

УДК 62-4:658.5

DOI: <https://doi.org/10.32347/tb.2024-41.0411>**Микола Клименко,**

кандидат технічних наук,
завідувач кафедри машин і обладнання технологічних процесів
Київський національний університет будівництва і архітектури,
просп. Повітряних сил, 31, м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6166-8966>,
E-mail: klymenko.mo@knuba.edu.ua

Олександр Дьяченко,

кандидат технічних наук,
доцент кафедри машин і обладнання технологічних процесів
Київський національний університет будівництва і архітектури,
просп. Повітряних сил 31, м. Київ, 03037, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8199-2504>
E-mail: diachenko.os@knuba.edu.ua

Василь Марач,

аспірант
Київський національний університет будівництва і архітектури,
просп. Повітряних сил, 31, м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9457-6042>
E-mail: marach.vm@knuba.edu.ua

МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРИ КОНТРОЛІ ПАРАМЕТРІВ З'ЄДНАНЬ МАШИН ПРОМИСЛОВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

АНОТАЦІЯ. У статті розглянуто сучасні методи забезпечення якості при контролі параметрів з'єднань у машинобудуванні. Акцент зроблено на використанні методу Парето для визначення ключових дефектів, що найбільше впливають на якість продукції, та причинно-наслідкової діаграми Fishbone для ідентифікації кореневих причин проблем. Запропоновано інтегрований підхід, який включає аналітичні інструменти, вдосконалення технологічного контролю та підвищення кваліфікації персоналу. Зазначені методи дозволяють мінімізувати кількість дефектів, підвищити надійність продукції та оптимізувати виробничі процеси. Результати дослідження можуть бути використані для впровадження ефективних стратегій покращення якості у виробничих системах.

Ключові слова: методи забезпечення якості, параметри з'єднань, метод Парето, діаграма Fishbone, причинно-наслідковий аналіз, дефекти продукції, технологічний контроль, аналіз даних, підвищення надійності, удосконалення процесів, контроль якості, кореневі причини.

QUALITY ASSURANCE METHODS FOR CONTROLLING THE PARAMETERS OF CONNECTIONS OF MACHINES IN THE BUILDING MATERIALS INDUSTRY

ABSTRACT. The article examines modern methods for ensuring quality in the control of connection parameters in mechanical engineering. Emphasis is placed on using the Pareto method to identify key defects that significantly affect product quality and the Fishbone cause-and-effect diagram to determine the root causes of issues. An integrated approach is proposed, including analytical tools, improved technological control, and personnel training. These methods enable minimizing defects, enhancing product reliability, and optimizing production processes. The research results can be utilized to implement effective quality improvement strategies in manufacturing systems.

Keywords: quality assurance methods, connection parameters, Pareto method, Fishbone diagram, cause-and-effect analysis, product defects, technological control, data analysis, reliability improvement, process enhancement, quality control, root causes.

1. Постановка проблеми. Забезпечення якості з'єднань є ключовим фактором у

багатьох галузях промисловості, зокрема в машинобудуванні, будівництві, авіакосмічній та енергетичній сферах. Надійність та довговічність з'єднань визначають загальну працездатність конструкцій і технологічних систем, а отже, їхній контроль та відповідність встановленим параметрам мають вирішальне значення. Зважаючи на постійне ускладнення конструкцій, застосування новітніх матеріалів і технологій виготовлення, питання контролю параметрів з'єднань набуває особливої актуальності.

Сучасні підходи до забезпечення якості з'єднань стикаються з низкою викликів. Серед них – висока вартість обладнання для контролю, обмеженість методів у виявленні дефектів, що виникають у складних умовах експлуатації, а також необхідність інтеграції методів контролю у виробничі процеси без їхнього значного ускладнення. В умовах підвищення вимог до надійності та довговічності виробів особливого значення набувають методи неруйнівного контролю, які дозволяють оцінювати параметри з'єднань без пошкодження виробів. Одночасно, використання інноваційних підходів, таких як застосування штучного інтелекту та автоматизованих систем, створює нові можливості для вдосконалення методів контролю.

