ISSN 2071-1859 (Print), ISSN 2521-6635 (Online)
УДК 622.62 https://doi.org/10.33271/crpnmu/83.135

© К.А. Зіборов[1], С.О. Федоряченко[1], Д.В. Лаухін[1], Д.В. Гаркавенко[1], О.В. Федоскіна[1]
[1] Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ НЕСТАНДАРТНОГО МЕТРОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

K. Ziborov[1], https://orcid.org/0000-0002-4828-3762
S. Fedoriachenko[1], https://orcid.org/0000-0002-8512-3493
D. Laukhin[1], https://orcid.org/0000-0002-9842-499X
D. Harkavenko[1], https://orcid.org/0009-0004-5011-9015
O. Fedoskina[1] https://orcid.org/0000-0003-3719-8375
[1] Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

DETERMINATION OF CHARACTERISTICS OF THE MEASURING COMPLEX WHEN USING NON-STANDARD METROLOGICAL EQUIPMENT

Мета. Розробити комплексну методологію для визначення метрологічних характеристик вимірювальних комплексів, до складу яких входить нестандартне метрологічне обладнання, що дозволяє проводити об'єктивну оцінку нових технічних рішень, які забезпечать їх відповідність національним і галузевим стандартам, сприятиме адаптації виробничих процесів до модернізації та уніфікації.

Методика. Для досягнення мети роботи використано кількісні методи аналізу показників якості виробничого обладнання, обробки та інтерпретації інформації щодо обґрунтування вимог забезпечення відповідності між властивостями нових технічних рішень, що застосовуються в виробництві, і умовами їх використання.

Результати. Встановлено та обґрунтовано методики перевірки показників якості виробничого обладнання на різних етапах життєвого циклу, що дозволяє проводити їх підтвердження не по всіх параметрах. Запропоновано ефективну модель та програму розрахунку прогнозованих показників якості проектно-конструкторських робіт при модернізації виробничого обладнання з застосуванням нестандартного метрологічного забезпечення, що дозволяє встановити їхню відповідність вимогам технічного завдання, технічних умов та стандартів державної системи вимірювань, визначити необхідні метрологічні характеристики.

Наукова новизна. Створено методологію визначення метрологічних характеристик вимірювальних комплексів із нестандартним обладнанням, що дозволило встановити залежності між конструктивними параметрами та точністю вимірювань. Виявлено кореляційну закономірність між статистичними показниками та достовірністю результатів, розвинуто підходи до адаптивної метрологічної експертизи й удосконалено методи контролю якості з використанням тензометричних вимірювань і цифрового аналізу даних. Методологічно удосконалено систему оцінки ефективності конструкторсько-технологічних рішень із використанням тензометричних вимірювань, статистичного аналізу та цифрової обробки даних, що створює підґрунтя для побудови універсальних моделей метрологічного супроводу модернізованого виробничого обладнання.

Практична значимість. Представлені результати дозволяють оцінити якість нових технічних рішень та відповідно проводити моніторинг та налаштування виробничого процесу з метою підтримки заданого рівня якості по контрольованим параметрам. Отримано статистичні показники якості, які підтверджують ефективність запропонованих конструкторсько-технологічних рішень.

***Ключові слова:** компетентність, показники якості, вимірювальний комплекс.*

Вступ. У сучасному світі, що динамічно розвивається, промисловість та наукові дослідження постійно прагнуть до інновацій та вдосконалення. Це прагнення неминуче веде до розробки унікальних вимірювальних комплексів, які часто інтегрують нестандартне метрологічне обладнання. Під визначення «нестандартне метрологічне обладнання» відносять пристрої, які не підпадають під типові державні стандарти або міжнародні нормативи щодо конструкції, принципів дії, або застосування, але є критично важливими для специфічних вимірювальних завдань. Таке обладнання може бути розроблено індивідуально для конкретного проекту або модифіковано зі стандартних компонентів, щоб відповідати унікальним потребам. Використання подібних рішень створює значні виклики для їх метрологічного забезпечення, оскільки традиційні методики атестації та калібрування можуть бути непридатними або недостатніми.

