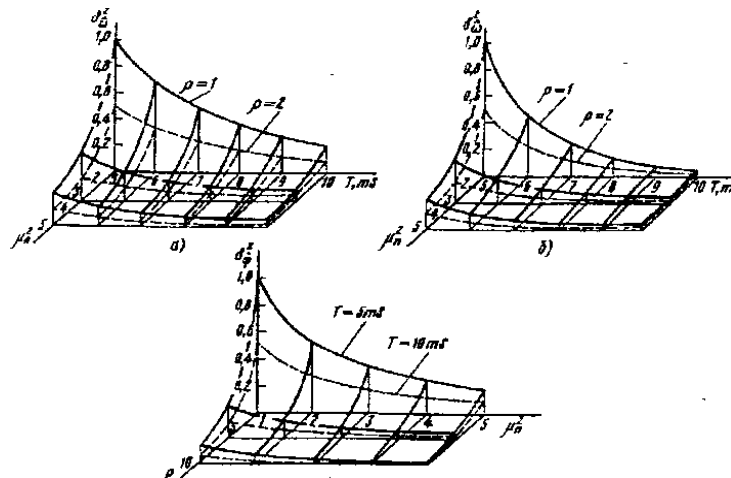


Рис. 3.10 – Графіки залежності похибок вимірювання сигналу

Розглянемо задачу розпізнавання двох когерентних сигналів $S_1(t, \lambda)$ и $S_0(t, \lambda)$. Гіпотеза H_1 відповідає наявності у вибірці сигналу $S_1(t, \lambda)$:

$$H_1: y(t, \lambda) = S_1(t, \lambda) + n(t) = S_1(t, \lambda) + n_1(t) + n_2(t).$$

Альтернативна гіпотеза така:

$$H_0: y(t, \lambda) = S_0(t, \lambda) + n(t) = S_0(t, \lambda) + n_1(t) + n_2(t).$$

Тут $n_1(t)$ - білий гаусів шум; $n_2(t)$ - негаусівська перешкода, з відомим розподілом, яку будемо вважати незалежною від флуктуаційного шуму.

Будемо вважати, що $S_0(t, \lambda)$ відповідає кодовому символу "0", а $S_1(t, \lambda)$ – кодовому символу "1".

Крім того, припустимо, що відомі наступні статистичні характеристики флуктуаційного шуму і негаусових перешкоди: середні значення $E\{n_1(t)\} = E\{n_2(t)\} = 0$; кореляційні функції

$$E\{n_1(t)n_1(\tau)\} = N\delta(t-\tau), \quad E\{n_2(t)n_2(\tau)\} = B(t, \tau).$$

Ймовірності помилкових переходів $p(0/1)$ і $p(1/0)$, коли в каналі діє як флуктуаційний шум, так і негаусових перешкоди і використовується алгоритм розрізнення, визначаються можливостями виконання нерівностей:

$$p(0/1) = P\{\xi < -A\}, \quad p(1/0) = P\{\xi > A\}, \quad (3.28)$$

$$\text{де } \xi = \int_T n_{\Sigma}(t) S_{on.p.}(\lambda, t) dt = \int_T \int_T [n_1(t) + n_2(t)] \psi(t, \tau) S_p(\lambda, \tau) dt d\tau, \quad (3.29)$$

Отже, знаходження ймовірностей помилкових переходів, так само, як і ймовірності помилки, зводиться до знаходження розподілу випадкової величини

$$\xi = \int_T n_{\Sigma}(t) S_{on.p.}(t, \lambda) dt = \int_T [n_1(t) + n_2(t)] S_{on.p.}(t, \lambda) dt.$$

Тому подаємо випадкову величину ξ в наступному вигляді:

$$\begin{aligned} \xi &= \xi_1 + \xi_2; \\ \xi_i &= \int_T n_i(t) S_{on.p.}(t, \lambda) dt, \quad i=1, 2, \end{aligned} \quad (3.30)$$

де ξ_1, ξ_2 - незалежні випадкові величини. В силу введених припущень, випадкова величина ξ_i є гаусом з щільністю розподілу:

$$W_{\xi_i}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}}, \quad (3.31)$$

$$\begin{aligned} \text{де } \sigma_x^2 &= \left\langle \left(\int_T n_1(t) S_{on.p.}(t, \lambda) dt \right)^2 \right\rangle = \int_T \int_T n_1(t) n_1(\tau) S_{on.p.}(t, \lambda) S_{on.p.}(\tau, \lambda) dt d\tau = \\ &= N \int_T S_{on.p.}^2(t, \lambda) dt. \end{aligned} \quad (3.32)$$

В силу незалежності ξ_1 і ξ_2 щільність розподілу $W_\xi(x)$ величини ξ можна уявити як:

$$W_\xi(x) = \int_{-\infty}^{\infty} W_{\xi_1}(x-z)W_{\xi_2}(z)dz. \quad (3.33)$$

На рис. 3.11 показані залежності щільності розподілів $W_\xi(x)$, обчислені при $\sigma_{\eta_2}^2 = 0,1$ і зміні c_4 в межах 1 ... 10 в разі, коли коефіцієнти асиметрії $c_3 \neq 0$.

Як видно з рис. 3.11а залежності $W_\xi(x)$ при зміні c_3 асиметричні щодо осі ординат.

На рис. 3.11б наведені залежності щільності розподілів ймовірностей $W_\xi(x)$ при $c_4=5$ і зміні σ_{η_2} в межах 0,1 ... 2, 25 в разі наявності у ПРВ асиметрії, тобто $c_3 \neq 0$.

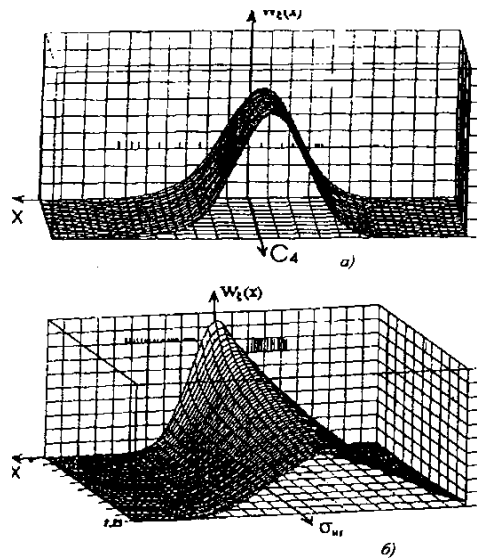


Рис. 3.11. Щільність розподілу ймовірностей випадкової величини

Після перетворень можна записати:

$$d^2 = \frac{1}{4} \int_T S_p(t, \lambda) S_{on.p.}(t, \lambda) dt = \frac{A}{2} = \frac{\sigma_\Sigma^2}{4} \quad (3.34)$$

Обмеження в сумі ряду двома його складовими означатиме, що, беручи до уваги негаусовий характер перешкод, можна враховувати тільки коефіцієнт ексцесу, відповідний коефіцієнту c_4 .

Неважко побачити, що в разі гауссових приймає вигляд:

$$P_z = 0,5 \left[1 - \Phi(\sqrt{d^2}) \right] \quad (3.35)$$

На рис. 3.12. наведені криві ймовірності помилки як функції ОСП d^2 для деяких значень c_4 (при $\sigma_z^2 = const$). Там же показана крива ймовірності помилка оптимального кореляційного вимірювання при гауссовому шумі, розрахована за формулою (3.34).

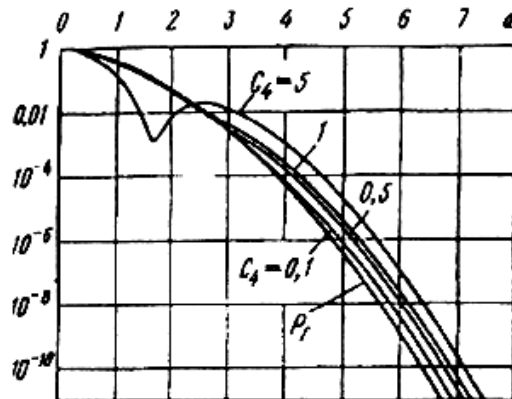


Рис. 3.12. Імовірність помилкового вимірювання

Енергетичний програш неоптимального вимірювання при негаусовому шумі по відношенню до оптимального при гауссовому шумі.

Розглянемо вимірювання векторного інформаційного параметру корисного сигналу при впливі адитивної завади з негаусовою щільністю розподілення ймовірності.

Вибір випадкового процесу $Y_h = Y(t_h)$, $h = 1, \dots, H$ є поєднанням вимірюваного корисного сигналу $S(\lambda, t_h)$, що несе інформацію про інформаційні параметри $\lambda = \{\lambda_1, \dots, \lambda_m\}$ та адитивності негаусової завади n_h :

$$Y(ih) = S(\lambda, t_h) + n_h. \quad (3.36)$$

На інтервалі спостереження вимірюванні інформаційні параметри не змінюються та представляють собою функції достатньої статистики та володіють асимптотичними властивостями послідовності, неупередженості та нормальності.

Моменти часу, що відповідають початку та закінченню сигналу, що оброблюється, відомі та співпадають з межами інтервалу спостереження $[0, T]$. З метою визначення кількісних оцінок вимірюваних параметрів використовують нижні границі нерівності Крамера-Рао. Отже, враховуємо що адитивна завада та вимірювані параметри незалежні один від одного. Відповідно до теореми Крамера-Рао, дисперсія будь-якої несуміщеної оцінки визначається наступною нерівністю:

$$G_{\lambda}^2 \geq [-m\{d^2 \ln W_n(\lambda) / d\lambda^2\}]^{-1}, \quad (3.37)$$

де $W_n(\lambda)$ – функція подібності.

Висновки до розділу 3

1. Проведений моніторинг вібраційного аналізу змін поверхневих перетворень за допомогою візуального спостереження зміни плівок, встановлено, що найбільш активні перебудови топографії поверхні проходять на частотах вібраційного сигналу, що перебуває в межах 1...5 кГц;

2. Розроблена система випробування спряжених деталей на базі імпульсного модульованого струму та показано, що одним із перспективних шляхів підвищення якісних характеристик виробів є проведення випробування після відновлення вказаних деталей.

3. При вимірюванні параметрів авіаційних деталей була розглянута паразитна похибка, яка була розглянута та був запропонований фільтр Калмана, проведено аналіз викладений в даному розділі.

4. Подальшого розвитку набув диференційний метод визначення похибки при дії адитивних негаусових завад.

5. Проведено експерименти для вивчення фізичних властивостей матеріалу, а також оцінений інформаційний параметр методом максимальної правдоподібності з використанням кореляційної матриці

Список використаних джерел до розділу 3

1. Квасніков В.П. Метод алгоритмічної компенсації похибки вимірювання в трибосистемах / В.П. Квасніков, В.Г. Паращанов // Вісник Інженерної академії України – 2019. – №2. – С.19– 23.
2. Паращанов В.Г. Метрологічне забезпечення проведення випробування прецизійних деталей / В.Г. Паращанов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2019. – №2 – С.45– 48.
3. Патент № 36600 (Україна), МПК G01N 3/56. Пристрій для дослідження тертя та зношування [Текст] / Свирид М.М., Занько С.М., Паращанов В.Г., Задніпровська С.М., Приймак Л.Б. // Реєстрац. номер заявки U200809663. Опубліковано 27.10.2008, Бюл. № 20, 2008 р.
4. Патент № 36601 (Україна), МПК G01N 3/56, Спосіб відновлення поверхні тертя [Текст] / Свирид М.М., Кравець І.А., Паращанов В.Г., Занько С.М., Задніпровська С.М. // Реєстрац. номер заявки U200809664. 27.10.2008, Бюл. № 20, 2008 р.
5. Дмитриев А.К. Синтез гибкой оптимальной по достоверности программы диагностирования технического объекта / А.К. Дмитриев // Изв. вузов. приборостроение. – 2000, т.43, №7. – С.16-26.
6. Куликов Е.И. Методы измерения случайных процессов / Е.И.Куликов. – М.: Радио и связь, 1986. – 272с.
7. Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення: ДСТУ 3021-95. – [дата введення 1.01.1996]. – К.: КНДІРВА, 1995. – 20 с.
8. Надійність техніки. Терміни та визначення: ДСТУ 2860-94. – [дата введення 1.01.1996.] – 76 с.

9. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними: ДСТУ 3004-95. – [дата введення 1.01. 1997]. – 52 с.
10. Nelson W. Accelerated Testing: Statistical Models, Test Plans, and Data Analysis/ W. Nelson. – New York: J.Wiley and Sons, 1990. – 665 с.
11. Meeker W.Q. Statistical Methods for Reliability Data / W.Q.Meeker, L.A.Escobar. – New York: J.Wiley and Sons, 1998. – 774 с/
12. Singpurvalla N. Survival in Dynamic Environments / N.Singpurvalla // Statistical Science. – 1995, v.1, 10. – p.86– 103.
13. Нуберт Г. П. Измерительные преобразователи неэлектрических величин. Введение в теорию, расчет и конструирование /Г. П. Нуберт. – Л.: Энергия, 1970. – 360 с.
14. Алиев Т. М. Измерительная техника / Т. М. Алиев, А. А. Тер-Хачатуров. – М.: Высшая школа, 1991. – 384 с.
15. Аш Ж. Датчики измерительных систем: В 2 х кн. Кн. 2. /Ж.Аш – М.: Мир, 1992. – 480 с.
16. Бауман Э. Измерение сил электрическими методами /Э. Бауман. – М.: Мир,1978. – 430с.
17. Бахвалов Н.С. Численные методы / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 636 с.
18. Белый Д. М. Новые направления аналоговых измерительных электроизмерительных приборов / Д. М.Белый. – М. : Информприбор, 1988. – 636 с.
19. Болтон У. Карманный справочник инженера-метролога / У.Болтон. – М.: Додэка-XXI, 2002. – 484 с.
20. Бриндли К. Измерительные преобразователи К.Бриндли. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 134 с.

21. Математические модели оценки устойчивости нелинейных нестационарных систем.-Винница: Изд-во Винницкого политехнического института, 1997.-98 с.
22. Сейдж Э.П., Мелс Дж. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении.-М.: Связь, 1976.-496 с.
23. Сейдж Э., Мелс Дж. Идентификация систем управления.-М.: Наука, 1974.-496 с.
24. Алиев Р.А., Абдикеев Н.М., Шахназаров М.М. Производственные системы с искусственным интеллектом.-М.: Радио и связь, 1990.-264 с.
25. Харкевич А.А. Борьба с помехами.-М.: Наука, 1965.-154 с.
26. Цыпкин Я.З. Основы информационной теории идентификации.-М.: Наука, 1984.-284 с.
27. Цветков Э.И. Алгоритмические основы измерений.-Л.: Энергоатомиздат, 1992.-252 с.
28. Иванов В.А., Первичные преобразователи информации: Учебное пособие / В.А.Иванов, М.Я. Марусина, В.Л. Ткалич. – СПб.: СПбГИТМО(ТУ), 2002. – 103 с.
29. Кунченко Ю.П. Нелинейная оценка параметров негауссовских радиофизических сигналов.-К.: Вища школа, 1987.-191 с.
29. Гаптнахер Ф.Р. Теория матриц.-М.: Наука, 1988.-552 с.
- Иванов В.А. Прикладная метрология: Учебное пособие / В.А.Иванов, М.Я.Марусина, В.Л. Ткалич. – СПб.: СПбГИТМО(ТУ), 2003. – 104 с.
30. Коротков В.П. Основы метрологии и теории точности измерительных устройств / В.П.Коротков, Б.А. Тайц. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 352 с.
31. Ким К.К. Метрология, стандартизация, сертификация / К.К. Ким. – СПб.: Питер, 2006. – 367 с.

32. Jiaa C., Dornfeld D. Experimental studies of sliding friction and wear via acoustic emission signal analysis / C.Jiaa, D.Dornfeld //Wear. – 1990. – №139. – P. 403– 424.
33. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологи / Г.Д.Крылова. – М.: Издательство Юнити-Дана, 1999. – 711 с.
34. Кузнецов В.А., Ялунина Г.В. Основы метрологи / В.А.Кузнецов, Г.В. Ялунина. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 230 с.
35. Маркин Н.С. Практикум по метрологии: Учеб. пособие / Н.С. Маркин. –М.: Изд-во стандартов, 1994. – 186 с.
36. Марусина М.Я. Инвариантный анализ и синтез в моделях с симметриями / М.Я. Марусина. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2004. – 144 с.
37. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений / П.В.Новицкий, И.А.Зограф. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 245 с.

РОЗДІЛ 4

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИПРОБУВАННЯ СПРЯЖЕНИХ ДЕТАЛЕЙ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В даному розділі розглянуто практична реалізація розробленої приладової системи, проведена оптимізація номенклатури засобів вимірювані при випробуванні, та представлені результати експериментальних досліджень вимірювання деталей.

Задачами цього розділу, було розробити метрологічний комплекс та метрологічне забезпечення контролю спряжених деталей. Досліджено вплив імпульсного модульованого струму при вимірюванні шорсткості приладових систем порівняльні характеристики випробування спряжених пар. Одним з основних факторів, що визначають довговічність деталей машин і механізмів, є зносостійкість матеріалів.

