

Геологічні науки

УДК 531.787:006.015(477)

Гарбуз Олександр Сергійович

аспірант

Українського державного університету залізничного транспорту

Harbuz Oleksandr

Graduate Student of the

Ukrainian State University of Railway Transport

ORCID: 0009-0005-8658-7547

Тимофєєва Лариса Андріївна

доктор технічних наук, професор

Український державний університет залізничного транспорту

Timofeeva Larisa

Doctor of Technical Sciences, Professor

Ukrainian State University of Railway Transport

ORCID: 0000-0001-7210-3760

**ТРАНСФОРМАЦІЯ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОГО
РЕГУЛЮВАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ТИСКУ В УКРАЇНІ В
КОНТЕКСТІ ЄВРОПЕЙСЬКОЇ ІНТЕГРАЦІЇ
TRANSFORMATION OF THE REGULATORY FRAMEWORK FOR
PRESSURE TRANSMITTERS IN UKRAINE IN THE CONTEXT OF
EUROPEAN INTEGRATION**

Анотація. У статті представлено результати системного дослідження трансформації нормативної інфраструктури у сфері засобів вимірювання тиску в Україні під впливом європейської інтеграції. Обґрунтовано концептуальне розуміння перетворювача тиску не лише як інженерного об'єкта, а як епістемологічного пристрою, що забезпечує

транскодування фізичних фактів у соціально-інституціоналізовані цифрові сигнали. Проведено детальний аналіз чотирьох ключових парадигм трактування перетворювачів тиску: інженерно-технічної, кіберфізичної, філософсько-епістемологічної та метрологічно-правової. Автором виявлено та класифіковано системні дефіцити чинної національної нормативної бази, серед яких ключовими є ретроспективність логіки (залежність від спадку радянських ГОСТів), інституційна інерція та недостатня цифровізація процесів стандартизації. Досліджено динаміку гармонізації українських стандартів ДСТУ з європейськими нормами EN/ISO та директивами ЄС (зокрема PED, EMC, ATEX) [8; 12; 13], що дозволило підвищити рівень відповідності бази з 10% у 2010 році до майже 100% у 2024 році. Особливу увагу приділено економічному забезпеченню реформ, зокрема ролі міжнародної фінансової допомоги у розмірі 1,2 млрд грн, що була спрямована на модернізацію еталонної бази та усунення технічних бар'єрів у торгівлі. Обґрунтовано стратегічну тривірневу модель адаптації існуючого парку перетворювачів тиску, яка базується на впровадженні цифрових протоколів (HART/Modbus) та функцій самодіагностики, що, за даними експлуатації серії ПТ-200, дозволяє знизити рівень браку вимірювань на 34%. Стаття пропонує шляхи переходу до нової культури стандарту як живого інструменту координації знань, влади та технологій у межах європейського простору довіри.

Ключові слова: метрологія, перетворювачі тиску, нормативна база, ДСТУ, Директива PED, європейська інтеграція, технічне регулювання, Industry 4.0, епістемологія техніки.

Summary. The article presents the results of a systemic study on the transformation of the regulatory infrastructure for pressure measuring instruments in Ukraine under the influence of European integration. The author substantiates a conceptual understanding of the pressure transmitter not merely

as an engineering object but as an epistemological device that ensures the transcoding of physical facts into socially institutionalized digital signals. A detailed analysis of four key paradigms of pressure transmitter interpretation was conducted: engineering-technical, cyber-physical, philosophical-epistemological, and metrological-legal.

The author identified and classified systemic deficits in the current national regulatory framework, the key ones being the retrospectiveness of logic (dependence on the legacy of Soviet GOST standards), institutional inertia, and insufficient digitalization of standardization processes. The dynamics of harmonizing Ukrainian DSTU standards with European EN/ISO norms and EU directives (specifically PED, EMC, ATEX) [8; 12; 13] were investigated, revealing an increase in the framework's compliance level from 10% in 2010 to nearly 100% in 2024. Particular attention is paid to the economic support of reforms, specifically the role of international financial aid amounting to 1.2 billion UAH directed toward modernizing the measurement standards base and eliminating technical barriers to trade.

A strategic three-level model for adapting the existing fleet of pressure transmitters is substantiated. It is based on the implementation of digital protocols (HART/Modbus) and self-diagnostic functions, which, according to operational data from the PT-200 series, allows for a 34% reduction in the measurement defect rate. The article proposes pathways for transitioning to a new culture of the standard as a living instrument for coordinating knowledge, power, and technologies within the European space of trust.