Дослідження методів забезпечення якості при контролі параметрів з'єднань спрямоване на вирішення низки критичних завдань: підвищення точності контролю, зменшення витрат на обслуговування та усунення помилок людського фактору. Розробка нових методик контролю з використанням сучасних технологій дозволить підвищити ефективність виробничих процесів і забезпечити високу якість готової продукції. Крім того, такі дослідження сприятимуть оптимізації витрат ресурсів і покращенню екологічних показників промислових підприємств. Таким чином, наукове дослідження в цьому напрямі не лише задовольняє потреби сучасного виробництва, але й відкриває нові перспективи для подальшого розвитку технологій забезпечення якості

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій. Забезпечення якості при контролі параметрів з'єднань є одним із ключових напрямів сучасних наукових досліджень, спрямованих на підвищення надійності та ефективності конструкцій у різних галузях промисловості. У світовій науковій спільноті активно обговорюються методи вдосконалення якості виробів, зокрема через інтеграцію новітніх технологій у процеси контролю та оцінки.

Серед останніх досліджень важливими є роботи Madhu Puttegowda та Sharath Ballurpete Nagaraju [1], а також [2], присвячені впровадженню інтелектуальних систем в машинобудуванні. У цих роботах акцент зроблено на використанні штучного інтелекту та машинного навчання для аналізу параметрів з'єднань у режимі реального часу. Автори демонструють, що застосування таких підходів дозволяє значно знизити вплив людського фактора і підвищити точність контролю, особливо в умовах автоматизованого виробництва.

Дослідження Riveiro Belén і Mercedes Solla [3] розглядає неруйнівні методи контролю з'єднань, в тому числі із використанням лазерних технологій. Робота показала, що лазерний ультразвук дозволяє отримувати детальну інформацію про внутрішню структуру з'єднань без необхідності їх пошкодження. Це відкриває нові можливості для контролю складних конструкцій, наприклад, у авіаційній та космічній галузях.

Важливим внеском у цій сфері є дослідження Ronald Halmshaw [4], де проведено аналіз впливу технологічних параметрів процесів зварювання на якість з'єднань. Автором розроблено математичні моделі, що дозволяють прогнозувати формування дефектів залежно від температурного режиму та складу матеріалів. Це дослідження стало основою для вдосконалення процесів виготовлення зварних з'єднань у машинобудуванні.

Особливу увагу привертають дослідження, пов'язані з використанням автоматизованих систем для забезпечення якості. Робота Ramesh Kumrati та Skarka Wojciech [5] присвячена розробці автоматизованих комплексів неруйнівного контролю, які інтегруються у виробничі лінії. Автори підкреслюють, що такі системи не лише знижують час перевірки, але й підвищують економічну ефективність виробничих процесів.

Також варто зазначити внесок українських науковців у цю галузь. В дослідженнях Маєвського С.М. [6] розглядається специфіка контролю якості з'єднань у будівельній галузі.

Автор акцентує увагу на використанні комбінованих методів контролю, що поєднують візуальний огляд і ультразвуковий аналіз. Як випливає з низки інших досліджень [7-8], це дозволяє забезпечити точність перевірки великих з'єднань із мінімальними витратами.

У цілому, аналіз сучасних досліджень та публікацій свідчить про значний прогрес у розробці методів забезпечення якості при контролі параметрів з'єднань. Водночас залишається низка невирішених питань, пов'язаних із адаптацією новітніх технологій до конкретних виробничих умов, а також із підвищенням економічної доцільності використання складних технічних рішень. Це підтверджує необхідність подальших досліджень у цій сфері для вирішення актуальних задач сучасного виробництва.

3. Мета роботи. Розробка та вдосконалення методів забезпечення якості при контролі параметрів з'єднань, що забезпечують високу точність, надійність та ефективність оцінки технічних характеристик з'єднань для підвищення довговічності та безпечності конструкцій.

4. Матеріали та методи. В дослідженнях методів забезпечення якості при контролі параметрів з'єднань можна ефективно застосувати метод Парето та причинно-наслідкові діаграми для ідентифікації, аналізу та усунення основних проблем, що впливають на якість з'єднань.