Якість, як ключове поняття в будь-якій галузі, визначається як сукупність властивостей або характеристик об'єкта, що відображають його здатність задовольняти як встановлені, так і передбачувані потреби [1]. У контексті вимірювань, одним з найважливіших чинників забезпечення якості є достовірність та необхідна точність вимірювань параметрів продукції. Це стосується всіх етапів життєвого циклу продукту: від розробки та модернізації до виготовлення, випробувань та підтвердження відповідності. Неточні або недостовірні вимірювання можуть призвести до значних економічних втрат, помилкових наукових висновків, або навіть загроз безпеці.

Більшість існуючих метрологічних підходів та нормативних документів традиційно орієнтовані на стандартне обладнання. Це створює відчутну прогалину в метрологічному забезпеченні саме для тих випадків, коли застосовуються нестандартні рішення. Відсутність чітких методик для оцінки характеристик таких комплексів уповільнює впровадження інноваційних технологій та ускладнює гарантування точності вимірювань.

Саме тому розробка комплексних та ефективних моделей є надзвичайно важливою. Ці моделі мають охоплювати проектування нових технічних рішень, розвиток методів та програм для розрахунку їхніх параметрів, а також процедури підтвердження їхньої відповідності встановленим вимогам. Впровадження таких підходів дозволить суттєво покращити якість проектно-конструкторських робіт, значно прискорити розробку та освоєння нових технічних рішень, що є критично важливим для підтримки конкурентоспроможності та науково-технічного прогресу.

Основна частина. Однією з ключових фігур, що забезпечує якість та інновації на виробництві, є сучасний інженер-матеріалознавець, ефективність якого залежить від широкого спектру практичних навичок та глибоких знань. Наявність досконалих знань про продукцію, матеріали та їх властивості, а також розуміння виробничих процесів та організаційних засад їх розміщення на підприємстві важливі для ефективного здійснення професійної діяльності. Не менш важливою є здатність фахівця визначати показники якості продукції та проводити їх вимірювання, використовуючи відповідне метрологічне забезпечення. Це включає не лише знання про застосування конкретних засобів вимірювання, але й глибоке розуміння контексту цих вимірювань та вміння ефективно управляти всім процесом [3].

Особливе місце в арсеналі сучасного матеріалознавця посідає вміння працювати з нестандартним метрологічним обладнанням. Необхідність у такому обладнанні виникає, коли типові, серійно вироблені вимірювальні прилади не можуть задовольнити унікальні або надзвичайно специфічні вимоги сучасного виробництва та наукових досліджень. Це може бути пов'язано з потребою вимірювати параметри в екстремальних умовах (наприклад, високі температури, тиск, агресивні середовища), або ж коли об'єкт вимірювання має нестандартні розміри чи форму, або коли потрібна небачена раніше точність чи швидкість вимірювань. Саме тому, зважаючи на постійну появу нових завдань на виробництві, що вимагають розробки комплексних та ефективних моделей при проектуванні нових технічних рішень та підтвердження їх відповідності [4], для інженера-матеріалознавця важливою стає здатність бути адаптивним та володіти інноваційним мисленням. Робота з нестандартним обладнанням вимагає не просто інженерних знань, а й глибоких компетенцій у сфері метрологічної експертизи. Фахівець повинен вміти самостійно оцінювати та підтверджувати відповідність властивостей досліджуваних об'єктів заявленим показникам якості, навіть якщо інструментарій не має стандартних сертифікатів чи методик повірки. Це передбачає розробку індивідуальних програм атестації, визначення джерел похибок та оцінку невизначеності вимірювань для унікальних систем. Він має забезпечити відповідність матеріалів специфікаціям, що базуються на національних, міжнародних або галузевих стандартах, які вимірюються та підтверджуються за допомогою різноманітних технічних методів контролю якості, таких як спектроскопія, мікроскопія, механічні тести, термічний аналіз, а також вміти їх комбінувати для всебічної оцінки [5]. Опанування прийомами та правилами метрологічної експертизи для оцінки нових технічних рішень та їх відповідності національним, галузевим та іншим нормативним стандартам є критично важливим. Це дозволяє адаптувати виробничий процес до модернізації та уніфікації технологій і продукції, що зрештою забезпечує ефективне функціонування всього підприємства та конкурентоспроможність у сучасному світі інновацій.