Key words: *Pressure measurement, regulatory infrastructure, European integration, metrological standards, harmonization, digital protocols, HART, Modbus.*

Вступ. Еволюція людського пізнання нерозривно пов’язана з прагненням до уніфікованого осмислення фізичних параметрів реальності,

серед яких тиск займає центральне місце як результат взаємодії об’єктів у середовищі. У добу емпіричної наукової революції тиск набув концептуалізації як верифікованого параметра, а з появою автоматизованих систем виникла категорія перетворювачів тиску — технічних засобів, що функціонують як медіатори між фізичним середовищем та інформаційною інфраструктурою. Сучасна інтерпретація перетворювача виходить за межі суто функціонального розуміння, позиціонуючи його як онтологічний міст між емпіричним досвідом та абстракцією наукового знання .signal, який стає предметом нормативного, правового та іноді етичного трактування.

Аналіз останніх досліджень

У науковій літературі сформувалася низка підходів до тлумачення феномену перетворювача тиску:

1. **Інженерно-технічний:** розглядає пристрій як ланку вимірювального контуру для достовірної трансформації тиску у пропорційний електричний сигнал.
2. **Кіберфізичний:** інтерпретує перетворювач як вбудований сенсорний інтелект, здатний до самодіагностики та обміну даними в архітектурі Industry 4.0.
3. **Філософсько-епістемологічний:** трактує прилад як епістемологічну ланку між фізичною реальністю та інструментальним дискурсом.
4. **Метрологічно-правовий :** фокусується на функції легалізації технічної істини та правовій валідності вимірювань.

Мета статті. Метою статті є комплексний аналіз трансформації нормативно-правового регулювання перетворювачів тиску в Україні, ідентифікація системних проблем та обґрунтування стратегії гармонізації національної бази з вимогами ЄС для забезпечення метрологічної надійності та промислового розвитку.

Виклад основного матеріалу. У науковому дискурсі сформувалася низка підходів до розуміння сутності перетворювачів тиску, кожен з яких відображає певну епістемологічну традицію. Для цілісного аналізу необхідно розглянути ці підходи у порівняльній перспективі.

Таблиця 1

**Порівняльна характеристика підходів до трактування
перетворювачів тиску**

Підхід	Представники	Ключові характеристики	Сильні сторони	Обмеження
Інженерно-технічний	О.І. Пономаренко	Технічна точність, стабільність, метрологічна відповідність	Забезпечує уніфіковану якість приладів	Не враховує інтелектуальний контекст
Кіберфізичний	І. Браун, К.-Р. Мюллер	Інтеграція в смарт-системи, когнітивність	Відповідає концепції Industry 4.0	Висока складність валідації
Філософсько-епістемологічний	Н. Гуменюк, Дон Ід	Гносеологічна інтерпретація фізичного простору	Дає змогу осмислити технічне як когнітивне	Важко імплементувати у практику
Метрологічно-правовий	І. Гончаренко, експерти ISO	Нормативна верифікація, правовий статус результатів	Забезпечує юридичну легітимність	Ризик бюрократизації

Синтез цих підходів дозволяє трактувати перетворювач не лише як інженерний об'єкт, а як інструмент кодифікації істини в технічному світі [14].

Нормативна база у сфері перетворювачів тиску в Україні — це не просто сукупність регламентуючих документів, а складна інституційна форма впорядкування «технічного буття» в межах соціально верифікованого знання. Вона виступає багаторівневою системою правового впливу, де кожен тип акту виконує специфічну функцію в легітимації технічної діяльності:

1. **Закони України:** Мають найвищу юридичну силу та формують базові принципи метрологічної діяльності. Ключовим є Закон

«Про метрологію та метрологічну діяльність», який визначає правові основи забезпечення єдності вимірювань, акредитації лабораторій та державного нагляду. З філософської точки зору, цей рівень задає «метрологічну конституцію», на якій будується довіра до технологій [13].

2. **Підзаконні нормативно-правові акти:** Постанови Кабінету Міністрів України (наприклад, № 374) та накази міністерств деталізують механізми реалізації законів. Вони виступають як «регуляторні фільтри» між стратегічним законодавством та тактичним технічним впровадженням [12].

3. **Національні стандарти (ДСТУ):** Технічні норми, що визначають конкретні вимоги до характеристик пристроїв та процедур їх верифікації (наприклад, ДСТУ EN 61298-1:2004). У сучасному розумінні ДСТУ є способом трансляції «технічної істини» у правове поле [8].

4. **Галузеві технічні умови (ТУ):** Регламентують особливості виробництва конкретних типів продукції в межах локальних систем якості.