Показано що шорсткість поверхні зуба шестерні в процесі експлуатації може досягати 20 мкм., хоча припустима величина складальної зазор (5...6) мкм. Випробування після відновлення шестерних пар насосів є складною технічною операцією, що вміщає в себе кілька технологічних процесів.

Технології випробування, запропоновані в цій роботі ґрунтуються на використанні метрології, теорії точності вимірювань, теорії випадкових процесів, статистичні методи, реалізованих у процесі експериментальних досліджень.

За результатами наукових досліджень, приведених у даному розділі надруковані в роботах автора [1–7].

4.1. Розрахунок метрологічних характеристик приладової системи та оптимізація номенклатури засобів вимірювальної техніки

Для підвищення ефективності експериментальних досліджень використовуємо статистичні методи дослідження. При обґрунтуванні

моделей підвищення якості деталей вибираємо вихідні положення, що пояснюють фізичні аспекти процесу зношування.

Під повнофакторним експериментом розуміємо такий експеримент, у якому реалізовані всі можливі комбінації, що не повторюються. Якщо число факторів рівно k , а число рівнів кожного з них рівно s , то число комбінацій N при повному факторному експерименті відповідає кількості незалежних досвіду і рівно s^k , так звана $N = s^k$. Звичайно частіше зустрічаються плани експерименту типу 2^k , рідше 3^k і дуже рідка при $s > 3$ у зв'язку в різким ростом числа незалежних досвіду N . Широке застосування планів типу 2^k обумовлене поруч їх оптимальних властивостей і насамперед раціональним розміщенням експериментальних крапок у факторному просторі. Повний факторний експеримент типу 2^k дозволяє описати процес математичною моделлю першого порядку:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j \quad (4.1)$$

Слід зазначити, що порядок математичного рівняння на одиницю менше, чим прийняте в плані експерименту число рівнів факторів [10, 11].

Таблиця 4.1

Фактори математичного планування експерименту

в х і д н і	Трибо- логічні	Швидкість, м/с	0,2	0,4	0,6	1	в х і д н і	Трибо- логічні	Зношування мкм	0,03
		Навантаження МПа	10	5	1	0,5			Відновлення мкм	1,2
	Техно- логічні	Напруга вхідна, [В]	30	60	90			Техно- логічні	Струм вих. (А)	0.06
		Струм вхідний [А]	0,2	0,5	0,8				Напруга вих. (В)	3
		Середовище	25%	50%	75%	95%			Частота, кГц	1
		Частота, Гц	1000	4000	7000	9000				

Проаналізуємо ці етапи докладніше. Вибравши параметри оптимізації, фактори й рівні їх варіювання, кодують фактори. Кодування — це переклад натуральних значень рівнів факторів у кодові безрозмірні величини з метою побудови стандартної матриці експерименту.

Планування експерименту починаємо з визначення кількості вхідних факторів. У такий спосіб на першому етапі в матрицю планування дробової репліки від ПФЕ можна включити шість параметрів: навантаження (X_1) і швидкість (X_2); інші технологічні напруга в електрохімічному гнізді (X_3), струм гнізда (X_4), робітниче середовище ПАР різної концентрації (X_5), частота електричного сигналу (X_6).

При багатоточкових вимірюваннях спостереженнях вхідних величин, за допомогою статистичних методів (тип А) [8, 9] проведена оцінка складових невизначеності результату вимірювання:

$$u_A(\bar{y}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\bar{y} - \gamma_i)^2}, \quad (4.2)$$

де: n — кількість багато точкових вимірювань; \bar{y} — середнє значення вхідної величини; γ_i — значення вхідних величин ($i=1 \dots n$).

Коли змінні є незалежними, це співвідношення приймає вигляд:

$$u(y(x_{i,j} \dots)) = \sqrt{\sum_{i=1,m} c_i^2 u(x_i)^2 + \sum_{\substack{i,k=1,m \\ i \neq k}} c_i c_k \cdot u(x_i, x_k)}, \quad (4.3)$$

де: $u(x_i, x_k)$ є коваріація між x_i та x_k , а c_i та c_k — коефіцієнти чутливості.

Коваріацію пов'язано з коефіцієнтом чутливості $r_{i,k}$ співвідношенням:

$$u(x_i, x_k) = u(x_i) \cdot u(x_k) \cdot r_{i,k}, \quad (4.4)$$

де: $-1 \leq r_{i,k} \leq 1$. Проведено визначення складових невизначеності за типом В, при відомих даних на похибку приладів $\pm \delta$, при умові рівномірного закону розподілу, що визначається за формулою: $u_B(\gamma_i) = \delta/\sqrt{3}$.

Показано, що при врахуванні відсутності кореляції між вхідними величинами сумарну невизначеність вихідної величини визначено за формулою:

$$u(\varepsilon) = \sqrt{\sum_m k^2_m (u_{A,m}^2 + u_{B,m}^2)}. \quad (4.5)$$

Розширена невизначеність оцінена при коефіцієнті охоплення $k=2$ ($P=0,98$), а саме: $U = 2 \cdot u(\varepsilon)$.

Розглянемо розрахунок метрологічних характеристик приладової системи в статичному режимі в номінальних умовах експлуатації. Визначимо МХ двох вимірювальних каналів в стаціонарному динамічному режимі при нормальних умовах роботи по вихідними даними для розрахунку ε : $A_{Hi}(\omega)$ - номінальна характеристика компонента, що входить у вимірювальний канал; $\varphi_{Hi}(\omega)$ - номінальна ФЧХ компонента; $\Delta A_i(\omega)$ - найбільш допустиме відхилення АЧХ; $\Delta \varphi_i(\omega)$ - найбільш допустиме відхилення ФЧХ; $S \Delta_i(\omega)$ - спектральна щільність випадкової складової похибки компонента [9, 14].

Розроблена приладова система дозволяє вимірювати, розпочинаючи з розміру 0,01 мкм. Цей розмір можна взяти за початковий. Тоді отримуємо:

$$\delta_M = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2} = \sqrt{\left(\frac{0,15}{2 \cdot 10^5} \cdot 100\right)^2 + \left(\frac{0,06}{2 \cdot 10^5} \cdot 100\right)^2} = 0,03\% .$$

Вимірювання деталі спряженої пари при довірчій ймовірності $P = 98\%$, що відповідає межах $\pm 3\sigma$. Тому, $\sigma_M = \frac{0,01}{3} = 0,003\%$, а параметри експоненціального закону $K_M = 1,05$; $E = 3$; $\chi = 0,57$.

Відомо, що похибка коефіцієнта підсилення напруги буде мультиплікативною і розподілена за трикутним законом, тому що виникає при коливанні напруги. Максимальним значенням СКО становить $\sigma_c = 2,73\%$, а СКВ $\sigma_c = 2,73\% \sqrt{6} = 1,32\%$. Параметри розподілення: $K_c = 2,02$; $E = 2,4$; $\chi = 0,65$.

Таким чином максимальне значення цієї похибки при $\sigma_t = + 0,2\% / 10K$ становить $\delta_{tc} = 0,06\%$; $\sigma_{tc} = 0,06 / \sqrt{3} = 0,03\%$; $K = 1,73$; $E = 1,8$; $\chi = 0,745$

Границя допустимої відносної похибки АЦП визначається наступним

$$\text{чином: } \delta_A = \pm \left[0,3 + 0,2 \left(\frac{U_K}{U_X} - 1 \right) \right].$$

Таким чином при вхідному сигналі визначено що похибка АЦП не перевищує 0,2%.

При вимірній напрузі сигналу U_x визначається найменшим значенням відхилення від форма деталі, яке може бути дозволено застосовуваної системою, і це значення має бути якомога меншим. Для даної схеми сигнал $U_x = 10$ мВ. При цьому мінімальне значення $U_{xmin} = 15$ мВ, $U_{xmax} = 250$ мВ. Тоді, при адитивній складовій похибці АЦП 0,3% найбільше значення мультиплікативної складової може досягати $0,2 \left(\frac{5.12}{15 * 10^{-3}} - 1 \right) = 68\%$ на початку діапазону вимірювання і $0,2 \left(\frac{5.12}{0.15} - 1 \right) = 6,6\%$ в кінці діапазону вимірювання, тобто відносна похибка АЦП змінюється від $\delta_{АН\delta\Sigma} = 68,3\%$ до $\delta_{АНМ\Sigma} = 6,9\%$.

Для переходу від максимальної похибки АЦП до СКО необхідне знання виду закону розподілу цієї похибки [10, 15].

Похибки, що виникають на ключовому елементі, істотно залежать від типу такого елемента. В аналізованому каналі тип електронного перемикача ФК78, внутрішній опір у відкритому стані $R_{BH} = 150$ Ом. Величина струму, що протікає через ключ, визначається вхідним опором R_{BX} АЦП: $R_{ex} = 10$ мОм. Найбільше значення вхідного струму I_{ex} рівно:

$$I_{ex} = 150\text{мВ} / 10\text{мОм} = 0,15\text{В} / 10^7 \text{ Ом} = 1,5 \cdot 10^{-8} \text{ А}.$$

Тоді падіння напруги на внутрішньому опорі ключа U_{RbH} буде рівним:

$$U_{RbH} = 150 \text{ Ом} \cdot 1,5 \cdot 10^{-8} \text{ А} = 2,25 \cdot 10^{-6} \text{ В}$$

найбільше значення відносної похибки ключа внаслідок втрати сигналу на ньому може бути знайдено як: $\delta_{KH\delta} = \frac{2,25 \cdot 10^{-6} \text{ В}}{1,5 \cdot 10^{-1} \text{ В}} 100 = 1,5 \cdot 10^{-3} \%$.

Похибка цифро-аналогового перетворювача мультиплікативна і

нормована наведеної основною похибкою $\gamma=0,03\%$ при вихідному сигналі ± 10 В. Значення абсолютної похибок може бути знайдено як

$$\Delta_o = \frac{\gamma X_N}{100} = \frac{0,03 \cdot 10}{100} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ В.}$$

Відносна похибка ЦАП становить

$$\delta_{\text{УНД}} = \frac{\Delta}{X_{\text{ИЗ}}} \cdot 100 = \frac{3}{2,45} \cdot 100 = 7\%; \quad \delta_{\text{УНМ}} = \frac{3}{8,45} \cdot 100 = 7\%.$$

При визначенні експоненціальної складової похибки ЦАП відомо, що складається з двох частин:

$$\sigma_{1\text{цнб}} = \sqrt{20^2 \cdot \frac{12}{13}} = 19,2\%; \quad \sigma_{2\text{цнб}} = \sqrt{20^2 \cdot \frac{1}{13}} = 5,55\%;$$

$$\sigma_{1\text{цнм}} = \sqrt{2^2 \cdot \frac{12}{13}} = 1,92\%; \quad \sigma_{2\text{цнм}} = \sqrt{2^2 \cdot \frac{1}{13}} = 0,55\%.$$

Визначено СКВ відхилення систематичної складовою ЦАП:

$$\sigma_{\text{нб}} [\Delta_c]_1 = \sqrt{16^2 \cdot \frac{12}{13}} = 15,4\%; \quad \sigma_{\text{нб}} [\Delta_c]_2 = \sqrt{16^2 \cdot \frac{1}{13}} = 4,4\%.$$

СКВ складовою з урахуванням закону розподілу

$$\sigma_{\text{нб}} \left[\overset{\circ}{\Delta} \right]_1 = \sqrt{6,66^2 \cdot \frac{12}{13}} = 6,4\%; \quad \sigma_{\text{нб}} \left[\overset{\circ}{\Delta} \right]_2 = \sqrt{6,66^2 \cdot \frac{1}{13}} = 1,8\%$$

Параметри композиційного розподілу $\alpha = 0,5$; $K = 1,35$; $E = 25,2$; $\chi = 0,2$.

$$\text{Відносна похибка цифрового вольтметра } \gamma = \pm \left[0,01 + 0,005 \left(\frac{U_k}{U_x} - 1 \right) \right] \%.$$

Її приведені значення рівно 0,01% при нульовому сигналі на вході приладової системи та лінійною росте до значення $\left(\frac{U_k}{U_x} - 1 \right)$, де U_k – кінцеве значення напруги вибраного діапазону вимірювання, для вольтметра В7-42/4 $U_k = 500$ мВ, визначаємо по формулі: $\sigma = 0,005 \left(\frac{500}{15} - 1 \right) = 0,16\%$.

Для переходу від максимального значення похибки ЦВ до її

середньоквадратичного відхилення слід врахувати аналіз, проведений при ідентифікації похибок АЦП і ЦАП. При цьому СКО буде $\sigma_{\text{нцв}} = 0,01/\sqrt{3} = 0,006\%$.

4.2. Метрологічний комплекс та метрологічне забезпечення контролю спряжених деталей

Структурний і фазовий склад досліджували методами металографічного аналізу на оптичних мікроскопах МІМ-7, ПМТ-3, ММР-2Р, “Neophot-21”, РЕМ та мікрорентгенно-спектрального мікроскопа Regula 5001 (растровий електронний мікроскоп). Рентгенографічні дослідження проводили на дифрактометрі ДРОН-УМ1. Топографічний аналіз поверхні вивчали за допомогою приладу безконтактний інтерференційний 3D профілограф. «Мікрон-Альфа» дозволяє: будувати 2D і 3D профілі поверхні; кількісно-оцінювальні характеристики поверхні. Поле сканування (X,Y), мкм. (350x250) 100x90. Дозвіл по горизонталі (X,Y), мкм, 0,16. Максимальна вимірювана висота рельєфу (Z), мкм – 40. Діапазон по вертикалі (Z), нм – 5. Технічні та метрологічні характеристики приведені в додатку В1.

Таблиця 4.2

Характеристики які вимірює приладової системи

№, п/п	Назва величини	Одиниця вимірювання	Значення величини	Відносна похибка вимірювання, %	Середн–квадрат. відхилення
1	Швидкість	м/с	0,01...0,1	7	0,2
2	Тиск	МПа	1...10	6	0,2
3	Рельєф	мкм	0,16...40	3	0,3
4	Розмір	Нм	3...8	3	0,5
5	Шорсткість	Нм	2...6	4	0,12
6	Маса	Г	3...9,5	2	0,23

Характеристики які вимірює приладова система представлені в табл.4.2. Дослідження проводили при швидкостях (0,01...1) м/с, навантаження змінювалося (1...10) МПа. Зразком служила сталь 20, 65Г, ЛС59-1, Д16, 30ХГСА..

Вимірювання зношування фіксували на аналітичних вагах АДВ-200М з похибкою 1×10^{-4} г.

Лінійні вимірювання зношування проводили по методиці відбитків, які робили на мікротвердомір ПМТ-3 по зміні довжини діагоналі відбитка. На установці на протязі 2-х хвилин притирали зразок до появи плями контакту, зовнішній вигляд якого спостерігали на екрані монітора, далі розбирали й на місці контакту робили укол піраміда заміряючи довжину діагоналі. Похибка вимірювання відповідає 1×10^{-4} мм. Основні похибки показані в табл.4.3.

Таблиця 4.3

Основні похибки приладової системи

Назва показника	Границя допустимого значення
Основна приведена похибка	$\gamma_0 = 0,1\%$ (3мВ);
Систематична складова основної похибки	$\Delta c_0 = 3\gamma_0$ (2,4 мВ)
Середньоквадратичного відхилення випадкової складової основної похибки	$\sigma_g = 4$ мВ
Варіації вихідного сигналу	0,625 мВ

Похибка цифро-аналогового перетворювача мультиплікативна і нормована основною похибкою $\sigma = 0,03\%$ при вихідному сигналі ± 10 В. Значення абсолютної похибки може бути визначено як:

$$\Delta_o = \frac{\gamma X_N}{100} = \frac{0.03 \cdot 10}{100} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ В.}$$

4.3. Метрологічне забезпечення експериментального дослідження приладової системи

Для перевірки розробленої приладової системи проведено випробування, при якому проводилося вимірювання спряжених деталей і

визначення та обробка результатів вимірювання на ПК. Проведена метрологічна атестація приладової системи за допомогою зразкових засобів вимірювання, а саме кінцеві міри довжини, набір 2 класу 01 та зразки шорсткості класу 02. А також лазерна вимірювальна система LMS-100.

Результати експериментальних досліджень підтвердили результати на макетній установці, працездатність приладової системи з визначенням метрологічних характеристик по їх математичним моделям. Проведена перевірка коректності запропонованих положень, методик та методів в реальних робочих умовах на практиці при проведенні натурних випробувань [14].

Результати вимірювання на приладовій системі добре узгоджуються з теоретичними матеріалами для різних поверхонь деталей. Максимальне аномальне відхилення залежить від роботи спряженої пари.

При цьому отримана інформація у вигляді тривимірного кольорового зображення відповідно від масштабної таблиці.

Для проведення калібрування індукційного датчика приладової системи, було визначення параметрів метрологічних характеристик по вихідному сигналі. Визначені масштабні коефіцієнти, які враховувались при обчисленні дійсних значень. Калібрування здійснювалися на стендах з використанням зразкових засобів, при подачі сигналу на вхід з наступним вимірюванням на виході.