Методи визначення показників якості є фундаментальними технічними процедурами, розробленими для об'єктивного оцінювання властивостей матеріалів, готових виробів або навіть цілих виробничих процесів [5]. Ці методи дозволяють отримати кількісну інформацію про ключові характеристики, такі як міцність, твердість, хімічний склад, електропровідність, або інші параметри, що є критичними для відповідності продукції заявленим вимогам. Важливо, що ці методи можуть застосовуватися як індивідуально, зосереджуючись на конкретному аспекті якості, так і в комбінації, забезпечуючи всебічний та повний обсяг оцінки. Вибір найбільш відповідного методу чи комплексу методів завжди залежить від специфіки матеріалу чи виробу, тобто його фізико-хімічних властивостей, а також від конкретних вимог та цілей дослідження. Метрологічне забезпечення для проведення вимірювань охоплює метрологічне обладнання (тобто засоби вимірювальної техніки), а також системи їх організації (наприклад, калібрувальні лабораторії, процедури повірки, персонал) та нормативну базу (стандарти, методики), що спільно забезпечують єдність та точність вимірювань.

Освітньо-професійна програма «Промислова естетика і сертифікація матеріалів та виробів» бакалаврського рівня підготовки спеціальності 132 «Матеріалознавство» полягає у підготовці фахівців, здатних розв'язувати складні спеціалізовані та практичні задачі в галузі матеріалознавства на основі використання процедур сертифікації. В межах цієї ОПП пропонується цикл освітніх компонентів (ОК): «Кваліметрія та контроль якості матеріалів і виробів», «Методи прогнозування властивостей матеріалів та виробів», «Сертифікація матеріалів та виробів» та ін., які дозволяють здобувачам отримати відповідні компетентності в межах стандарту спеціальності 132 «Матеріалознавство» та реалізувати їх при виконанні кваліфікаційної роботи [3, 6].

Результати навчання, які повинен отримати фахівець-матеріалознавець в межах компетентностей, відповідно до стандарту вищої освіти, наступні:

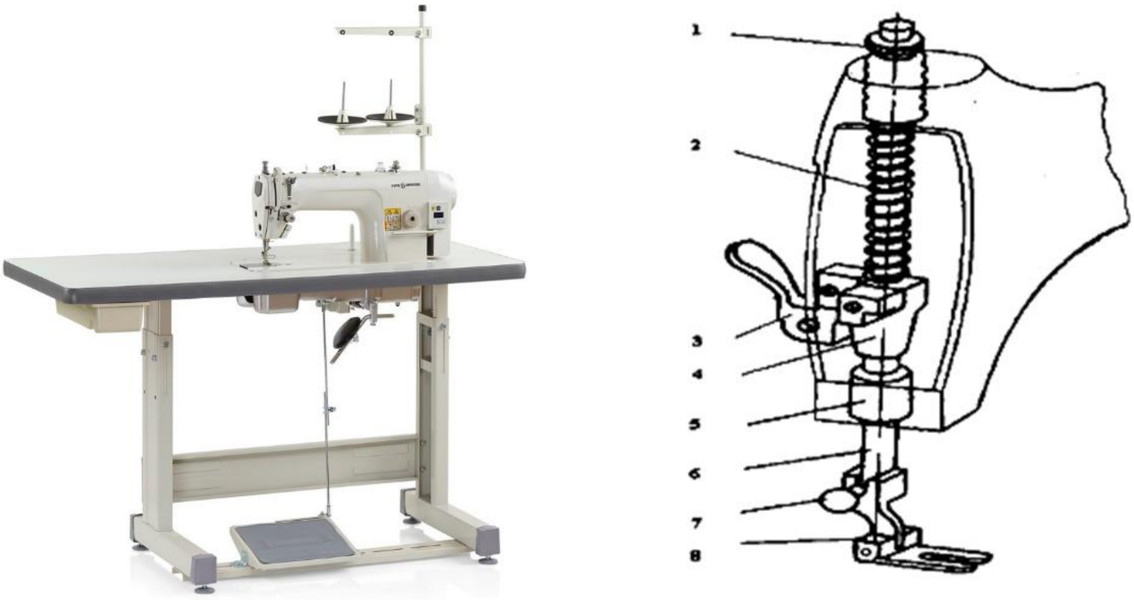
- здатність забезпечувати якість матеріалів та виробів КС.02;
- здатність застосовувати системний підхід до вирішення інженерних матеріалознавчих проблем КС.05.
- здатність застосовувати навички роботи із випробувальним устаткуванням для вирішення матеріалознавчих завдань КС.10;
- здатність виконувати дослідницькі роботи в галузі матеріалознавства, обробляти та аналізувати результати експериментів КС. 12.