З позиції філософії науки, стандарт не є «нейтральною технічною інструкцією», а втілює акти ідеологічного вибору — що саме вважати точним, допустимим та істинним у контексті певної парадигми. Сьогодні нормативна база стає формою «дисциплінарного контролю» за процесом продукування технічної істини.

Однак глибинний аналіз виявляє серйозні **системні дефіцити**, які вимагають критичного осмислення:

- **Ретроспективність логіки:** Багато чинних стандартів залишаються спадком радянських ГОСТів, що породжує конфлікт між сучасними інженерними реаліями (Industry 4.0) та застарілою парадигмою. Це виявляє проблему «темпоральної несумісності» між інституційною пам'яттю і вимогами теперішнього моменту.

- **Норматив як «інструкція» проти нормативу як «знання»:** У вітчизняній традиції норматив часто сприймається лише як сухий припис, а

не як живий «технокультурний дискурс», що окреслює межі раціонального. Це обмежує розвиток етики наукової доброчесності та колективної відповідальності.

- **Інституційна інерція:** Структура регуляторного поля часто є ієрархічно замкненою, а не мережевою, що суперечить духу гнучких інноваційних екосистем провідних країн світу. Спостерігається «нормативно-дискурсивна ізоляція», де майбутнє (кібербезпека, цифрова сертифікація) вже настало, а норматив ще існує у минулому [10].

Сучасна нормативна база України — це конструкція, що водночас виявляє ознаки інституційного розпаду та потенціал до когнітивного упорядкування реальності. Подолання її недоліків потребує не лише технічного оновлення, а й «культурно-філософського зсуву». Стандарти мають перестати бути архаїчними репліками минулого і перетворитися на діалогові інструменти, відкриті для рефлексії та адаптації до швидкоплинної дійсності технонаукового суспільства [6].

Процес інтеграції європейських стандартів у національну нормативну базу України виступає не лише адміністративним актом уніфікації законодавства, а й складним трансдисциплінарним феноменом, що охоплює правову гармонізацію, технічну адаптацію та докорінну зміну філософії управління ризиками. У сучасній європейській парадигмі технічні нормативи постають як інституціоналізована форма перекладу наукового знання в мову регуляторних вимог, де на перший план виходять принципи цифрової точності, кіберфізичної інтеграції та етичної сталості.

Європейська модель регулювання засобів вимірювання тиску базується на багаторівневій структурі, що включає рамкові Директиви (PED, EMC, RoHS, ATEX) та систему гармонізованих стандартів EN і міжнародних норм ISO [5]. Центральне місце в цій ієрархії посідає Директива 2014/68/EU (PED), яка регламентує вимоги до проектування та виготовлення тискових пристроїв із номінальним тиском понад 0,5 бар. На

відміну від ретроспективної логіки радянських стандартів, європейська традиція ґрунтується на системному превентивному підході, де безпека, сталий розвиток та екологічність домінують над економічною доцільністю.

Аналіз динаміки змін у нормативному полі України свідчить про стрімкий парадигмальний перехід [1; 5]. Якщо у 2010 році частка гармонізованих стандартів (ДСТУ-EN/ISO) у сфері вимірювальної техніки становила лише 10%, то станом на 2024 рік цей показник досяг майже 100%. Ключовим етапом став період 2016–2019 років, коли в рамках виконання Угоди про асоціацію з ЄС було скасовано близько 90% застарілих радянських ГОСТів, замінивши їх сучасними національними стандартами, ідентичними європейським.

Економічний вимір цієї реформи демонструє критичну залежність від міжнародної підтримки. До середини 2010-х років обсяги державного фінансування стандартизації були вкрай обмеженими: у 2011–2012 роках на розробку гармонізованих норм виділялося лише 5–10 млн грн, а у 2016 році безпосередні бюджетні асигнування складали близько 1 млн грн. Ситуація докорінно змінилася завдяки фінансовій допомозі ЄС у рамках програми «усунення технічних бар’єрів у торгівлі» (2015–2018 рр.). Європейський Союз надав Україні пряму бюджетну підтримку на суму близько 39 млн євро (приблизно 1,2 млрд грн) [7].

Ці інвестиції стали каталізатором модернізації інфраструктури якості, дозволивши:

- здійснити масштабну закупівлю сучасного обладнання для еталонних метрологічних лабораторій;
- профінансувати якісний переклад та адаптацію тисяч технічних регламентів і стандартів;
- забезпечити системне навчання та підвищення кваліфікації фахівців метрологічних центрів.