Після проведення калібрування [18] (таблиця 4.4) і визначення всіх коефіцієнтів моделі вихідних сигналів, проводиться визначення масштабних коефіцієнтів відхилення від форми та розташування поверхні. По результатам обчислень, зроблено висновок, про похибку вимірювання дефектів, що не перевищує допустимі (Додаток Б4).

Ймовірність α_u є ймовірність помилки першого роду при прийнятті рішень. Достовірність є ймовірність $P\{s_u s_1\}$, яку відносимо до контрольної вибірки класу s_u та може бути виражено в силу умови повноти рішень

$\sum_{v=1}^K P\{s_u s_v\} = 1$ співвідношенням. $P\{s_u s_v\} = 1 - \alpha_u$. Значення оптимальних обсягів вибірки представлені в (таблиці 4.5).

Таблиця калібрувань

Таблиця 4.4

Акселерометр	Результати калібрування			
	$k_{ij} = [16\text{-бітне число} \cdot \text{с}^2/\text{м}]; U_{ai} = [16\text{-бітне число}]$			
X	$k_x = 1664.238$	$k_{xy} = -3.476$	$k_{xz} = 81.208$	$U_{ax0} = 5.96$
Y	$k_{yx} = 8.661$	$k_y = 1675.296$	$k_{yz} = 12.142$	$U_{ay0} = 212.382$
Z	$k_{zx} = -79.595$	$k_{zy} = -22.2$	$k_z = 1701.618$	$U_{az0} = 827.475$

Таблиця 4.5

Значення оптимальних обсягів вибірки

$1 - \alpha_0$ $= 1 + \beta_0$	$\alpha_\varepsilon = 0.1$		$\alpha_\varepsilon = 0.05$		$\alpha_\varepsilon = 0.01$	
	m^*	n^*	m^*	n^*	m^*	n^*
0,9	886	1302	3544	5208	88600	130200
0,95	1286	2084	5140	8330	128600	208400
0,98	1800	3340	7190	13350	180000	334000
0,99	2334	4140	9350	16550	233400	414000

Залежність між навчаючою та контрольною вибіркою представлено на рис. 4.1.

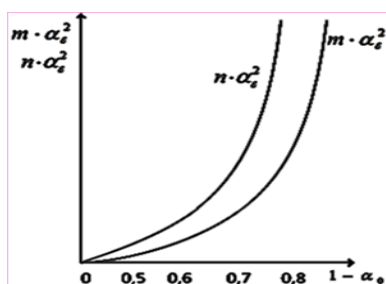


Рис. 4.1. Залежність між навчаючою та контрольною вибіркою

Імовірності $1 - \alpha_u$ і $1 - \beta_u$ доповнюють самі себе і в рівній мірі можуть служити характеристиками достовірності. Імовірність $1 - \alpha_u$ характеризує очікувану відносну частоту правильних рішень в ряді експериментів, в кожному з яких надається контрольна вибірка яка відноситься до класу s_u . У цьому сенсі достовірність $1 - \alpha_u$ являється характеристикою окремого статистичного експерименту, проведеного в стаціонарних умовах. На відміну

від цього, достовірності $1 - \beta_u$ визначає сумарну відносну частоту відмов від віднесення контрольної вибірки класу S_u в експерименті.

Для зміни стану механічних вузлів в процесі взаємного переміщення поверхонь, необхідно направити виробництво ентропії убік зниження, щоб змінити градієнт переміщення маси матеріалу убік її збільшення.

Сховану енергію пошкоджуваності створюють флуктуації теплової енергії в поле механічних навантажень. При досягненні критичної щільності схованої енергії, відбувається руйнування, залежно від величини діючих навантажень [1].

Умови переносу матеріалу донора (анода) на досліджуваний зразок проводили по склу, що обумовлювалося необхідністю забезпечити чистоту експерименту. Скло не струмопровідний матеріал, тому заряд допоміжного електрода замикається через робочу рідину на зразок [17, 19].

Для дослідження використовували звуковий генератор ГЗ-34 з діапазоном частот від 20 Гц до 200 кГц. Вихідна напруга становила 60 В. Структурна електрична схема показана в Додатку Б1. Сигнал частоти, що задає, від генератора (2) подається на амперметр і діод потім на допоміжний електрод, проходячи через робочу рідину й зразок (3). Найбільш імовірне місце проходження сигналу через зони деформуючого матеріалу, це зона ФПК. Двопроменевий осцилограф контролює частоту сигналу генератора і показує форму сигналу, який подається в механічний вузол.

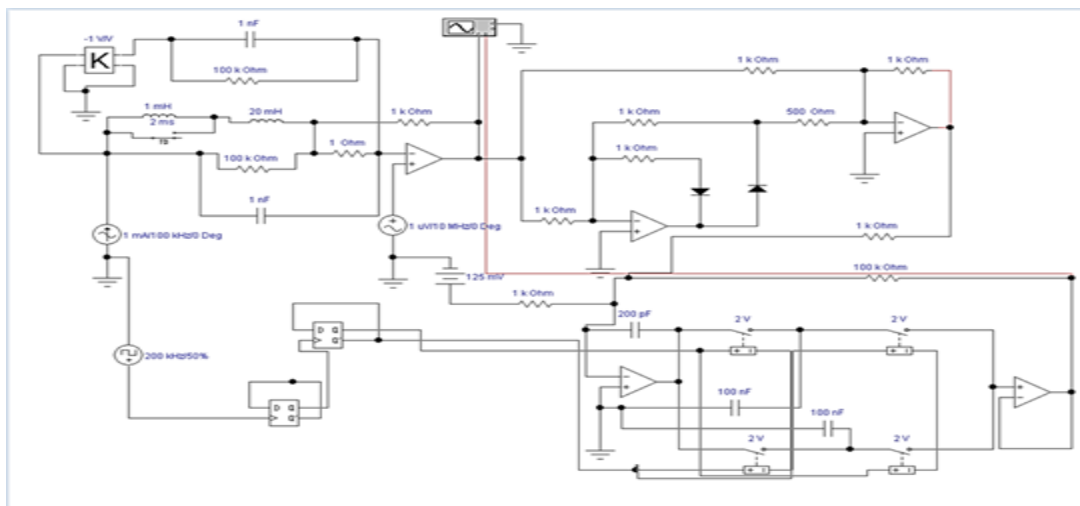


Рис. 4.2 Електрична схема підключення приладової системи

Запропонована приладова система для контролю та випробовування деталей спряжених пар на основі вихрострумової індукції з використанням імпульсного модульованого струму рис. 4.2.

Враховуючи, що напрямок струму повинний бути односпрямованим, у ланцюзі передбачений діод. Робоче стан діода пропускати струм в одному напрямку, від анода – допоміжного електрода до катода зразку. При цьому одержуємо односпрямований рух електричних зарядів на механічному вузлів.

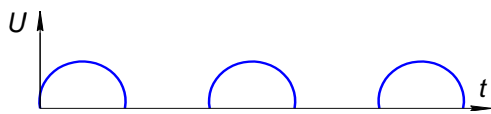


Рис. 4.3а Форма сигналу який подається в робочу зону механічної деталі.

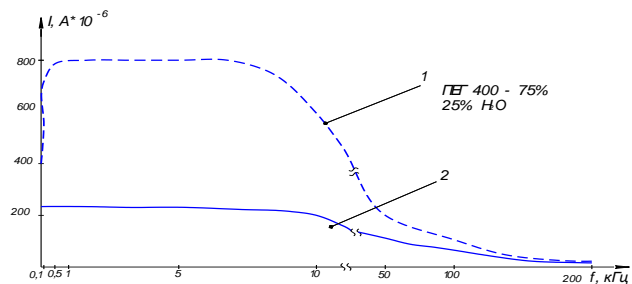


Рис. 4.3б Графік зміни сили струму за електричною схемою (рис. 4.2) від частоти напруги, 1- змінний струм; 2- односпрямований.

Із графіка (рис. 4.3б) видно, що струм, що проходить через робочу рідину на зразок при змінному струмі майже в чотири рази більше, чим при випрямленому. Але характер утворених поверхневих плівок відрізняється. При змінному струмі плівка (рис. 4.3а,б) покривають поверхня на 50%, шорсткість на рівні $Ra=1,5$, вимірювалось профілометром моделі 242.

На рис. 4.4 представлені характеристики механічного вузла на основі сталі 20 при подачі струму зазначеної частоти з використанням допоміжного електрода із цинку. На площині графіці спостерігаються дві ділянки параметрів механічного вузла, які характеризуються приробку (ділянка більш 2кГц) і відновленням (менш 2 кГц) при випробуванні. Відновлення на ділянці графіка віднесеного ближче до початку координат пояснюється процесами електронної провідності, за рахунок присутності в розчині води до 50% і змащувальних властивостей ПАР.

При концентрації ПАР 25% на частотах до 1500 Гц відновлення проходить за рахунок струму рівного (0,6...0,8) А, що характеризується електронною провідністю робочого середовища. Найцікавіша ділянка на переході близько 2кГц частоти струму й концентрацією ПАР 70%. З погляду електрохімії при концентрації води 30% води корозійні процеси на поверхні металу не проходять і електронна провідність слабка. Умови відновлення на цій ділянці пояснюються властивостями ПАР, якими має ПЕГ-400 з частотою струму 2 кГц. На даній частоті диполі ПАР устигають реагувати на зміну напрямку струму, що є провідністю середовища

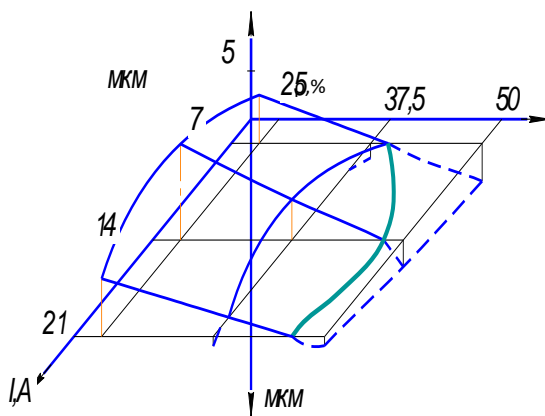


Рис. 4.4 – Графік характеристик механічного вузла

Таблиця 4.6

Значення механічних параметрів деталі, МКМ

A/%	25	37,5	50
7	3	-1	-2
14	5	2	-2
21	3	0	-1

При односпрямованому струмі (Додаток Б5 рис. Б5.5а,б) утворюються в процесі випробовування плівки по всій площі (Додаток Б5 рис. Б5.5 в,г).

4.4. Дослідження впливу частоти сигналу на якість випробовування деталі

З попередніх досліджень у розділі 3, встановлено, що найбільша вібрація механічного вузла проходить на частотах до (5...7) кГц. На підставі графіка рис. 4.3б видно, що сила односпрямованого напівперіодного струму, у зоні контакту поверхонь становить (0,01...0,05) А, у діапазоні частот 1кГц до 5кГц.

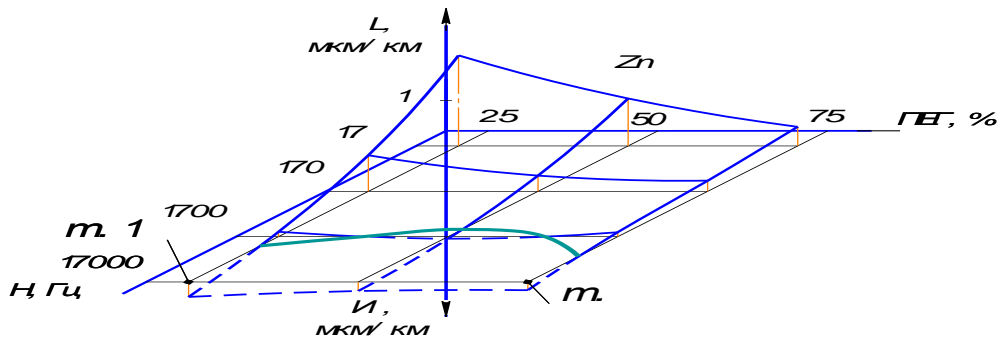


Рис. 4.5 Графік вимірювання шорсткості

Подальше підвищення частоти струму веде до його зниження в середовищі ПАР концентрацією 75%.

Випробувальні параметри механічного вузла в середовищі ПАР від щільності середовища й частоти поданого сигналу в якій переміщуються іони допоміжного електрода. Підвищення концентрації ПАР більше ніж 75% збільшує опір середовища до (1...1,2) МОм, тому знижується вплив електрохімічного процесу, при цьому струм падає до рівня ($2 \times 10^{-5} \dots 6 \times 10^{-5}$) А.

Характер вібраційного параметра з механічного вузла, зафіксований у точці М рис. 4.6 (25% ПАР і частотою 1,7 кГц), на ділянці частот (1...5) кГц визначався вихідною силою вібрації (-30...-10) дБ (рис. 4.6 крива 1). У діапазоні поданих частот від 3 кГц до 17 кГц, приріст маси й розмірів зразка зменшуються. Підвищення концентрації ПАР до 75% знижує силу вібрації до (-30... -50) дБ (рис. 4.6 крива 2) відповідає точці М (рис. 4.5).

Умови переносу матеріалу допоміжного електрода на поверхню механічного вузла, характеризуються поверхневими змінами на найбільш нестійких ділянках матеріалу. Поверхнева нестійкість характеризується деформаційними параметрами які провокуються низькочастотної складовій електричного сигналу подаваного від генератора. Низькі частоти на рівні (5...20) Гц у різних матеріалів збуджують вузли кристалічних ґрат, приводячи матеріал у нестабільний стан на мікрорівнях поверхні, при цьому додається деформаційна складова. На рис. 4.6 представлена спектральна характеристика механічного вузла.

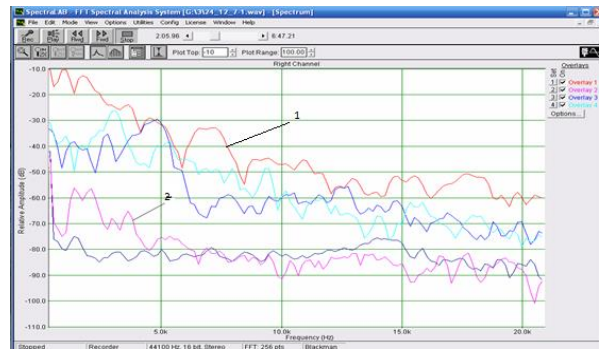


Рис. 4.6 Спектральна характеристика механічного вузла

У більшості механічних вузлів насосів корпусним матеріалом є алюміній, де торець шестірні і корпус є робоча камера агрегату. Таким чином, є умови та необхідність досліджувати умови випробовування.

На рис. 4.7 показані результати дослідження механічного вузла в умовах спрямованого дії змінного одноперіодного електричного струму на зону роботи з використанням допоміжного електрода алюмінію. При вхідних даних 25% ПАР і частотою 17 Гц зростання плівка досягає до 2,5 мкм/км, що пояснюється великою різницею електродним потенціалом алюмінію (-1,67 В) і заліза (-0,44В) також валентністю Al^{3+} .

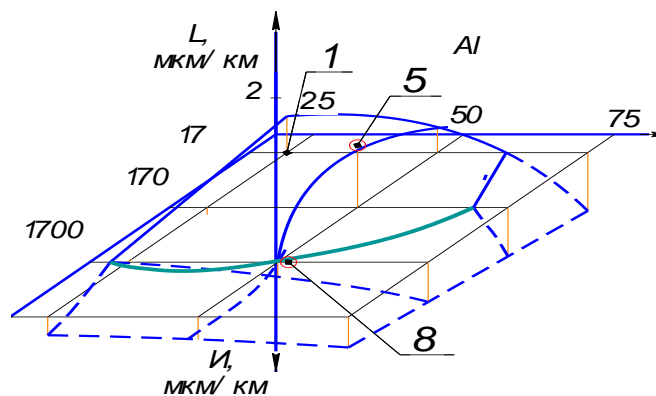


Рис. 4.7 Випробувальні параметри сталі 20 в середовищі ПАР залежно від частоти та стану середовища (допоміжний електрод алюміній)

При моніторингу механічного вузла переносу алюмінію на сталь 20, більше, чим 2,5 мкм/км не було помічене. Технологічно процес моніторингу, здійснюється під постійним спостереженням змін на поверхні вузла сталі 20. У мікроскоп відслідковували ріст і початок зменшення ЗП як по площі, так і по товщині, далі зразок знімали, зважували й проміряли цифровим мікрометром SHANE 5205-25. Після, чого знову ставили на випробування.

Результати процесу репарації знімали на режимі (5) зазначеного на рис.4.7, звідки видно, що нанесення алюмінію на сталь 20, досягає близько 3%. (рис. 4.8).

Дослідження частотних характеристик механічного вузла з алюмінієвим допоміжним електродом показали ідентичні, у порівнянні із цинком, параметри зношування й механізми насичення поверхні тертя від вхідного сигналу. У процесі контролю параметрів вібрації при роботі вузла, визначене, що чим більше зношування, тим більше сила вібрації у механічних вузлах.