В межах вищенаведених ОК бакалаврам ОПП «Промислова естетика і сертифікація матеріалів та виробів» пропонується не тільки проводити метрологічні вимірювання та виконати їх опис і аналіз, а й розробити комплекс заходів, щодо забезпечення показників якості виробу (матеріалу).

При виконанні кваліфікаційної роботи здобувачу була поставлена задача визначити навантаження, яке прикладається для притискання валу важеля для підйому притискної лапки промислової швейної машини (рис. 1, а).

Вузол лапки швейної машини (притискний пристрій) відповідає за виконання функції притискання та переміщення матеріалу під час пошиву виробу (рис. 1, б). Особливістю поставленого завдання було відсутність метрологічного обладнання для проведення прямих випробувань. Коректність отриманих результатів вимірювань впливало на якість модернізації виробничого обладнання.

Номенклатура випробувань матеріалів для визначення їх механічних властивостей досить широка. Вони дають можливість встановити найважливіші механічні характеристики конструкційних матеріалів. Тензометрія – це метод вимірювання напружень або деформацій в матеріалах за допомогою тензодатчиків, які реєструють зміни в електричному опорі, що виникають при розтягуванні, стисканні, згині або обертанні виробу [7].



а б

Рис. 1. Промислова швейна машина (а) та ланки притискної лапки (б)

Забезпечення відповідності вимірювальних приладів (тензодатчиків, тензометрів) правильності та достовірності вимірювань визначається процедурами повірки та калібрування. Для проведення експерименту з вимірювання зусилля, необхідного для підняття лапки промислової швейної машини і розрахунків деформації важеля в процесі роботи було обрано балочний тензодатчик Zemic L6D та ваговий індикатор YH-T3 (рис. 2), які увійшли до складу запропонованого вимірювального комплексу.

Рис. 2. Тензодатчик Zemic L6D та ваговий індикатор YH-T3

Експеримент було проведено в декілька етапів. Спочатку проведено калібрування вагового індикатора. Для цього розраховано дискретність вимірювань, проведено тарирування нуля та під навантаженням, перевірка показань вагоіндикатора (рис. 3).

Рис. 3. Калібрування вагового індикатора

Наступним етапом було встановлення тензодатчика на вал важеля за допомогою стяжок (рис. 4)