Загально відомим і широко використовуваним методом в практиці управління якістю, який можна перенести на машинобудівну галузь у будівельній сфері є метод Парето, який базується на принципі Парето 80/20, що дозволяє визначити ключові фактори, які впливають на якість з'єднань, зокрема виявити найбільш критичні дефекти або технологічні параметри, що спричиняють основну частину проблем. Для застосування методу Парето в дослідженні необхідно:

- виконати збір даних та провести аналіз статистичних даних про дефекти з'єднань, таких як тріщини, пори, недостатнє проплавлення або відхилення геометричних розмірів, тощо;
- виконати класифікацію дефектів, згрупувавши дефекти за їхніми типами та частотою виникнення;
- побудувати діаграму Парето, створивши графік, який відобразить частку кожного виду дефектів у загальному об'ємі проблем. Це дозволить визначити дефекти, усунення яких матиме максимальний вплив на підвищення якості;
- здійснити пріоритетизацію рішень, спрямувавши зусилля на вдосконалення технологій або процесів, пов'язаних із найпоширенішими дефектами.

Іншим відомим методом є діаграма Fishbone, яка допомагає візуалізувати причинно-наслідкові зв'язки між проблемами якості з'єднань і їхніми потенційними причинами. Її використання включає:

- визначення основної проблеми, наприклад, незадовільна якість зварного шва;
- ідентифікація основних категорій причин, оскільки вони можуть охоплювати фактори, пов'язані з обладнанням (знос, налаштування), матеріалами (якість, несумісність), методиками (недоліки технології) та людським фактором (помилки оператора);
- власне побудова самої діаграми, вказавши для кожної категорії підпричини, які можуть спричинити основну проблему. Наприклад, для категорії "обладнання" це можуть бути недостатня потужність або неправильне калібрування, тощо.
- аналіз діаграми шляхом визначення основних причин проблеми, зосереджуючись на тих, які можна усунути найбільш ефективно.

Комбінування цих методів дозволяє системно аналізувати та оптимізувати технологічні процеси контролю параметрів з'єднань. При цьому, метод Парето допомагає визначити найбільш значущі дефекти, тоді як діаграма Fishbone сприятиме ідентифікації глибинних причин цих дефектів. Це, у свою чергу, дозволяє розробити практичні рекомендації для підвищення якості з'єднань і ефективності виробничих процесів.

5. Результати. Розберемо приклад застосування методів діаграми Парето та причинно-наслідкової діаграми Fishbone в машинобудуванні на прикладі заводу з виробництва коробок передач для автомобілів, на якому спостерігається висока частка браку,

що впливає на виробничі витрати та строки постачання. Застосуємо метод Парето для ідентифікації основних джерел проблем, таким чином, зможемо виявити ключові дефекти, які найбільше впливають на якість продукції, і визначити, на які етапи виробничого процесу слід спрямувати зусилля з оптимізації.

Припустимо, що протягом трьох місяців було зібрано інформацію про типи дефектів, їхню кількість та частку в загальному обсязі браку. Основними дефектами виявилися:

- невідповідність шліфування зубців (120 випадків)
- тріщини в корпусі (95 випадків)
- деформація валу (85 випадків)
- неправильна обробка посадочних місць (75 випадків)
- низька точність шліфування валу (60 випадків)
- відхилення у термообробці (50 випадків)
- несправності підшипників (45 випадків)
- інші дефекти (20 випадків).

Складаємо таблицю дефектів (табл.1).

Таблиця 1. Таблиця дефектів

Table 1. Defect table

Тип дефекту	Кількість випадків	Частка (%)	Кумулятивна частка (%)
Невідповідність шліфування зубців	120	22%	22%
Тріщини в корпусі	95	17%	39%
Деформація валу	85	15%	55%
Неправильна обробка посадочних місць	75	14%	68%
Низька точність шліфування валу	60	11%	79%
Відхилення у термообробці	50	9%	88%
Несправності підшипників	45	8%	96%
Інші дефекти	20	4%	100%
Разом	550	100%	

На основі зібраних даних будемо діаграму Парето (рисунок 1), розміщуючи на горизонтальній осі типи дефектів, а на вертикальних – їх кількість (ліва вісь) та кумулятивну частку (права вісь).

Аналіз отриманих даних показує, що чотири основні типи дефектів (невідповідність шліфування зубців, тріщини в корпусі, деформація валу та неправильна обробка посадочних місць) складають 69% від загальної кількості браку.