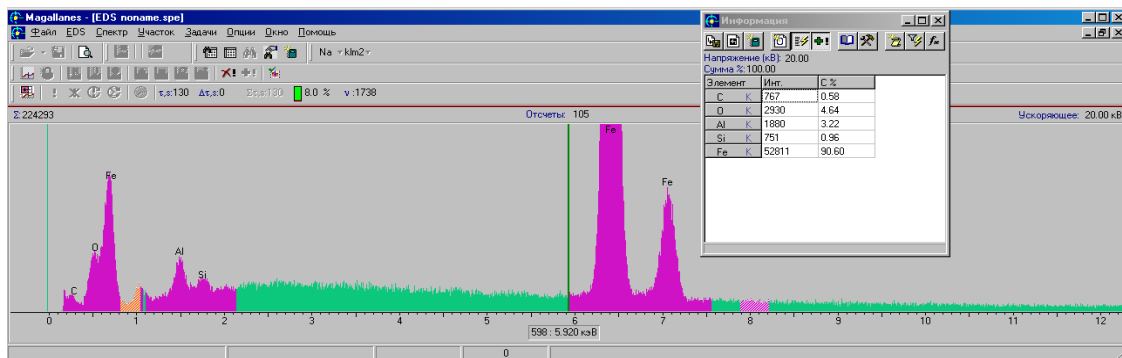


Рис. 4.8 Хімічний аналіз механічного вузла на основі сталі 20

ПАР добре розчиняється у воді, при цьому має властивості і змащувальними властивостями, тому в процесі тертя в умовах підвищеної концентрації змащення спостерігається гідродинамічний механізм роботи.



Рис. 4.9. Спектральні характеристики параметрів механічного вузла на основі сталі 20 з допоміжним електродом алюмінієм

Робота вузла в умовах змащення характеризує крива 2 рис.4.9 т.5. Випробування в крапці 8 на площині (рис. 4.6) при 50% вмісті ПАР і сигнал частотою 1700 Гц подається в механічний вузол відповідає силі коливань (крива1 рис. 4.9).

Основний насосів плунжерної конструкції є пари циліндр мідний сплав і поршень (загартована сталь) [19]. Найчастіше в процесі експлуатації прецизійних механізмів виготовлених з мідних сплавів спостерігається перенос міді на плунжер, тому потрібно кропіткий підходу до вивчення процесів у тонких шарах матеріалу. Дослідження впливу мідного допоміжного електрода на умови насичення поверхні в процесі випробовування механічного вузла сталі 20 у середовищі ПАР на рис.4.10. Умови активного переносу матеріалу електрода характеризується різницею електродних потенціалів міді (+0,34) і сталі (-0,44 В), а також спрямованим впливом струму із частотою від 170 Гц до 17000 Гц. Хімічний аналіз (рис. 4.11) поверхонь механічних вузлів на основі сталі 20 указує на існування міді на ділянках ФПК рис. 4.12 у кількості більш 8%. Поступове насичення супроводжувалося утвором тонких ділянок міді.

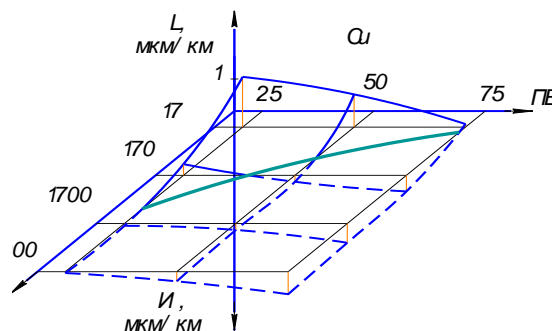


Рис. 4.10. Випробувальні параметри механічних вузлів сталі 20

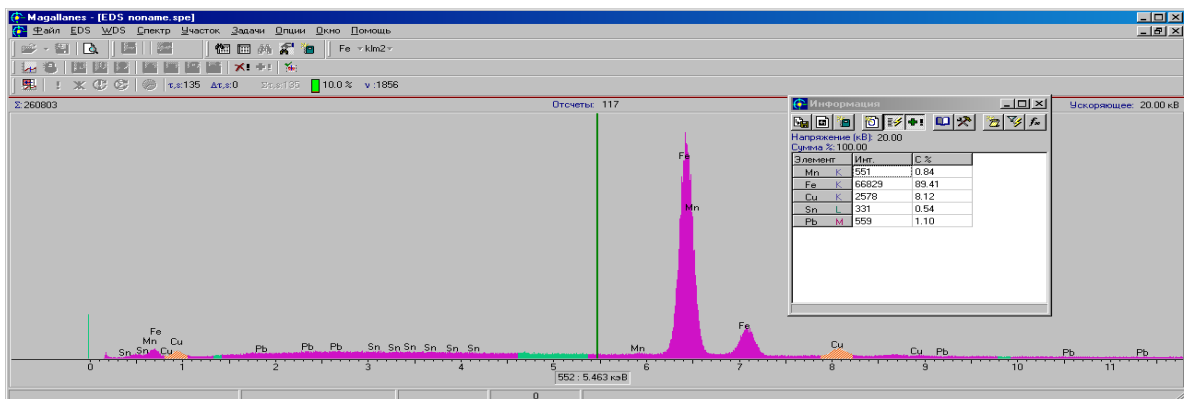


Рис. 4.11. Хімічний склад міді на поверхні механічного вузла на сталі 20

Електрохімічні дослідження в процесі роботи вузла показали, що використання міді як допоміжного електрода дозволяє зробити висновок, про

вільному їх переміщенні в електроліті ПАР й чим менше його концентрація тим більше осаджується елемента на зразок.

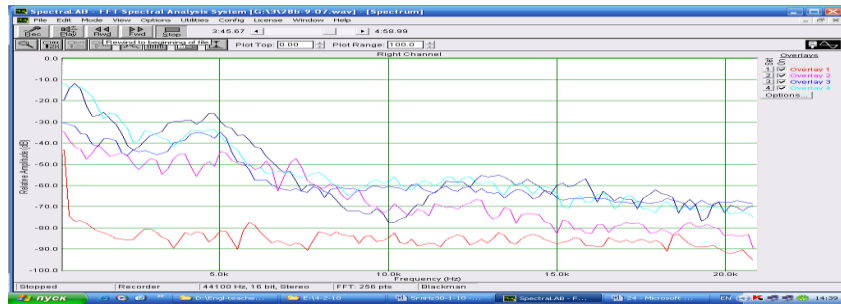


Рис. 4.12. Спектральна характеристика механічного вузла на основі сталі 20

Параметри частотного сигналу характеризуються активною вібрацією на низьких частотах, але приблизно на 10 Дб менше ніж у цинку (рис. 4.6.), що вказує на зменшення сили сигналу на порядок.

Ефективним матеріалом електрохімічного нанесенні при випробовуванні механічному вузла в середовищі ПАР (ПЕГ-400) слід зазначити олово. Хімічні параметри сталі 45 з використанням допоміжного електрода олова представлені на рис.4.13. З анода, більш позитивний олов'яний електрод ($\text{Sn}^{2+} -0.14 \text{ V}$), осаджується на залізний катод ($\text{Fe}^{2+} -0,44 \text{ V}$) згідно з величинами стандартного електродного потенціалу.

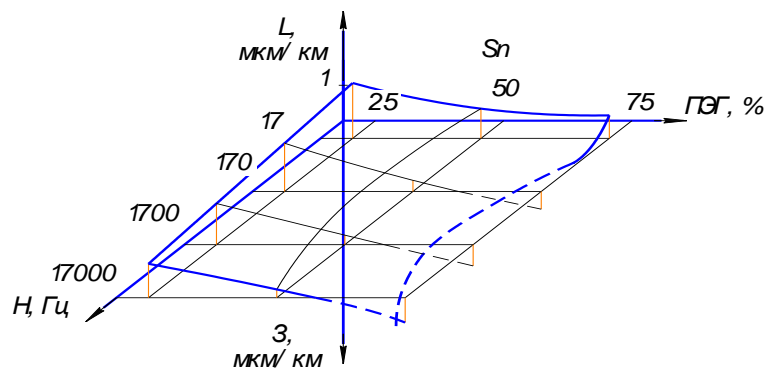


Рис. 4.13. Випробувальні параметри сталі 45 у ПАР допоміжний електрод оловом.

Отримані сигнали можна умовно розділити на дві області низькочастотну й високочастотну. Піки високочастотних складових енергетичного спектра самих імпульсів має якісний зв'язок з інтенсивністю

поверхневого руйнування. Спектральні характеристики механічного вузла з сталю 20 з допоміжним електродом оловом (рис.4.14).

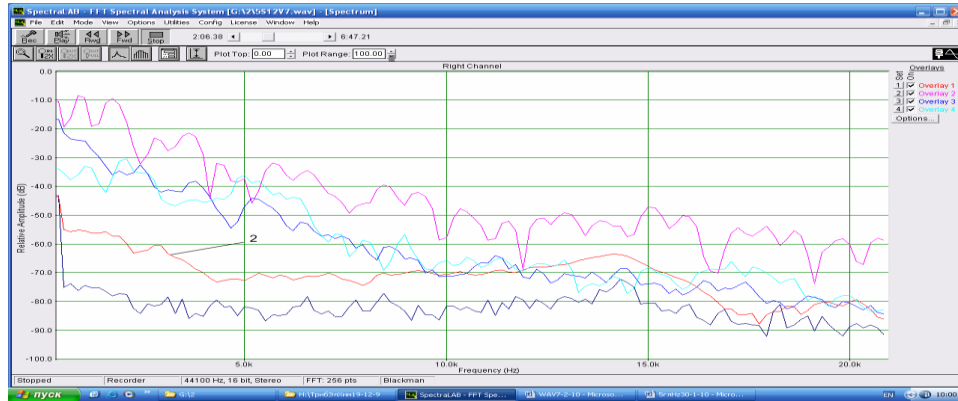


Рис. 4.14. Спектральні характеристики механічного вузла з сталю 20

У такий спосіб виходячи з результатів дослідження, необхідно розробити, технічні заходи в умовах електрохімічного відновлення матеріалів у процесі роботи вузлів з використанням різних металів під спрямованою дією частотного сигналу для інтенсивних умов випробування після відновлення. Вплив частоти напруги обумовлений результатами досліджень і показано, що вібраційний сигнал більш ефективно проявляє себе на частотах (1...5) кГц. З використанням програмного забезпечення Spectrlab встановлено, що інтенсивні процеси структурних змін у матеріалі проходять на частотах від 500 Гц до 2000 Гц.

4.5. Дослідження впливу імпульсної струму при вимірюванні шорсткості

На основі аналізу умов відновлення поверхонь і характеру проходження процесу можна сформулювати основні положення для визначення стану сигналу, що впливає на поверхню матеріалу. Зміна стану матеріалу можливо змінити впливом імпульсних потоків енергії. Встановлено що вібраційний сигнал при роботі механізму збільшується починаючи з частоти 1 кГц до 5 кГц. Ефективне вимірювання поверхні деталі настає при дії імпульсного електричного струму (5...8) кГц. Доведено, що розроблена приладова система дозволяє вимірювати швидкість зміни

товщини плівки з високою чутливістю та швидкодією. Встановлено, що використання електронної схеми дає можливість автоматично компенсувати, як активні так і реактивні паразитні параметри датчика. Основними впливовими параметрами є насамперед: втрати опору на вихрових струмах (RF) та паразитна ємність датчика (Сд).

Для автоматичного компенсування цих параметрів розроблено схему з імпульсною модуляцією різними частотами тестового сигналу та швидкодіючим імпульсним фільтром, який дозволяє виконати операцію компенсування основної частини цих впливових факторів на бездефектній зоні датчика за 0,1 мілісекунду на частоті тестового сигналу (0,1...10) МГц (рис 4.15) [27].

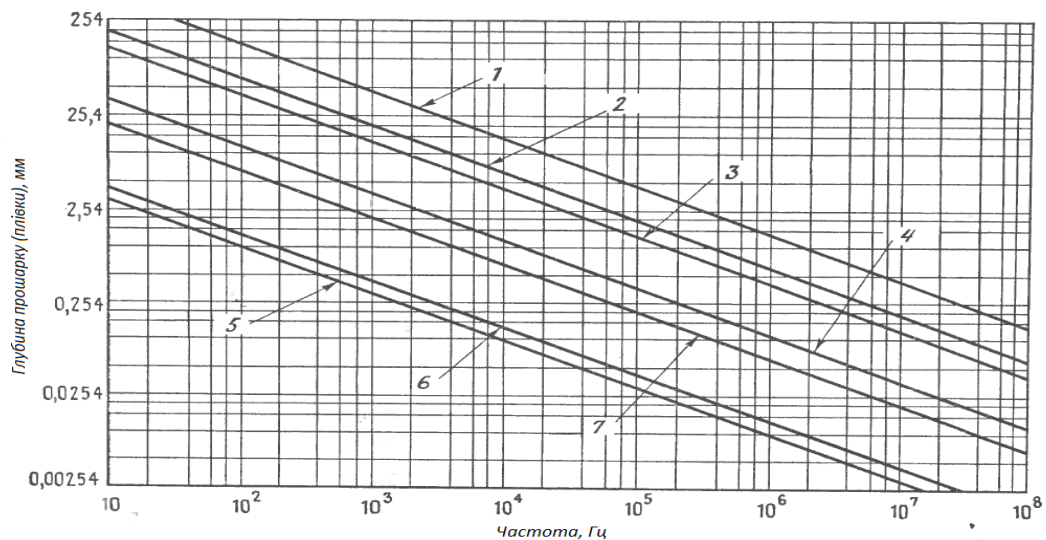


Рис.4.15 – Залежність частоти сигналу від товщини плівки на металах.(
1 - графіт; 2 - титан; 3 - нержавіюча сталь; 4 -алюміній; 5 - чавун; 6 - легована
сталь; 7 - мідь

Розроблено схему компенсації диференційного датчика та зняття паразитних похибок змодельоване в програмі Electronics Workbench (рис.4.16). Обґрунтовано, що цей метод є більш ефективним ніж резонансний, що використовується в подібних випадках у вихрострумових дефектоскопах, наприклад ВД10. Даний спосіб використовується для вимірювання товщини плівки, яка з'являється при відновленні спряжених деталей виготовлених з різних металів. Змінне поле котушки наводить в

провіднику матеріалу основи вихрового струму, який створюють в свою чергу магнітне поле. Останнє робить зворотний вплив на котушку і розбалансиє таким чином коливальний контур. Ступінь розладу залежить, крім інших факторів, від товщини шару між зондом і матеріалом основи. Недоліком цього метода є складність реалізації високої чутливості в широкому діапазоні частот [27]. Для усунення цього недоліку була розроблена структурна схема вихрострумове перетворювача представлена на рис.4.16. Особливістю цієї схеми є використання ітераційного інтегруючого перетворювача (ОП) для швидкого та прецизійного перетворення середноспрямленого значення напруги в постійну з точністю нарівні 0.01%. Оскільки ітераційний інтегруючий перетворювач є астатичною системою, він забезпечує більш точне підсилення слабких сигналів. Крім цього, для компенсації паразитної ємності датчика використовується множельний ЦАП (МЦАП) з компенсуючою ємністю керований мікроконвертером (МС). При цьому компенсація паразитної ємності відбувається на більш високій частоті для усунення впливу індуктивного опору датчика. Використовуються ОП типу ОРА620.

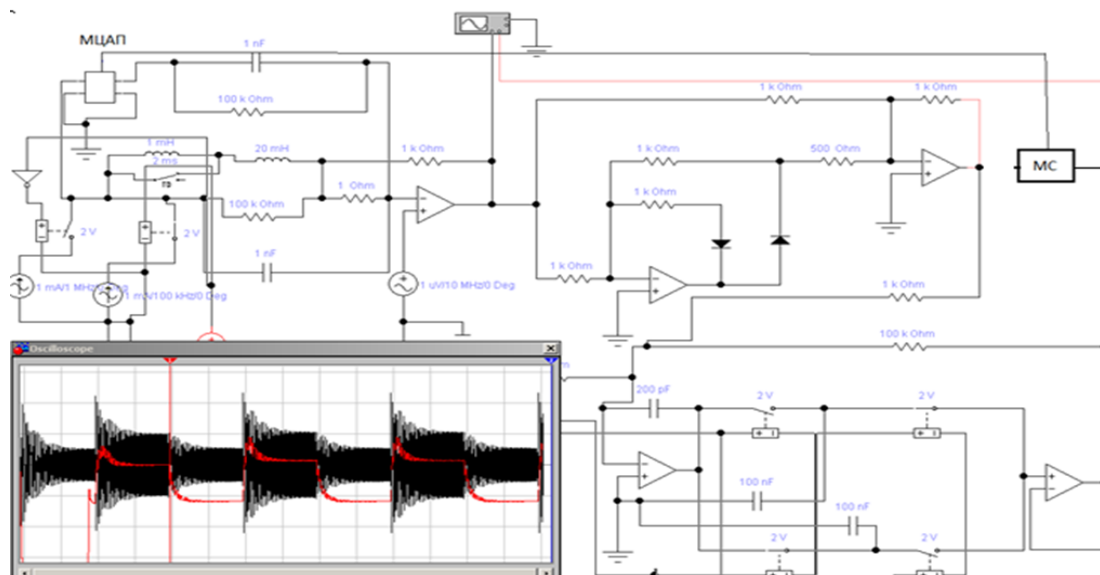


Рис. 4.16 - Схема компенсації похибки індукційного датчика змодельована в програмі Electronics Workbench на основі ІМС

Механічна складова процесу руйнування в тій же інтерпретації може бути розглянута за схемою, запропонованої А.А. Дубиніним. Пружне

середовище, у якому поширюється механічний вплив, сприймає їх як поздовжні, поперечні й поверхневі хвилі, викликувані як падаючим, так і відбитим імпульсом.