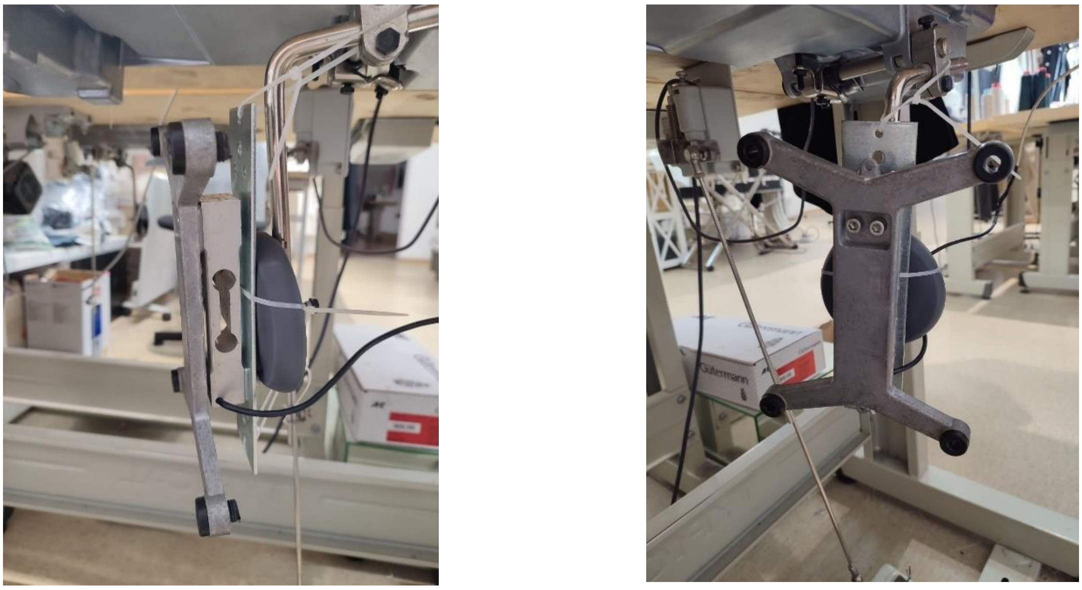


Рис. 4. Встановлення тензодатчика на вал важеля

Останнім етапом було визначення зусилля, яке прикладається до валу важеля під час притискання коліном (рис. 5).

Рис. 5. Притискання тензодатчика коліном

В процесі проведення експерименту було проведено тарирування вагоіндикатора, встановлено тензодатчик на вал важеля та проведено вимірювання для визначення показників навантаження, яке прикладається для притискання валу важеля для підйому притискної лапки промислової швейної машини. Інформація, отримана від проведеного експерименту, дозволяє інженерам аналізувати та контролювати навантаження при модернізації конструкції виробничого обладнання. Вибірка даних, отриманих під час експерименту (див. рис. 5), занесено до табл. 1.

Таблиця 1

Вибірка експериментальних даних визначеного навантаження

№ експерименту	1	2	3	4	5	6	7
Зусилля, Н	40,75	43,05	43,55	42,40	39,85	43,50	34,25

На підставі проведених випробувань отримано статистичні показники (середнє арифметичне значення, математичне очікування, середньоквадратичне відхилення), побудовано закон розподілу, що дозволяє розробити рекомендації відносно забезпечення показників якості при модернізації валу важеля промислової швейної машини.

Скориставшись програмою Mathcad, для підтвердження коректності проведених вимірювань визначимо зазначені вище параметри, що описують показники проведеного експерименту (рис. 6).