Отже, для усунення основних проблем мають бути розроблені наступні заходи:

1. для усунення невідповідності шліфування зубців – наприклад, вдосконалення системи калібрування верстатів та впровадження автоматичного моніторингу процесу;
2. для усунення тріщин в корпусі – виконані заходи з оптимізації технології лиття та посилення контролю якості сировини;
3. для усунення деформацій валу – здійснений перегляд параметрів термообробки, зокрема температурних режимів та тривалості нагрівання;
4. для усунення неправильної обробки посадочних місць – проведено навчання операторів щодо правильної налаштування обладнання та вдосконалення процесу поточного контролю.

Як показує практика застосування такого методу через півроку після впровадження заходів кількість дефектів зменшується на 65%, що дозволяє підприємству скоротити виробничі втрати на 30% та знизити витрати на виправлення браку.

Для доповнення аналізу на основі методу Парето гарні результати дає використання причинно-наслідкової діаграми Fishbone, яка застосовується для ідентифікації кореневих

причин основних дефектів, зокрема тих, які становлять найбільшу частку браку, в нашому випадку з прикладу: невідповідність шліфування зубців, тріщини в корпусі, деформація валу та неправильна обробка посадочних місць.

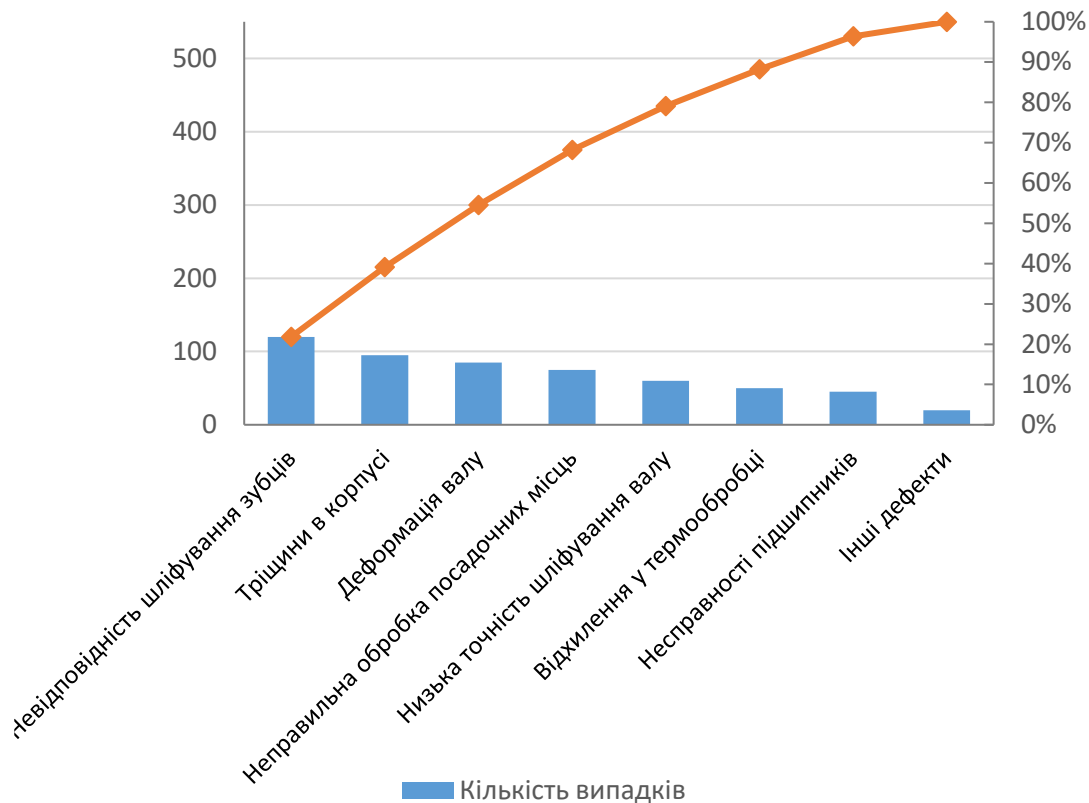


Рис. 1. Діаграма Парето
Fig. 1. Pareto Diagram

Вибираємо основну проблему для наступного аналізу, а саме: "Невідповідність шліфування зубців" (22% всіх дефектів).

Визначимо основні причини, які поділяються на кілька категорій, типових для виробничих процесів. Згідно з методологією використання причинно-наслідкової діаграми Fishbone такими категоріями є:

- обладнання, яка включає технічний стан, налаштування верстатів, тощо;
- матеріали, що включає якість сировини, властивості заготовок, т.п.;
- методика, до якої відносять технологічні параметри обробки, дотримання стандартів, т.п.;
- людський фактор, в тому числі, кваліфікація персоналу, помилки операторів, тощо;
- середовище, включаючи умови роботи, температуру, вібрації, т.п.