Зміна умов проходження струму через робочі середовища гідро- або масло насоса, що має великий питомий опір можливий з підвищенням частоти електричного сигналу. Позитивні й негативні компоненти дають рівні енергетичні внески, тому, для реального сигналу $x(t)$, величина $|X(f)|$ являє собою парну функцію частоти. Спектральна щільність енергії симетрична по частоті відносно початку координат, а загальну енергію сигналу $x(t)$ можна виразити: $E_x = 2 \int_0^{\infty} |X(f)|^2 df$.

Для одержання односпрямованого струму через площину зразку і механічного вузла в середовищах з високим питомим електроопором (ПАР) використовується однопериодний сигнал.

У роботі [12, 19] була висунута концепція, що імпульс струму та інші зовнішні енергетичні впливи виступають у ролі каталізатора розрядки дислокаційних скупчень.

Потужність електричного імпульсу на зміну структури матеріалу вивчалася в багатьох роботі [19] показане, що струм виявляє не тільки теплова дія але й вплив на структурні дефекти (електропластичний ефект). Спектральні параметри механічного вузла сталь20 з сталлю 30ХГСА представлені на рис. 4.17.

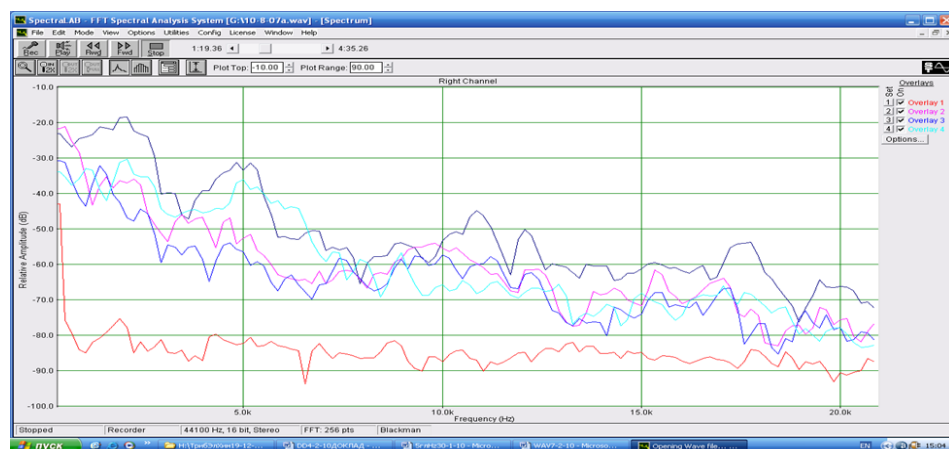


Рис. 4.17 Спектральні параметри механічного вузла сталь20 з сталлю 30ХГСА

При випробуванні підвищення порога втомленої міцності сталей шляхом обробки їх імпульсами електричного струму відзначене в роботі [8].

Втрати енергії на частотах (2...3) кГц пропорційні квадрату частоти сигналу. Кожна частка середовища, що перебуває на шляху поширення хвиль, одночасно бере участь у коливаннях усіх цих хвиль.

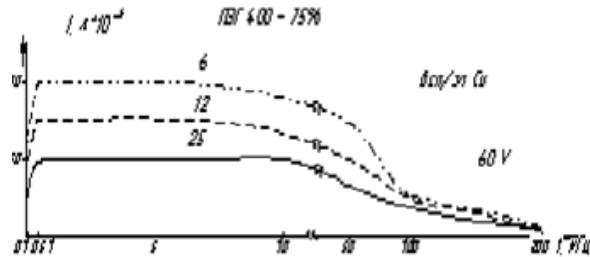


Рис. 4.18 Графік зміни сили струму від частоти напруги з допоміжним електродом міддю (6 – шпаруватість 6 Гц; 12 – шпаруватість 12,5 Гц).

Наступний етап досліджень полягав у впливі високочастотним струмом на змащувальний матеріал і низькочастотним перериванням на зону тертя.. Для цього відповідно електричної схеми (Додаток Б1) через зону тертя пропускали електричним сигналом в 1000 Гц модульованим частотою 6 Гц переривання.

Вихідний вібраційний сигнал характеризується різною силою (рис. 4.20). Сигнал у процесі тертя (крива №4 і 0) знімали на частоті змінного струму 1000 Гц. Криві №2 і 3 сигналу отримані при впливі на зону тертя частоти 1000 Гц модульованої електронним переривником 6 Гц у середовищі ПАР (ПЕГ-400). Крива №1 характеризує частотні параметри установки на режимі тертя без пари тертя. Виходячи з характеру поверхневих плівок рис. 4.17, на частоті 1кГц, де чітко видні досить грубі до (5...7) мкм товщини плівки, які розподіляються по площині деталі приблизно на 50%. Розроблена методика випробовування механічних вузлів з зменшення їх зношування майже в 2 рази (рис. 4.19). Процес випробовування вузла проходить при використанні сигналу на частоті 1000 Гц модульованого сигналу перемиканням із частотою 6 Гц.

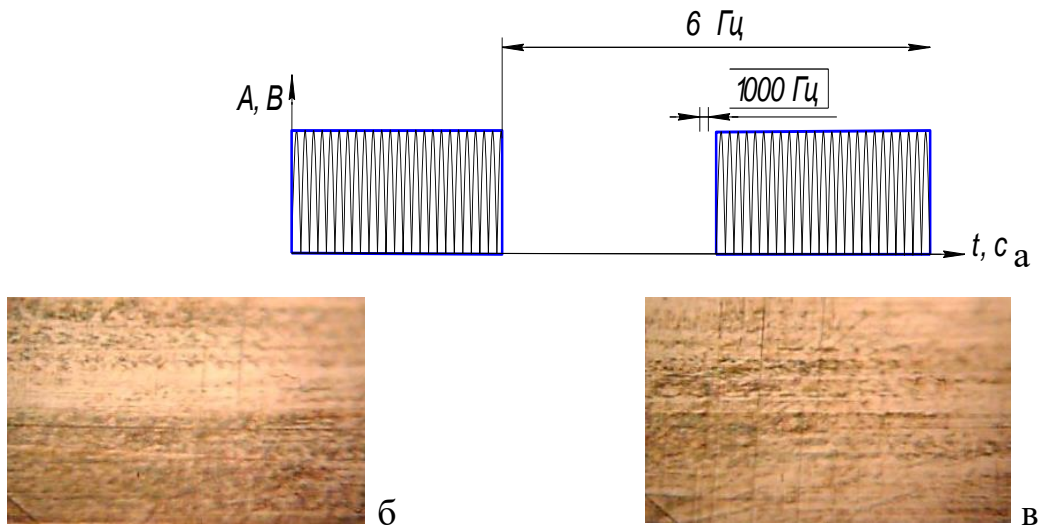


Рис. 4.19 Поверхні деталі при однопериодній напрузі 1000 Гц при шпаруванні 6 Гц

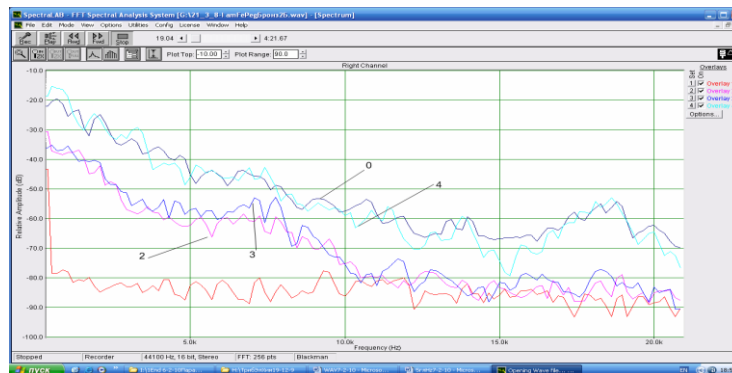


Рис. 4.20 Параметри частотного сигналу на вхідній частоті 1000 Гц

Механізм утвору плівок проходить під дією деформаційних складових від роботи й імпульсного впливу струму із частотою 6 Гц. Умови проходження електричного струму обумовлюються частотної складовій в 1000 Гц.

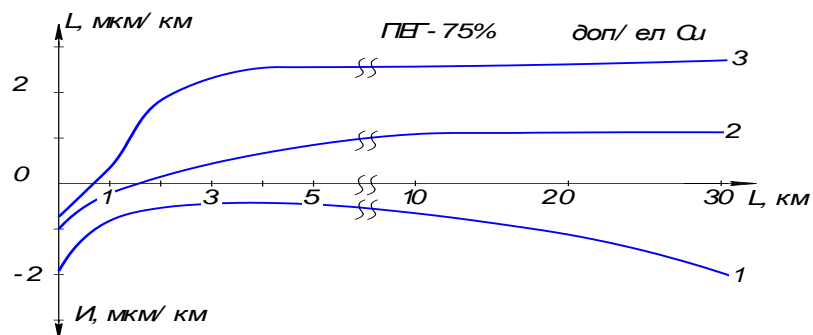


Рис. 4.21 Випробувальні параметри механічного вузла сталь 20 по ЛС59-1 в умовах модуляції ІМС.

Використання ПАР -75% обумовлене корозійними параметрами ПАР. Електролітичні характеристики ПАР припиняють при концентрації в 75% ПАР у воді й вище. Більша кількість води підвищує корозійну активність середовища.

Вихідним параметром ґрат сталі 20 ($a=2,8682A0$) у нормальному стані. При дослідженні поверхні крива 3 рис.4.21 кристалічні ґрати перетерплює зміни до параметрів $2,8669 A0$ (ангстрем) до $2,8678 A0$ Fe-alpha фази. Крім цього утворюється Fe-gamma у кількості 10%, що вказує на швидке охолодження в мікрообсягах поверхні, з параметром кристалічних ґрат $3,6010 A0$ (табл. 4.7).

На рис 4.21 показана зміна мікротвердості поверхні деталі в областях наробітки. Слід зазначити підвищення твердості після наробітки на поверхні обробленій модульованим електричним сигналом на 15...20% стосовно кривої 1.

Таблиця 4.7

Фазовий склад та періоди ґраток фаз у деталях

N	Кількісний фазовий состав (%мас) і період кристалічні ґрати (A^0)				
	α - Fe		FCC/ γ - Fe		
	a, A^0	%, мас.	a, A^0		
1-сталь 20	2,8682	95	-	-	Вихідна
2-сталь 20	2,8678	90	3,601	-	після роботи

4.6 Моделюючий комплекс приладової системи для випробування деталей та метрологічної атестації

Важливим інструментом дослідження і випробування приладової системи управління в машинобудуванні стають автоматизовані моделюючі комплекси (АМК). На основі АМК можуть бути проведені натурні

дослідження різних характеристик і параметрів, що подібні реальним системам з використанням математичних і фізичних моделей. У порівнянні з математичним моделюванням натурні дослідження дають високу ступінь достовірності [8-11] оцінок параметрів систем, тому що впливи моделюються в АМК з наближенням до експлуатаційних.

Зв'язок досліджуваної системи з математичним забезпеченням при натурному моделюванні здійснюється за допомогою фізичних макетів і стендів реалізації впливів навколишнього середовища і процесорних модулів формування та обробки сигналів [14, 16]. Поєднання різних математичних і фізичних моделей, а також різновид систем або їх складових частин визначає розмаїття змісту натурних станів та має вигляд

$$\frac{dz(t)}{dt} = f\{z(t), u(t), \psi(t)\}, \quad y(t) = g\{z(t), u(t), v(t)\}, \quad (4.6)$$

де f, g - вектори функції, u - вектор невимірюваних збурень (перешкод), що діють на досліджувану систему, v - вектор перешкод спостережень і обробки сигналів.

Після серії експериментальних випробувань, в результаті яких визначається оцінка стану досліджуваної системи, параметри останньої можуть бути оптимізовані відповідно до її цільової функції.

Вплив в комплексі не вимірюваних збурень і перешкод призводить до помилок у вимірюваннях, величина яких зменшується зі зростанням числа дослідів, тобто зі збільшенням часового інтервалу досліджень. Статистичні властивості вектору стану $\hat{z}(t)$ системи описуються апостеріорною

$$\text{щільністю розподілу ймовірностей } w_1(z/y) = \frac{w_0(z)w_n(y/z)}{w_y}, \quad (4.7)$$

де $w_0(z)$ - апіорна щільність розподілу ймовірностей вектору z ; $w_n(y/z)$ - багатовимірна функція правдоподібності; $w(y)$ - щільність розподілу вектору спостереження. На рис.4.22 представлена модель комплексу випробувань [14, 17].

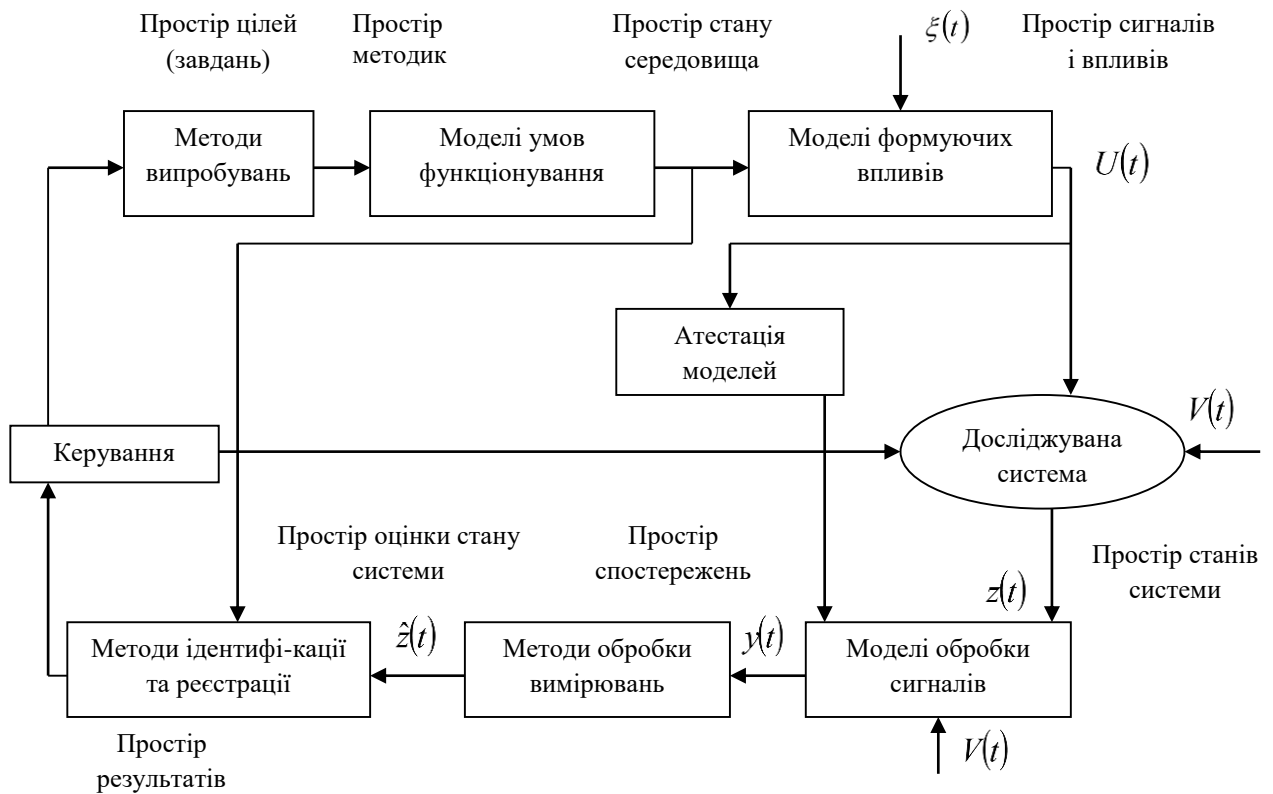


Рис. 4.22 Приладова система випробувань

Мінімізація помилок оцінювання вектору z пов'язана з визначенням центра тяжіння \hat{z} функції $w_1(z/y)$ при отриманому значенні вектору спостережень y .

Інтегральна апостеріорна помилка оцінювання вектору стану I_1 (невизначеність стану системи) залежить від об'єму тіла, обчисленого при $w_1 = \text{const}$, величина якого дорівнює $I_1 = C_1 \prod_{i=1}^k \sigma_{1i}$, де C_1 - коефіцієнт пропорційності; σ_{1i} - середня квадратична помилка вимірювання складової i вектору z , k - число складових вектору.