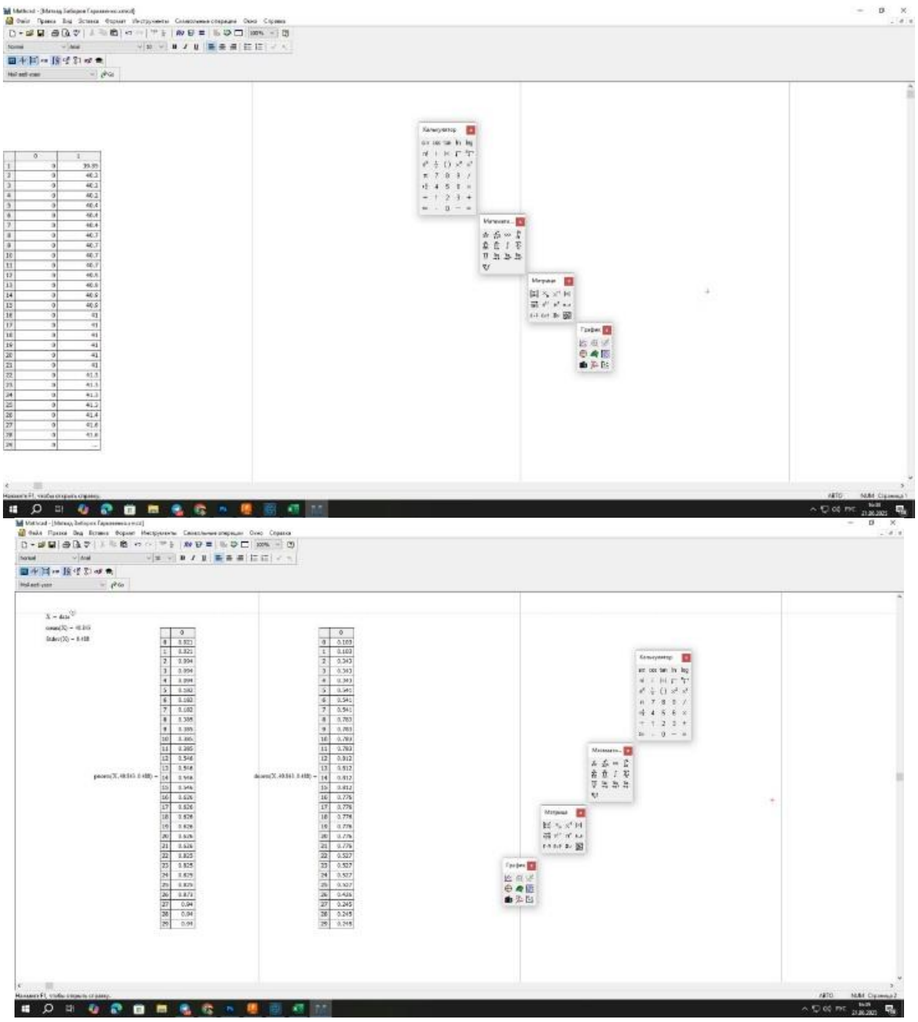


Рис. 6. Лістинг статистичних показників експерименту

Мале значення середньоквадратичного відхилення показує малий розкид отриманих результатів експерименту, що говорить про малу похибку проведених вимірювань і високих показниках якості вимірювань.

На рис. 7 наведені залежності для функції розподілу (1) і функції ймовірності (2) на зазначеному інтервалі проведених вимірювань.

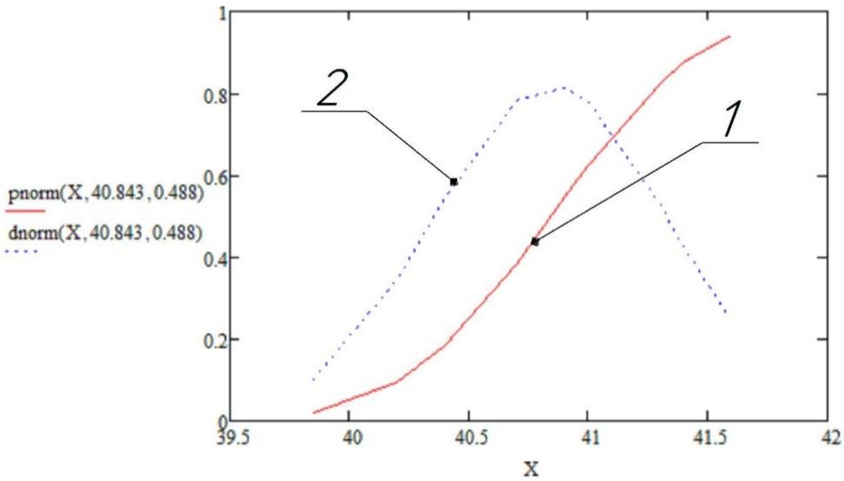


Рис. 7. Залежності для функції розподілу (1) і функції ймовірності (2)

Висновки. У результаті проведеного дослідження було розроблено та експериментально підтверджено методологію визначення метрологічних характеристик вимірювального комплексу, що інтегрує нестандартне метрологічне обладнання. Зокрема, було продемонстровано ефективність застосування запропонованого підходу для визначення навантаження на вал важеля притискної лапки промислової швейної машини в умовах відсутності стандартних засобів прямого вимірювання. Розроблена та реалізована на практиці методика дозволяє системно проводити моніторинг та комплексну оцінку параметрів виробничого обладнання, долаючи існуючі обмеження метрологічного забезпечення при використанні нестандартного устаткування. Експеримент, що включав тарирування вагового індикатора та встановлення тензодатчика на вал важеля, наочно підтвердив можливість отримання достовірної інформації про навантаження, використовуючи опосередковані методи.