На основі побудованої причинно-наслідкової діаграми Fishbone (рисунок 2) виявляються ключові кореневі причини. Наприклад:

- некоректне калібрування верстата (обладнання);
- недотримання стандартів шліфування (методика);
- помилки при налаштуванні обладнання (людський фактор).

Надалі для кожної ідентифікованої причини розробляються конкретні заходи, такі як:

- впровадження автоматизованої системи калібрування та моніторингу роботи верстатів;
- проведення навчань для операторів з акцентом на налаштування обладнання;
- розробка та впровадження жорсткішого регламенту контролю якості заготовок.

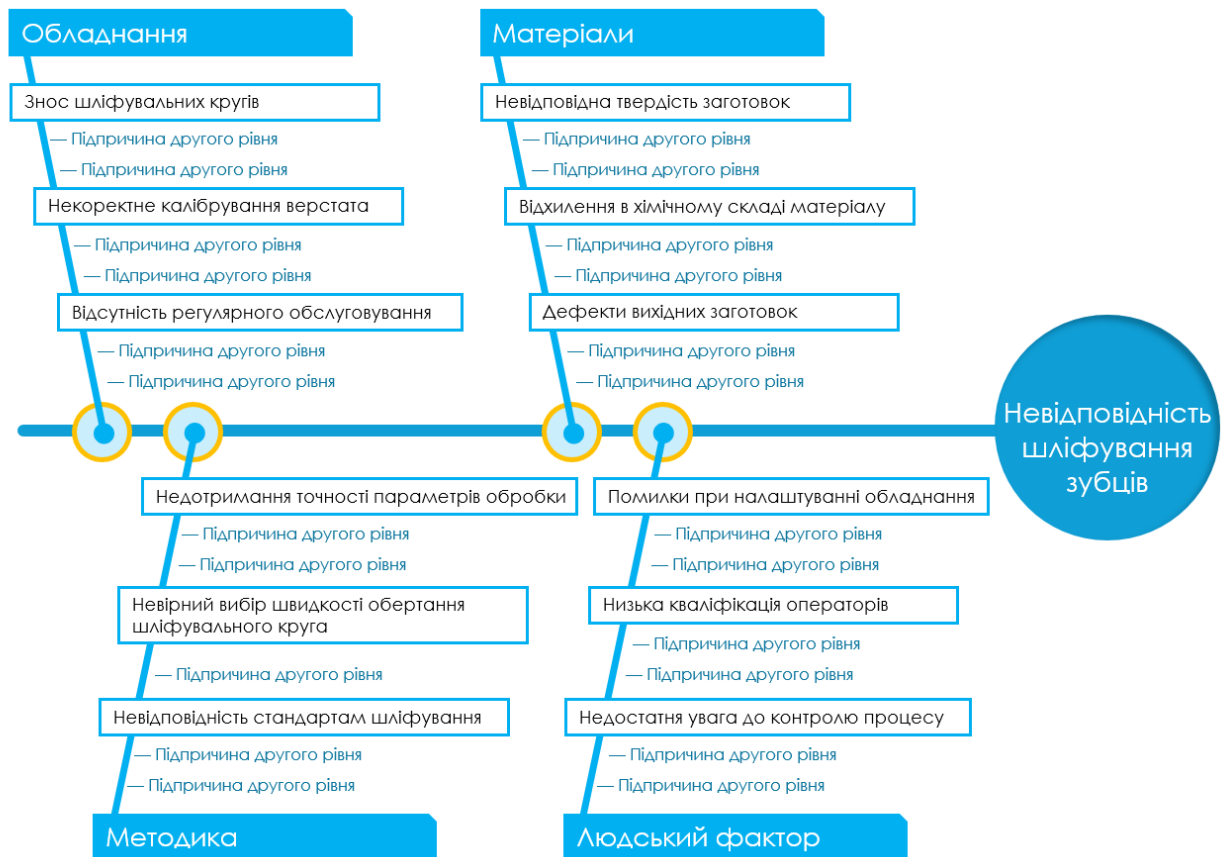


Рис. 2. Причинно-наслідкова діаграма Fishbone

Fig. 2. Cause-and-Effect Fishbone Diagram

6. Висновки. Методи забезпечення якості при контролі параметрів з'єднань повинні базуватися на інтегрованому підході, що включає застосування аналітичних інструментів і технологічних заходів. Методологія Парето дозволяє ідентифікувати найбільш значущі дефекти, забезпечуючи пріоритизацію ресурсів для їх усунення, що підвищує ефективність виробничих процесів. Застосування причинно-наслідкової діаграми Fishbone сприяє визначенню ключових факторів впливу, таких як стан виробничого обладнання, властивості матеріалів, параметри технологічного процесу, людський фактор та виробниче середовище. Комплексне впровадження зазначених методів у поєднанні з удосконаленням технологічного контролю та підвищенням кваліфікації персоналу забезпечує мінімізацію дефектів, підвищення надійності продукції та оптимізацію виробничих систем

Список використаних джерел

1. Madhu Puttegowda, Sharath Ballupete Nagaraju (2024). Artificial intelligence and machine learning in mechanical engineering: Current trends and future prospects, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Volume 142, 109910.
2. Jenis, J., Ondriga, J., Hrcek, S., Brumercik, F., Cuchor, M., & Sadovsky, E. (2023). Engineering Applications of Artificial Intelligence in Mechanical Design and Optimization. *Machines*, 11(6), 577.
3. Riveiro, B., & Solla, M. (Eds.). (2016). *Non-destructive techniques for the evaluation of structures and infrastructure (Vol. 11)*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press.
4. Halmsaw, R. (1996). *Introduction to the non-destructive testing of welded joints*. Woodhead Publishing.