Зважаючи, що апіорна невизначеність стану системи є $I_0 = C_0 \prod_{i=1}^k \sigma_{0i}$,

введемо показник ефективності натурних досліджень

$$E = \frac{I_0}{I_1} = C \prod_{i=1}^k \frac{\sigma_{0i}}{\sigma_{1i}}. \quad (4.8)$$

Зрозуміло, що для ефективного комплексу випробувань (4.9)

$$E > 1, E_i = \frac{\sigma_{oi}}{\sigma_{ii}} \geq 1. \quad (4.9)$$

При розробці приладових систем необхідно керуватися низкою основних принципів. Одним з них є принцип системного підходу, який визначає створення гнучких апаратно-програмних засобів автоматизації управління технологіями випробувань відповідно до критеріїв функціонування моделюючого комплексу. Крім того, важливим є принцип адаптивності і розвитку, що дозволяє адаптувати конфігурацію системи для проведення досліджень. Які забезпечують подальший розвиток системи, що пов'язано з модернізацією та оновленням задач випробування. І, на кінець, принцип уніфікації і модульності, що зменшує номенклатуру складових частин приладової системи, що надає гнучкість процесам підготовки і проведення випробувань, що в результаті знижує вартість приладу.

Досвід розробки та експериментальної експлуатації показує, що основними характеристиками функціонування приладової системи є п'ять показників: адекватність моделей сигналів і впливів, точність оцінювання параметрів стану досліджуваної системи, час дослідження системи, надійність роботи комплексу та вартість приладова система (ПС).

Адекватність моделей визначає апаратну і програмну складність ПС, а значить, впливає на його надійність і вартість, а також спільно з показником точності оцінювання, що характеризується вектором середніх квадратичних помилок вимірювання вектору станів z системи, встановлює ступінь достовірності натурних досліджень.

Час дослідження системи t_d включає повний час від підготовки до закінчення дослідження системи і визначає складність і тим самим вартість ПС. Складовими показника $t_d \in t_n$ - час підготовки експерименту, t_e - час проведення експерименту і t_o - час обробки експериментальних даних, причому $t_d = t_n + t_e + t_o$

Експеримент на ПС проводиться в реальному часі. Тому параметр t_e не може бути безпідставно зменшено або збільшено і визначається достатнім обсягом

статистики про досліджувану систему, необхідної для її ідентифікації.

В програмно-апаратному комплексі натурного моделювання [14] час на підготовку експерименту обчислюється як $t_n = \sum_{i=1}^m (t_{ri} + t_{ai} + t_{ci}) + t_b$,

де t_{ri} - час створення файлу i значень сигналу, t_{ai} - час атестації параметрів сигналу, t_{ci} - час завантаження файлу в формувач сигналу, m - загальне число одночасно формованих сигналів, t_b - час введення вихідних даних для моделювання.

Час генерації файлу пропорційний числу відліку в файлі. Час атестації t_{ai} параметрів сигналу i залежить від методу оцінювання параметрів. У загальному випадку для випадкових сигналів необхідно використовувати кореляційно-спектральний аналіз [17, 20-23]. Тоді час атестації пропорційний квадрату числа відліку в файлі та є найбільш ємною величиною в вираженні для часу на підготовку експерименту t_n . Зменшення t_n пов'язане з повною апаратною реалізацією формувача сигналів. При цьому процес генерації відліку, а також атестації параметрів протікає паралельно в реальному масштабі часу проведення експерименту, тому $t_n = t_b$. Іншим рішенням по скороченню t_n є формування бібліотеки типових протестованих сигналів, які використовуються для випробувань системи.

Час обробки експериментальних даних t_o визначається часом розрахунку t_p діагностуючих параметрів системи і виведення (документування) інформації. Розрахунок діагностування параметрів при високій продуктивності спеціалізованого процесора обробки може протікати паралельно з експериментом, тоді $t_p=0$. В іншому випадку розрахунок проводиться після закінчення експерименту і величина t_p пропорційна часу проведення експерименту t_e .

При розробці приладової системи прагнуть досягти найкращих значень кожного з показників комплексу. Однак поліпшення одного з показників може викликати внаслідок протидіючих зв'язки погіршення ряду інших. Заслуговує на увагу критерій оптимізації ПС [24, 26], коли виділяють два головних показника:

- 1) технічний, що визначає корисність системи;
- 2) плата за корисність (вартість приладової системи).

Оптимізація системи проводиться шляхом вибору найбільш прийняттого варіанту за цими двома показниками при обмеженні на інші окремі показники комплексу.

ПС призначений для використання при виробництві та метрологічної атестації в натурних випробуваннях приладової системи. Тому чим менше показник t_d тим вище корисність приладової системи. Однак зі зменшенням t_d , зростають витрати на досягнення його значення і вартість системи. Останній показник залежить не тільки від головного параметра t_d але і від параметрів адекватності, а також від помилок оцінювання параметрів досліджуваної системи. Оптимізація комплексу пов'язана з найкращим поєднанням програмно-апаратних засобів в рамках описаного критерію оптимізації.

Реалізований відповідно до рис.4.22. комплекс вирішує такі основні завдання випробування і перевірки ПС:

- моделювання динаміки і траєкторій датчика з довільним положенням об'єкта вимірювання;
- моделювання середовища поширення сигналів і відбиваючої поверхні;
- оперативної зміни вихідних даних, динамічного управління процесом випробувань в реальному часі;
- збору та обробки поточних значень параметрів датчиків системи і відображення в реальному часі;
- спектрально-кореляційного аналізу і документування результатів досліджень.

До складу комплексу входять ПК моделювання динамічних параметрів оточення і впливів, ПК фіксації і обробки станів випробовуваної системи, спеціалізований електронний блок формування електромагнітних впливів і збору інформації про стан системи, програмне забезпечення. Електронний

блок містить цифрові елементи, в тому числі сигнальні процесори, перетворювачі інформації та сполучення.

Оцінювання функціонального стану системи ґрунтується на вимірюванні діагностичних параметрів, в якості яких зазвичай виступають вібрації, акустичний шум, наприклад, спектральний аналіз вібрацій. Щоб з максимальною користю використовувати цю можливість, необхідна апаратура для безконтактного вимірювання діагностичних параметрів у працюючих електричних машинах без їх транспортування до випробувальних стендів.

До складу розробленої системи входять ПК, спеціальна плата розширення, що розміщується в роз'ємі системної магістралі, а також набір датчиків для безконтактного вимірювання вібропереміщень. Спеціалізована плата розширення, за допомогою якої здійснюються перетворення параметрів індуктивних датчиків в код і введення результатів вимірювань в комп'ютер, використовує нову схему первинного перетворювача. Принцип дії схеми заснований на вимірюванні тривалості перехідного процесу в датчику, що включає в себе паралельно з'єднані котушку індуктивності, резистор і ємності. Перевага нової схеми - значне скорочення часу одноразового вимірювання приблизно до 0.1с. Це дало можливість вимірювати і аналізувати спектральний діапазон (0,1...8) кГц, що зазвичай цілком достатньо для задач діагностики. За допомогою комутації імпульсів струму, що збуджують в датчиках перехідні процеси, вдалося реалізувати багатоканальний режим роботи, при якому вимірювання діагностичних параметрів здійснюється одночасно кількома датчиками, причому за функціональним призначенням датчики можуть відрізнятися один від одного [13].

Максимальна кількість вимірювальних каналів дорівнює двом. Цю величину можна змінювати за допомогою програмно-доступного регістра режимів роботи. Методика вібродіагностики полягає в вимірюванні вібропереміщень об'єкта контролю (корпусу або ротора електричної машини); обчисленні спектральної щільності, кореляційних функцій і т. д. ; порівнянні

отриманих характеристик з характеристиками, умовно прийнятими за еталон, на підставі чого робиться висновок про функціональний стан об'єкта контролю [24]. Зазвичай в якості еталонних використовують характеристики того ж самого об'єкта контролю, виміряні на початковому етапі його експлуатації.

Вимірювання вібропереміщень здійснюється датчиками лінійних переміщень індуктивного і вихрострумовеого типів [26], які на відміну від п'єзоелектричних датчиків не треба кріпити до об'єкту контролю. Це не тільки спрощує процедуру вимірювання вібрацій, а й підвищує достовірність отриманої інформації, так як при контактному методі датчик зазвичай кріпиться не до джерела вібрацій - ротора двигуна або генератора, а до корпусу. Це може призвести до того, що на результати вимірювань будуть впливати частотні характеристики передавальних шляхів, по яких поширюються вібрації, а також якість контакту датчика з об'єктом. Перевагою датчиків індуктивного типу є не критичність до несприятливих зовнішніх факторів (вологи, пилу, бруду). Низький імпеданс використовуваних датчиків зводить до мінімуму вплив електромагнітних завад.

Висновки до розділу 4

1. Проведено розрахунок метрологічних характеристик приладової системи та оптимізація номенклатури засобів вимірювальної техніки. Показано, що при врахуванні відсутності кореляції між вхідними величинами, сумарну невизначеність вихідної величини. Визначено МХ двох вимірювальних каналів в стаціонарному динамічному режимі при нормальних умовах роботи по вихідними даними.
2. Розроблено метрологічний комплекс та метрологічне забезпечення контролю спряжених деталей. Визначені характеристики величин, які вимірює приладова система. Показані основні похибки приладової системи та проведені основні технічні та метрологічні характеристики приведені.

3. Розроблено метрологічне забезпечення експериментальних досліджень та проведена метрологічна атестація приладової системи за допомогою зразкових засобів вимірювання приладової системи. Проведена перевірка коректності запропонованих положень, методик та методів в реальних робочих умовах на практиці при проведенні натурних випробувань.
4. Дослідження впливу частоти сигналу на якість випробовування деталі. Проведено дослідження технологічного процесу при з використанням металів, які використовуються в спряжених парах та отримані спектральні характеристики спряжених вузлів.
5. Дослідження впливу імпульсного струму при вимірюванні шорсткості та отримано графік зміну струму, визначено виділити найбільш активні параметри проходження струму, показані зміни, визначені умови, які впливають на зону тертя.
6. Розроблено моделюючий комплекс приладової системи що дозволяє в умовах дестабілізуючих факторів проводити випробування деталей та метрологічної атестації приладової системи з використанням максимальної правдоподібності, отримані значення корисного сигналу в момент середини інтервалу вимірювання.

Список використаних джерел до розділу 4

1. Паращанов В.Г. Аналіз методів та засобів вимірювання шорсткості деталей при переміщенні / В.Г. Паращанов // Вісник Інженерної академії України. – 2018. – №3 – С.107–111.
2. Квасніков В.П. Метод алгоритмічної компенсації похибки вимірювання в трибосистемах / В.П. Квасніков, В.Г. Паращанов // Вісник Інженерної академії України. – 2019. - №2. – С.19-23.
3. Паращанов В.Г. Метрологічне забезпечення проведення випробування прецизійних деталей / В.Г. Паращанов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2019. – №2 – С.45–48.

4. Патент № 36600 (Україна), МПК G01N 3/56. Пристрій для дослідження тертя та зношування / Свирид М.М., Занько С.М., Паращанов В.Г., Задніпровська С.М., Приймак Л.Б. // Реєстрац. номер заявки U200809663. Опубліковано 27.10.2008, Бюл. № 20, 2008 р.
5. Патент № 36601 (Україна), МПК G01N 3/56, Спосіб відновлення поверхні тертя [Текст] / Свирид М.М., Кравець І.А., Паращанов В.Г., Занько С.М., Задніпровська С.М. // Реєстрац. номер заявки U200809664. 27.10.2008, Бюл. № 20, 2008 р.
6. Патент №54490 (Україна), МПК G01N 3/56. Спосіб відновлення поверхні тертя в рідинах з високим питомим електроопором [Текст] / Свирид М.М., Кравець І.А., Паращанов В.Г. Сидоренко О.Ю. // Реєстрац. номер заявки U201006047 10.11.2010. Бюл.№21
7. Паращанов В.Г. Новітні триботехнології в авіабудуванні і загальному машинобудуванні / А.П.Кідрін, Г.А.Волосович, М.М.Свирид, Л.Б.Приймак, В.Г.Паращанов // V Всесвітній конгрес “Авіація у ХХІ столітті”. – Київ: НАУ, 2012.
8. Рубичев Н.А., Фрумкин В.Д. Достоверность допускового контроля качества. – М.: Издательство стандартов, 1990 г., 172 с., ил.
9. Фрумкин В.Д., Рубичев Н.А. Теория вероятности и статистика в метрологии и измерительной техники. – М.: Машиностроение, 1987 г. – 168 с., ил.
10. Зайдель А.Н. Ошибки измерений физических величин. – М.: Наука, 1974. – 108 с.
11. Соболев В.И. Информационно-статистическая теория измерений. Учебник для вузов/ В.И.Соболев. – М.: Машиностроение, 1983. – 224 с.
12. Дюрелли А. Экспериментальная механика: В 2-х кн.: Кн. 2. Пер. с англ./ А. Дюрелли Дж. Холл // Под ред. А. Кобаяси. — М., Мир, 1990. — 552 с., ил.
13. Аш Ж. Датчики измерительных систем: В 2 х кн. Кн. 2. / Ж.Аш – М.: Мир, 1992. – 480 с.

14. Белоков А.Н. Натурный эксперимент. Информационное обеспечение экспериментальных исследований / Г.М Солодихин., В.А. Солодовников //Под ред. Н.И. Баклашова.-М.: Радио и связь, 1982.-292 с.
15. Горовой А.А. Микропроцессорный агрегатный комплекс для диагностики технических систем.-К.: Техника, 1990.-184 с.
16. Ехлаков В.П., Маков Л.В. Измерение и контроль параметров технических комплексов.-М.: Воениздат, 1978.-128 с.
17. Кругликов В.П. Вероятностный машинный эксперимент в приборостроении.-Л.: Машиностроение, 1985.-247 с.
18. Фомін Я.А. Тарловский Г.Р. Статистическая теория распознавания образа. – М.: Радио и связь, 1986. – 264 с.:ил.
19. Кравець І.А. Ремонтна регенерація трибосистем / І.А. Кравець. – Тернопіль, Агроінститут. – 2004. – 300 с.
20. Круча Г.К. Теоретические основы планирования исследований.-М.: Машиностроение, 1973.-194 с.
21. Лебедев А.Н. Моделирование в научно-технических исследованиях.-М.: Радио и связь, 1989.-258 с.
22. Максимей И.В. Имитационное моделирование на ЭВМ.-М.: Радио и связь, 1988.-232 с.
23. Проников А.С. Концепция прогнозирования параметрической надежности машин // Известия ВУЗов Машиностроение.-1991.-№3.-С. 37-45.
24. Себер Дж. Линейный регрессионный анализ.-М.: Мир, 1980.-288 с.
- Мудров В. И. Методы обработки измерений / В. И. Мудров, Л. Кушко. - М. : Советское радио, 1976. – 192 с.
25. Мудров В. И. Методы обработки измерений / В. И. Мудров, Л. Кушко. - М. : Советское радио, 1976. – 192 с.
26. Староселец В.Г. Методы построения программ функционального диагностирования.-Л.: Машиностроение 1986.-246 с.
27. Кобаяси А. Экспериментальная механика. В 2-х книгах: Книга 2. Пер. с англ./Под ред А. Кобаяси. – М.: Мир, 1990. – 552., ил

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі розроблено новий підхід, щодо метрологічного забезпечення спряжених деталей за рахунок прогнозування безвідмовності деталей з використання статистичної інформації в умовах обмеженого обсягу вимірювальної інформації. Зокрема, отримані такі наукові результати:

В результаті проведених у дисертаційній роботі теоретичних та експериментальних досліджень отримані такі наукові та практичні результати:

1. Вперше проведено аналіз методів вимірювання спряжених деталей та проаналізовано похибки які виникають при їх випробуванні після відновлення. Введено та обґрунтовано поняття метрологічного забезпечення випробувань при відновленні спряжених пар в реальному часі.
2. Вперше розроблено метод визначення ідентифікації геометричних параметрів для оперативного управління якістю, який відрізняється від чинних комплексним застосуванням статистичної інформації та дає можливість реалізації нового класу обладнання на основі імпульсного модульованого струму.
3. Вперше розроблено модель системи контролю для забезпечення якості прецизійних деталей з урахуванням зовнішніх дестабілізуючих факторів, яка на відміну від раніше відомих, дозволяє реалізувати принцип гнучкого проектування прецизійних деталей за рахунок використання статистичної інформації та дає можливість підвищити точність контролю на 10 %.
4. Запропоновано метод випробування спряжених деталей із застосуванням вихрострумове ефекту, який на відміну від раніше відомих базується на використанні імпульсного модульованого струму та дає можливість усунення паразитних похибок при використанні цифрового фільтра.
5. Розроблено новий метод випробування спряжених пар на основі імпульсного модульованого струму з урахуванням інтегральної оцінки

узагальненого показника якості на базі визначення вірогідності аномальних процесів відхилення від форми та розташуванням поверхонь, дослідження фізичних явищ та складу і властивостей матеріалу, а також матеріалу для створення стандартних зразків деталей про їх придатність.

6. Подальшого розвитку отримав метод прогнозування якості випробування спряжених деталей, який на відміну від існуючих методів на основі кількісного та інформаційного, що дає можливість підвищення ефективності метрологічної надійності вимірювальної системи та експериментально підтверджено підвищення точності прогнозування.