Запропонована методологія та отримані дані дають інженерам-матеріалознавцям, які володіють необхідними компетенціями у сфері метрологічної експертизи та інноваційним мисленням, потужний інструмент для аналізу та контролю навантажень під час модернізації конструкції виробничого обладнання. Це дозволяє не тільки забезпечувати відповідність матеріалів та вузлів технічним специфікаціям, що базуються на стандартах, а й оптимізувати процеси проектування та підвищувати загальну якість продукції. Таким чином, дослідження сприяє покращенню проектно-конструкторських робіт, прискоренню впровадження нових технічних рішень та посиленню конкурентоспроможності промислових підприємств.

Перелік посилань

1. Тимофеєва, Л.А., & Комарова, Г.Л. (2014). *Методи оцінки управління якістю продукції: Конспект лекцій*. УкрДАЗТ.
2. Закон України про захист прав споживачів. (н.д.). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1023-12
3. Стандарт вищої освіти бакалавра за спеціальністю 132 Матеріалознавство. (2018). МОН України. https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/12/26/132-Materialozn-bakalavr-1.pdf

4. Зіборов, К.А. (2020). Якість як об'єкт управління сучасним промисловим виробництвом. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету, 61*(12), 143–152.
5. Закон України про метрологію та метрологічну діяльність. (н.д.). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18
6. Освітньо-професійні програми вищої освіти. Спеціальність 132 «Матеріалознавство». (н.д.). https://okmm.nmu.org.ua/ua/educational_process_organization.php
7. Біленька, І.Р., Верхівкер, Я.Г., & Д'яконова, А.К. (2024). *Основи сучасної метрології, стандартизації, сертифікації та управління якістю*. Олді+.

ABSTRACT

Purpose. Develop a comprehensive methodology for determining the metrological characteristics of measuring complexes, which include non-standard metrological equipment, which allows for an objective assessment of new technical solutions that will ensure their compliance with national and industry standards, and will contribute to the adaptation of production processes to modernization and unification.

The methods. To achieve the goal of the work, quantitative methods were used to analyze the quality indicators of production equipment, process and interpret information regarding the justification of requirements for ensuring compliance between the properties of new technical solutions used in production and the conditions of their use.

Findings. Methods for checking the quality indicators of production equipment at different stages of the life cycle have been established and substantiated, which allows them to be confirmed not according to all parameters. An effective model and program for calculating the predicted quality indicators of design and construction works during the modernization of production equipment with the use of non-standard metrological support have been proposed, which allows establishing their compliance with the requirements of the technical task, technical conditions and standards of the state measurement system, and determining the necessary metrological characteristics.

The originality. A methodology has been developed for determining the metrological characteristics of measuring complexes with non-standard equipment, which made it possible to establish dependencies between structural parameters and measurement accuracy. A correlation relationship was identified between statistical indicators and the reliability of results; approaches to adaptive metrological expertise were advanced, and quality control methods were improved through the use of strain-gauge measurements and digital data analysis. Methodologically, the system for evaluating the effectiveness of design and technological solutions was enhanced by integrating strain-gauge measurements, statistical analysis, and digital data processing, providing a foundation for creating universal models of metrological support for modernized industrial equipment.

Practical implementation. The presented results allow to assess the quality of new technical solutions and accordingly to monitor and adjust the production process in order to maintain a given level of quality according to controlled parameters. Statistical quality indicators were obtained, which confirm the effectiveness of the proposed design and technological solutions.

Keywords: *competence, quality indicators, measuring complex.*

дата першого надходження статті до видання	01.10.2025
дата прийняття до друку статті після рецензування	04.11.2025
дата публікації (оприлюднення)	29.12.2025