5. Kumpati, R., Skarka, W., & Ontipuli, S.K. (2021). Current Trends in Integration of Nondestructive Testing Methods for Engineered Materials Testing. *Sensors*, 21(18), 6175.
6. Маєвський С.М. (2011). Координатна реєстрація інформації в дефектоскопії / С.М. Маєвський, К. М. Серий. К.: Львів. 116 с.

7. R.Wang (2016). An Automated Sensing System for Steel Bridge Inspection Using GMR Sensor Array and Magnetic Wheels of Climbing Robot / R.Wang, Y.Kawamura// Hindawi Publishing Corporation, Journal of Sensors, 15 p.
8. Adhikari, R.s & Zhu, Z. & Moselhi, Osama & Bagchi, Ashutosh. (2013). Automated Bridge Condition Assessment with Hybrid Sensing // Conference: 30th International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining; Held in conjunction with the 23rd World Mining Congress.

References:

1. Madhu Puttegowda, Sharath Ballupete Nagaraju (2024). Artificial intelligence and machine learning in mechanical engineering: Current trends and future prospects, Engineering Applications of Artificial Intelligence, Volume 142, 109910.
2. Jenis, J., Ondriga, J., Hreck, S., Brumerick, F., Cuchor, M., & Sadovsky, E. (2023). Engineering Applications of Artificial Intelligence in Mechanical Design and Optimization. *Machines*, 11(6), 577.
3. Riveiro, B., & Solla, M. (Eds.). (2016). Non-destructive techniques for the evaluation of structures and infrastructure (Vol. 11). Boca Raton, FL, USA: CRC Press.
4. Halmshaw, R. (1996). Introduction to the non-destructive testing of welded joints. Woodhead Publishing.
5. Kumpati, R., Skarka, W., & Ontipuli, S.K. (2021). Current Trends in Integration of Nondestructive Testing Methods for Engineered Materials Testing. *Sensors*, 21(18), 6175.
6. Mayevs'kyi S.M. (2011). Koordynatna reestratsiya informatsiyi v defektoskopiyyi / S.M. Mayevs'kyi, K. M. Syeryy. K.: L'viv. 116 s..
7. R.Wang (2016). An Automated Sensing System for Steel Bridge Inspection Using GMR Sensor Array and Magnetic Wheels of Climbing Robot / R.Wang, Y.Kawamura// Hindawi Publishing Corporation, Journal of Sensors, 15 p.
8. Adhikari, R.s & Zhu, Z. & Moselhi, Osama & Bagchi, Ashutosh. (2013). Automated Bridge Condition Assessment with Hybrid Sensing // Conference: 30th International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining; Held in conjunction with the 23rd World Mining Congress.