7. Розроблений стандарт підприємства (проект) для випробування спряжених деталей в цехових умовах після відновлення на основі застосування нового класу обладнання на основі імпульсного модульованого струму.

ДОДАТКИ

Додаток А1
Акти впровадження



ДЕРЖАВНИЙ КОНЦЕРН «УКРОБОРОНПРОМ»
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
«ЗАВОД 410 ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ»
State Enterprise Plant 410 Civil Aviation

Україна, 03151, Київ-151, Повітрофлотський пр., 94
aviatark@410.kiev.ua

тел. : (44) 246-99-26, факс: (44) 246-99-83

94, Povitroflotskiy ave., Kiev, 03151, Ukraine
arp410@410.kiev.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ



Заступник генерального директора –
технічний директор
ДП «ЗАВОД 410 ЦА»

[Signature] Жигінас В.В.

13 08 2019 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи

Комісія ДП «ЗАВОД 410 ЦА», у складі:

Голова комісії – Головний конструктор О.В. Кіпров,

члени комісії:

Головний метролог-начальник ЦЗЛ І.І. Бобир,

Начальника лабораторії НК О.М. Жорноклей.

констатують, що результати дисертаційної роботи молодшого наукового співробітника Національного авіаційного університету Паращанова В.Г. впроваджені у практику контролю авіаційної техніки на ДП «ЗАВОД 410» ЦА.



АП-145



РАКІ-145

Aviation Authority
України

UAE-MAA-145 0112

Найменування впровадженого результату дисертаційної роботи (прилад, технологічний процес, речовина, метод, методика, рекомендації, алгоритми, програми, ДСТ, технологічні вимоги, інше)	Досягнутий фактичний ефект (соціальний, технічний, організаційний, інший)
1. Методика вимірювання шорсткості в парах тертя в робочих умовах при випробуванні за допомогою профілометра-профілографа в цехових умовах.	1. Підвищення точності вимірювання за рахунок корегування похибок від дії зовнішніх дестабілізуючих факторів.
2. Математична модель вірогідності аномальних відхилень вимірювальних параметрів деталей складної форми.	2. Удосконалення способів вимірювання шорсткості деталей в вузлах тертя.
3. Розробка методу безрозбірного вимірювання геометричних параметрів прецизійних пар тертя з використанням лазерної вимірювальної системи.	3. Підвищення точності та швидкодії вимірювання геометричних параметрів прецизійних пар тертя та вузлів.

Даним актом засвідчується, що матеріали проведеної дисертаційної роботи впроваджені при контролі деталей літака (насосів, газотурбінних систем, зубчасточерв'ячних передач). Впроваджений метод контролю лінійно-кутових розмірів вузлів літака в умовах дії дестабілізуючих факторів з високою точністю та швидкістю.

Комісія підтверджує, що результати дисертаційної роботи Панащенко В.Г. представляють інтерес для спеціалістів ДП «Завод 410» ЦА.

Взаємних фінансових претензій організації не мають.

Головний конструктор



О.В. Кінров

Головний метролог-начальник ЦЗЛ



І.І. Бобир

Начальника лабораторії НК



О.М. Жорноклей

ПОГОДЖЕНО

Проректор з навчальної роботи НАУ


 А. Гудманян
 “ 19 ” 08 2019 р.
ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи НАУ


 В. Харченко
 “ 19 ” 08 2019 р.
**АКТ**

впровадження результатів дисертаційної роботи


Комісія у складі: голова комісії – завідувач кафедри інформаційно-вимірювальних систем д.т.н., доцент Орнатський Д.П., та членів комісії: доцент кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій к.т.н., доцент Осмолівський О.І., асистент кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій к.т.н. Катаєва М.О. констатує, що результати дисертаційної роботи молодшого наукового співробітника НДЧ Національного авіаційного університету Паращанова В'ячеслава Георгійовича впроваджені у навчальний процес Національного авіаційного університету на кафедрі інформаційно-вимірювальних систем та на кафедрі комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій результати дисертаційної роботи Паращанова В.Г., а саме:

Найменування впровадженого результату НДР (прилад, метод, методика, алгоритми, програми, інше)	Досягнутий фактичний ефект (соціальний, технічний, організаційний, інший)
1	2
1. Метод ідентифікації визначення геометричних параметрів спряжених деталей та вузлів в парах тертя.	1. Даний метод дозволяє розв'язати задачу довговічності деталей та вузлів що дозволяє вимірювати різні види поверхні деталей у вигляді алгоритму з автоматичною обробкою вимірювальною інформації.
2. Вдосконалення бази даних статистичних вимірювань що дозволяє визначати по виміряним даним механізм формування відхилень від конструкторських даних.	2. Введення нових критеріїв дає можливість оцінити порядок роботи вимірювальної системи та дозволяє вирішувати більш широкий спектр задач.
3. Метод якості випробування пар тертя за рахунок підвищення інтервальної оцінки узагальненого показника якості на базі визначення вірогідності аномальних процесів в трибосистемах.	3. Вимірювання відхилення геометричних параметрів об'єктів від заданого значення з підвищеною точністю, на базі визначення аномальних відхилень.

Результати дисертаційної роботи Паращанова В.Г. впроваджені у навчальний процес кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій:

- використовуються у курсах лекцій з дисципліни «Фізичні основи сучасної метрології», Основи метрології та електричних вимірювань зі спеціальності «Інформаційні вимірювальні системи».
- застосовуються в процесі дипломного та курсового проектування зі спеціальності «Інформаційні вимірювальні системи».

Голова комісії:


Д.П. Орнатський

Члени комісії:

О.І. Осмоловський

М.О. Катаєва

ДЕРЖАВНИЙ КОНЦЕРН «УКРОБОРОНПРОМ»
The State Concern UKROBORONPROM

ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО
“НАУКОВО-ВИРОБНИЧЕ
ОБ’ЄДНАННЯ
“КИЇВСЬКИЙ ЗАВОД АВТОМАТИКИ”



PUBLIC JOINT STOCK COMPANY
“RESEARCH-AND-PRODUCTION
ASSOCIATION
“KYIV AUTOMATICS PLANT”

вул. Старокіївська, 10, м. Київ, 04116 Україна
Тел./факс: +38044-236-62-75
http://www.kza.com.ua E-mail: kza@kza.com.ua

10 Starokyivska str., Kyiv, 04116, Ukraine
Tel/fax: +38044-236-62-75
http://www.kza.com.ua E-mail: kza@kza.com.ua

вих. № _____

на № _____ від _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший заступник
Голови Правління
ПАТ «НВО «Київський завод
автоматики»

 Цірук В. Г.

« 9 » 01 2020 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ результатів дисертаційної роботи

Ми, що нижче підписалися, в.о. начальника КТУ Петренко О.В., завідувач метрологічної лабораторії Малахов В.В. склали дійсний акт про те, що результати дисертаційної роботи здобувача Паращанова В'ячеслава Георгійовича впроваджені у практику контролю приладів та систем на ПАТ «НВО «Київський завод автоматики».

У роботі вирішені питання забезпечення якості випробування підшипників та розроблено модель системи, яка дозволяє реалізувати принцип гнучкого проектування окремих деталей підшипників за рахунок прогнозованого значення вагового коефіцієнта обходу деталі при вимірюванні, а також обґрунтовано новий підхід щодо метрологічного забезпечення при виготовленні виробів спеціального призначення за рахунок прогнозування безвідмовності деталей з використанням статистичної інформації в умовах обмеженого обсягу вимірювальної інформації.

Використання цих результатів кандидатської дисертації Паращанова В. Г. забезпечило для підприємства:

- Планування та організацію робіт по метрологічному забезпеченню виробництва продукції;
- Розробку методики для діагностики підшипників та методики вимірювань їх параметрів а також їх оцінки достовірності.

Комісія підтверджує, що результати дисертаційної роботи Паращанова В. Г. мають значний науковий внесок в розробку метрологічного забезпечення випробування після відновлення та представляють практичний інтерес для фахівців ПАТ «НВО «Київський завод автоматики».

Взаємних фінансових претензій організації не мають.

В.о. начальника КТУ  О.В. Петренко

Завідувач метрологічної лабораторії КТУ  В.В. Малахов

Додаток Б1

Схема приладової системи для випробування спряжених деталей

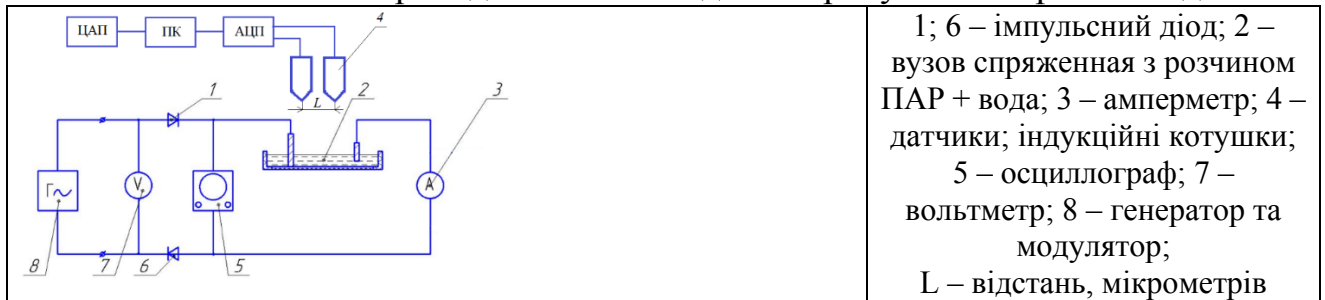


Рис. Б1.1. Функціональна схема випробування прецизійних деталей на базі імпульсного модульованого струму

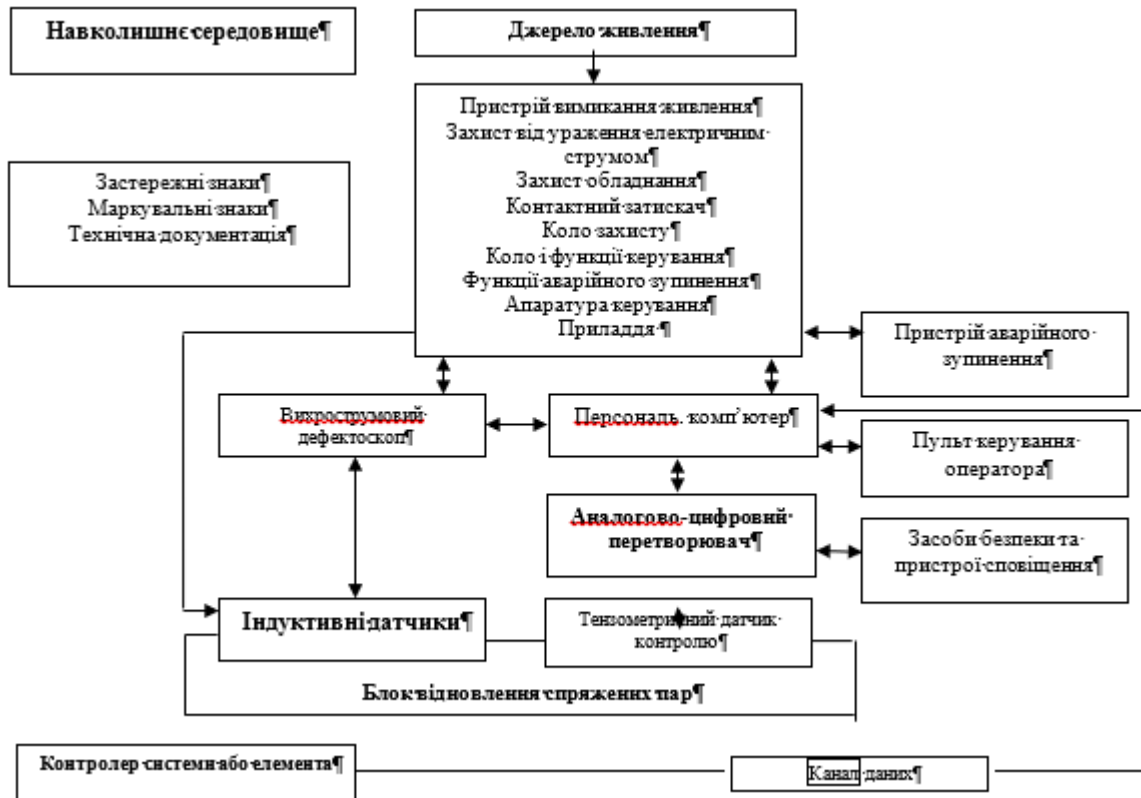


Рис. Б1.2 – Структура схема типової установки

Класифікація методів випробування спряжених деталей

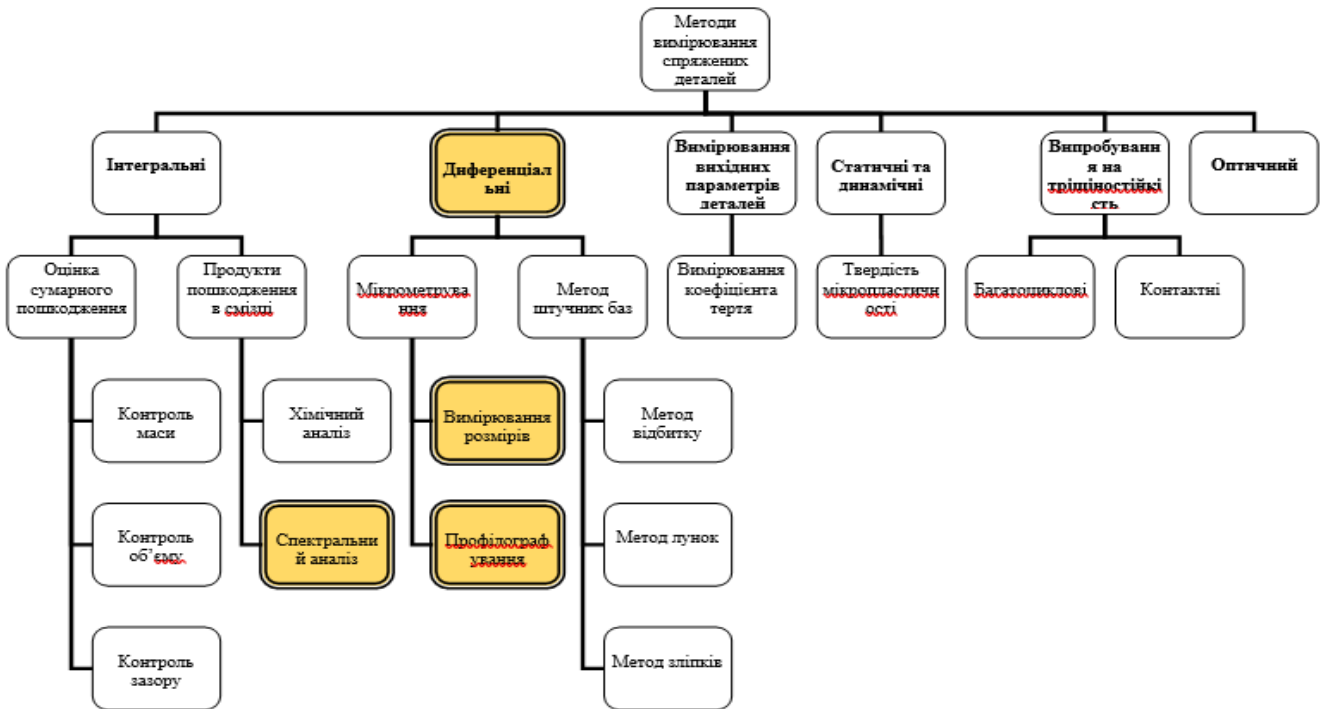


Рис. Б2.1. Класифікація методів випробування

Алгоритм обробки результатів вимірювання

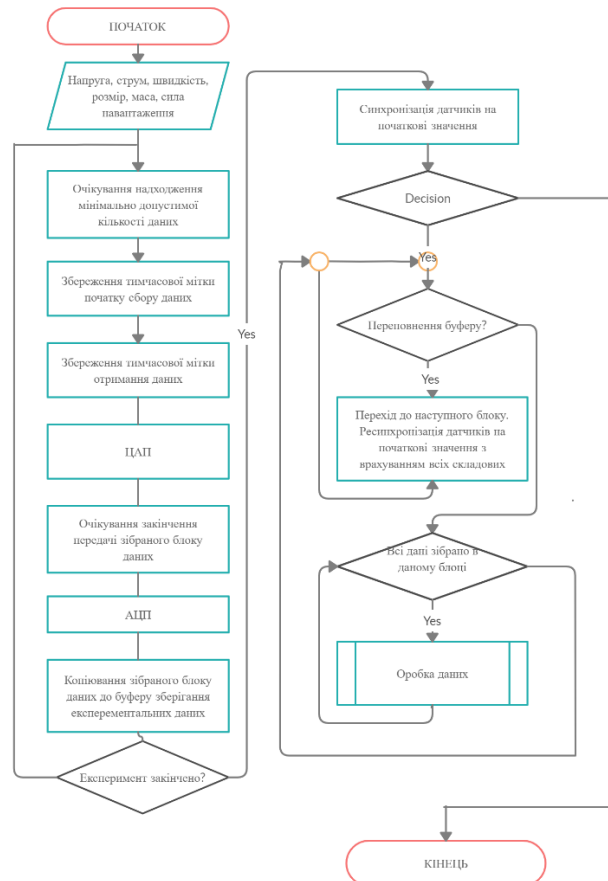


Рис. Б3.1. Блок-схема алгоритму збору та обробки результатів вимірювання да них шорсткості поверхні спряжених деталей після відновлення

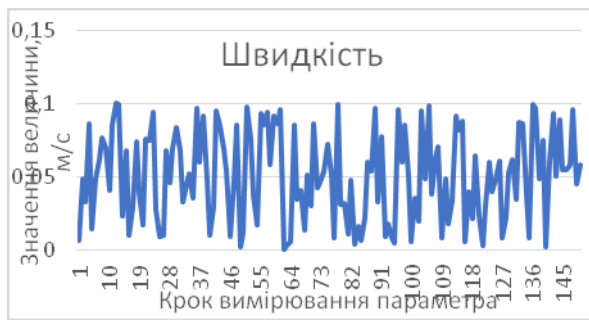
Додаток Б4
Графіки

Рис. Б4.1. Графік вимірювання швидкості



Рис. Б4.2. Графік вимірювання шорсткості



Рис. Б4.3. Графік вимірювання сили навантаження



Рис. Б4.4. Графік виявлення дефекту

Додаток Б5

Картограми, топографії, геометричні параметри

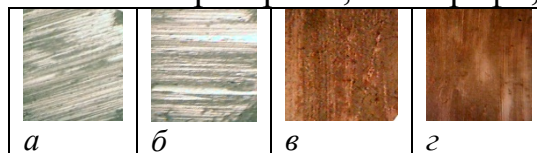


Рис. Б5.1 Топографія утвору плівки на поверхні спряжених деталей вузла (збільшення 90х)

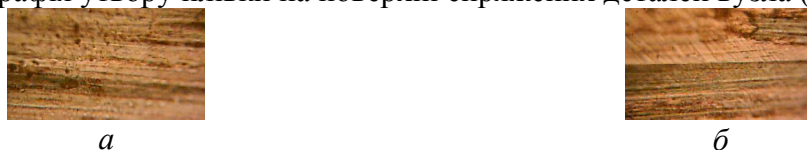
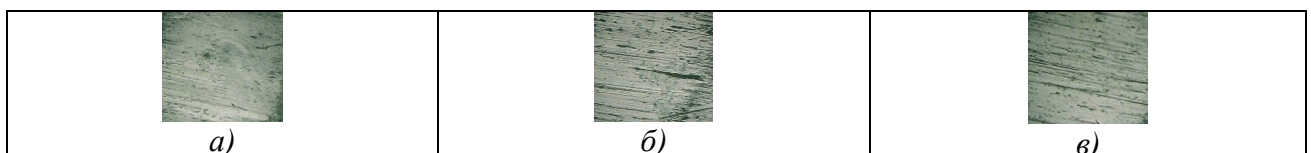
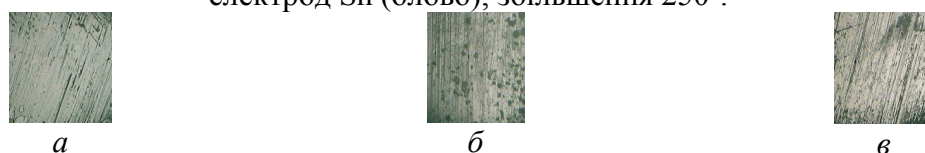


Рис. Б5.2 Картограми механічного вузла поверхні при 1000Гц імпульсного струму

Рис. Б5.3 Картограми механічного вузла з сталю 45 у середовищі ПАР допоміжний електрод Sn (олово), збільшення 250^x.Рис. Б5.4 Картограми сталі 45 з допоміжним електродом мідь
а) поверхня деталі; б) міцели; в) перенос міді на сталь (темна пляма).

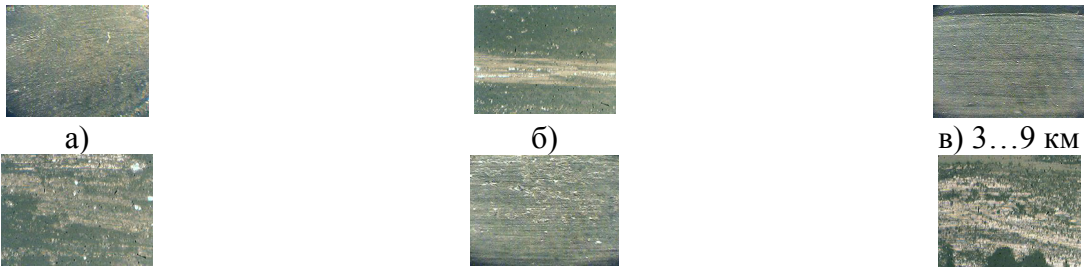


Рис. Б5.5 Топографія поверхні деталі з сталі 40X13 (а, в, д) і сплаву LC59-1 (б, г, ж) при на робітці. (100x)



Рис. Б5.6 Топографія поверхні сплаву 40X13 після на робітці

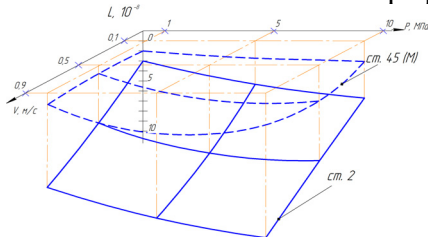


Рис. Б5.7 Визначення геометричних дефектів сталі 20 і сталі 45 (М) від швидкості й навантаження

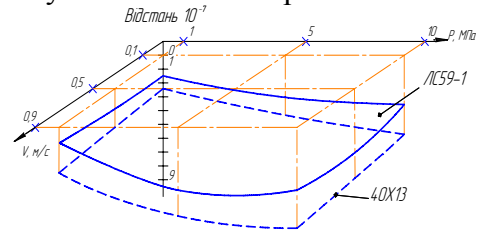


Рис. Б5.8 Геометричні параметри при випробуванні 40X13 і сплаву LC59-1

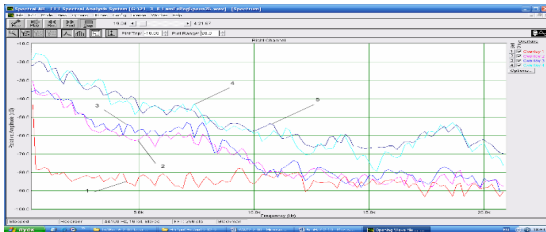


Рис. Б5.9. Спектральна характеристика сталі 40X13 при випробуванні.

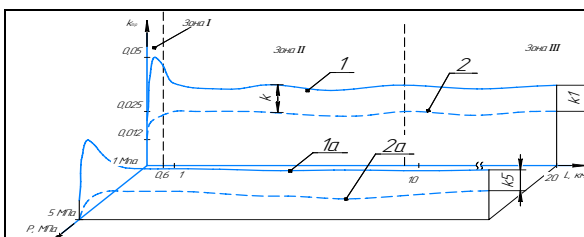


Рис. Б5.10 Поверхня деталі з сталі 45 залежно від шляху й навантаженні 0,1МПа в 50% ПАР

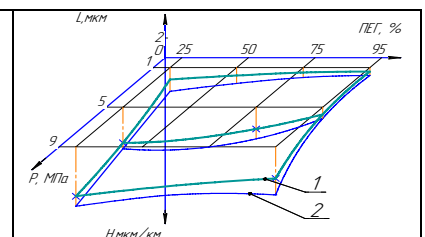


Рис. Б5.11 Геометричні параметри випробування сталі 20



Рис. Б5.12 Моніторинг топографії поверхні сталь 20 в середовищі ПАР

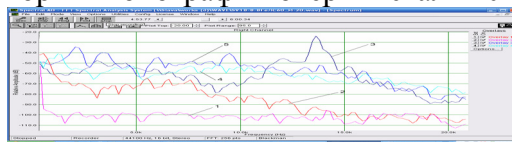


Рис. Б5.13 Спектральна характеристики поверхні деталей з сталі 20

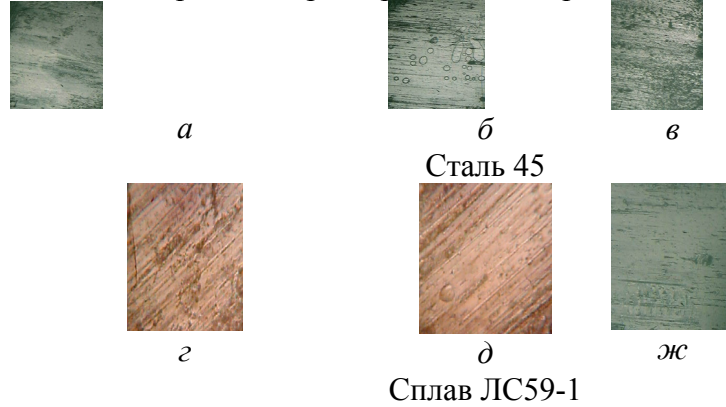


Рис. Б5.14. Топографія поверхні сталі 45 (а, б, в) та сплаву LC59-1 (г, д, ж)

Додаток Б6

Моніторинг поверхні деталі

Показано, що струм навіть у середовищі з високим питомим опором порядку 4 МОм/м зі збільшенням частоти досягає робочих параметрів для переносу електронів допоміжного електрода міді. Отримані дані у вигляді формули:

$$p(t) = U^2(t)/R$$

або зміни струму

$$p(t) = I^2(t)/R$$

Найбільш очевидної представляється гіпотеза про ударну іонізацію електронами молекул рідини. На основі цієї гіпотези розроблений ряд моделей пробою, що дозволяють оцінити електричну міцність простих вуглецевих рідин і передбачити характер зміни електричної міцності з розгалуженням структури молекул

На базі отриманих результатів, про той що основний рівень вібрації вузла тертя розробленої установки й використовуваних зразків у діапазоні: 1-5 кГц, а також багатьох роботах про імпульсну обробку дійшли висновку, що необхідно провести дослідження використовуючи імпульсний сигнал з модуляцією на допоміжному електроді.

Проведені досліджень зі струмами в широкому діапазоні частот від 20 Гц до 200 кГц показали, що зі зміною частоти неоднозначно впливає на електропровідність у трибоелектрохімічному процесі, відповідно до електричної схеми.

Додаток В1

Патенти

УКРАЇНА (19) UA (11) 36601 (13) U
(51) МПК (2006) G01N 3/56 F16C 33/14 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

визначається під виглядом змінливості власника патенту

(54) СПОСІБ ВІДНОВЛЕННЯ ПОВЕРХНІ ТЕРТЯ

1 2

(21) u200809864
(22) 23.07.2008
(24) 27.10.2008
(46) 27.10.2008, Бюл. № 20, 2008 р.
(72) СВИРИД МІХАЙЛО МІКОЛАЙОВИЧ, УА, КРАВЕЦЬ ІВАН АНДРІЙОВИЧ, УА, ПАРШАЦАНОВ ВІЧЕСЛАВ ГЕОРГІЙОВИЧ, УА, ЗАМЬКО СЕРГІЙ

(57) Спосіб відновлення поверхні тертя, що заснований на нанесенні на поверхню тертя матеріалу трибоелектрохімічних осадженням, при якому поверхню пар тертя жін є катодом і виступає як є анодом і виходна з матеріалу, електродний потенціал якого по абсолютній величині менше, ніж електродний потенціал матеріалів поверхню, тер-

УКРАЇНА (19) UA (11) 54490 (13) U
(51) МПК (2009) G01N 3/56 F16C 33/14 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

визначається під виглядом змінливості власника патенту

(54) СПОСІБ ВІДНОВЛЕННЯ ПОВЕРХНІ ТЕРТЯ В РІДИНАХ З ВИСОКИМ ПИТОМИМ ЕЛЕКТРООПОРОМ

1 2

(21) u201006047
(22) 19.05.2010
(24) 10.11.2010
(46) 10.11.2010, Бюл. № 21, 2010 р.
(72) СВИРИД МІХАЙЛО МІКОЛАЙОВИЧ, КРАВЕЦЬ ІВАН АНДРІЙОВИЧ, ПАРШАЦАНОВ ВІЧЕСЛАВ ГЕОРГІЙОВИЧ, СИДОРЕНКО ОЛЕКСАНДР

(57) Спосіб відновлення поверхні тертя в рідинах з високим питомим електроопором, що полягає в підключенні вузла тертя до джерела живлення, який відрізняється тим, що на вузол тертя подається імпульсний струм частотою від 5 до 20 Гц, в з генератора сигналі подають несучу періодичну частоту від 1000 до 5000 Гц, що оптимізує

УКРАЇНА (19) UA (11) 36600 (13) U
(51) МПК (2006) G01N 3/56

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

визначається під виглядом змінливості власника патенту

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ НА ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ

1 2

(21) u200809863
(22) 23.07.2008
(24) 27.10.2008
(46) 27.10.2008, Бюл. № 20, 2008 р.
(72) СВИРИД МІХАЙЛО МІКОЛАЙОВИЧ, УА,

датчик з'єднано з приладом, що реєструє, який відрізняється тим, що він додає до містять стержню, мікроскоп для дослідження поверхні тертя та для вимірювання зносу робочого зразка, фотокамеру для опрацювання і фіксації зображення

Додаток В2

Проект. Стандарт підприємства

Метрологічне забезпечення спряжених деталей

Дана рекомендація поширюється на випробування спряжених деталей (ВСД), у тому числі придбані по імпорту, та встановлює основні положення їх метрологічного забезпечення (МЗ).

1. Загальні положення

1.1 МЗ ВСД – це встановлення та використання наукових та організаційних основ, технічних засобів та систем, а також програмних засобів з нормованими характеристиками, правил та норм, необхідних для досягнення єдності й точності вимірів, у тому числі, здійснених при контролі, діагностуванні управлінні та інших операціях в ВСД.

1.2 Технічні засоби та системи з нормованими характеристиками (ТЗСНХ) разом з відповідними програмними засобами з нормованими характеристиками (ПЗНХ) реалізують в ВСД наступні функції:

- автоматизований (автоматичний) контроль, виміру, наприклад, параметрів сировина, матеріалів, напівфабрикатів, заготовок, технологічного процесу, інструментів, умов, у тому числі, технологічної умови, а також параметрів продукції ВСД;

- технічне діагностування технологічного обладнання; автоматизоване (автоматичне) управління та корекцію; мір фізичних величин, у тому числі, при позиціонуванні; інші функції.

2. Основні напрямлення робіт по МЗ ВСД

2.1. МЗ на етапі проектування ВСД включає:

- МЗ при підготовці проекту технічного завдання (ТЗ) та його метрологічну експертизу;

- МЗ при підготовці конструкторської, технологічної та програмної документації, включаючи документацію на МЗ ВСД у процесі експлуатації, й метрологічну експертизу названої документації.

2.1.1 МЗ при підготовці проекту ТЗ полягають в рахунку потреб метрології при виборі належних розумінню фізичних величин та параметрів, характеризуючи ВСД:

- в нормуванні характеристик ВСД; в установленні термінів, які відносяться до МЗ;

- в аналізі можливостей забезпечення відповідності між точними характеристиками планованої до виготовлення продукції, точними характеристиками обладнання, а також метрологічними характеристиками вимірів, точними характеристиками методів контролю, діагностування та інших методів, включаючи ПЗНХ, з наміром умов експлуатації.

- результатом аналізу є висновки про можливості забезпечення вказаних характеристик при обговорених в технічному завданні потреб.

2.1.2. МЗ при підготовці конструкторської, технологічної програмної документації полягає в обліку потреб метрології при виборі перелік величин й параметрів, належаних виміру, контролю, діагностуванню, використовуваних для управління й інших операцій в ВСД:

- при виборі списку потреб метрологічних й точних характеристик ТЗСНХ й ПЗНХ;

- при виборі чи розробці технічних методів й систем з потрібними метрологічними й точними характеристиками, у яких є перевірка метрологічної справності при експлуатації;

- при виборі чи розробці й атестації алгоритмів, реалізуючи операції, які повинні здійснюватися з допомогою ПЗНХ (з облік плануємо номенклатури продукції);

- при виборі чи розробці методики атестації ТЗСНХ, алгоритмів й при необхідності методики виконання перевірки метрологічної справності.

Критерієм вибору рішень чи альтернативних розробок є рівень якості продукції, техніко-економічна ефективність, безпека персоналу.

2.1.3 Перевірка метрологічної справності чи атестації вбудованих ПЗНХ, а також перевірка метрологічної справності чи атестації вбудованих ТЗСНХ може виявлятися з допомогою:

- транспортних зразкових методів вимірів;

- зразкових методів вимірів, пов'язаних з ТЗСНХ каналами зв'язку;

- вбудованих методів вимірів: зразкових чи методів метрологічного діагностичного контролю (МДК)

2.1.4. У знову розробляючи ВСД для ТЗСНХ потрібно передбачити можливість їх перевірки метрологічної несправності, а також їх атестації без демонтажу.