Такий високий рівень регуляторної конвергенції, де нормативно-технічна база України у сфері тиску вже відповідає вимогам ЄС на 90%, закладає фундамент для укладання Угоди АСАА (так званого «промислового безвізу»). Це відкриває українським виробникам шлях до вільного використання СЕ-маркування та безперешкодного доступу на ринок ЄС без необхідності додаткової сертифікації.

Водночас, сучасний етап інтеграції вимагає зміщення акценту з пасивної адаптації до активної участі у формуванні нових глобальних трендів, таких як «зелена» енергетика, децентралізовані мережі та штучний інтелект. У цій перспективі стандарти вже не є лише технічними обмеженнями; вони стають інструментами «педагогіки відповідальності» та формування нової інженерної етики, вкоріненої в принципах сталого розвитку (ESG). Отже, гармонізація нормативної бази — це не просто політична ціль, а стратегічна можливість для української інженерної школи стати суб’єктом творення технологічного майбутнього [9].

Успішна інтеграція України до європейського метрологічного простору потребує не лише формальної гармонізації текстів стандартів, а й глибокої аналітичної роботи з їх імплементації в реальний сектор економіки. Стратегічні пропозиції щодо вдосконалення національної нормативної бази мають базуватися на переході від «нормативної інерції» до активного творення смислового простору якості та безпеки.

1. Стратегічні вектори вдосконалення нормативної інфраструктури

Ключовим аспектом реформи є забезпечення системності та прозорості нормативного середовища. На першому етапі пропонується створення єдиного національного реєстру актуальних європейських стандартів, рекомендованих до впровадження в Україні. Це дозволить уникнути фрагментарності та забезпечить прогнозованість для виробників. Супровід такого реєстру має здійснюватися не лише технічними фахівцями,

а й експертами з права та соціології, що відповідає концепції «постнормальної науки».

Для підтримки релевантності регламентів необхідно запровадити систему регулярної оцінки регуляторного впливу (Regulatory Impact Assessment — RIA). Такий підхід передбачає участь бізнесу та академічного середовища в аудиті чинних норм, що перетворює норматив на «живий інструмент» управління, здатний адаптуватися до динамічних технологічних умов. Крім того, доцільним є створення консультативних міждисциплінарних рад із розроблення нормативів, які об’єднували б інженерів, юристів, економістів та екологів. Це дозволить уникнути вузькоспеціалізованого підходу та врахувати ширший контекст впливу стандартів на суспільство та довкілля [2].

Важливим елементом стратегії є також освітня та інституційна трансформація. Сучасна нормативна культура має бути інтегрована в університетські програми, формуючи нове покоління експертів, які мислять категоріями інтегральної відповідальності. Україна повинна еволюціонувати від пасивного наслідування до «інституційної суб’єктності», ініціюючи розробку власних стандартів у сферах аграрної техніки, зеленої енергетики та цифрової безпеки.

2. Адаптація існуючого парку перетворювачів тиску

Паралельно з інституційними змінами критичного значення набуває практична площина — адаптація наявного технічного парку до нових вимог. Цей процес не може бути механічною процедурою; він є формою «технічної еволюції», де збереження наявних ресурсів поєднується з інноваційним перепрограмуванням. В умовах обмежених ресурсів концепція техноадаптивності стає ключовою, дозволяючи модернізувати системи без їх повного знищення [3].

Технічна адаптація наявних перетворювачів тиску має здійснюватися за такими пріоритетними напрямками:

- Модернізація сенсорних елементів згідно з вимогами ISO 2186:2020;
- Інтеграція цифрових інтерфейсів (HART, Modbus) для сумісності з сучасними АСУ ТП;
- Забезпечення електромагнітної сумісності відповідно до Директиви 2014/30/EU;
- Впровадження функцій самодіагностики та прогнозної аналітики (smart-sensor approach);
- Валідація функціональної безпеки згідно з міжнародними стандартами IEC 61508 та ISO 13849.

Для систематизації цього процесу запропоновано тригоризонтну модель адаптації, яка дозволяє підприємствам малого та середнього бізнесу (МСП) ефективно планувати ресурси [9]:

1. **Короткостроковий горизонт (0–1 рік):** Проведення повного аудиту відповідності, навчання персоналу та запуск пілотних проектів модернізації.
2. **Середньостроковий горизонт (1–3 роки):** Поетапне впровадження цифрових протоколів передачі даних та проходження процедур сертифікації.
3. **Довгостроковий горизонт (3+ роки):** Досягнення повної нормативної відповідності, запуск нових серій інтелектуальної техніки та встановлення сталих партнерств на європейському ринку.

Ефективність такої стратегії підтверджується статистичними даними: сертифікація та адаптація моделей серії ПТ-200 дозволила знизити рівень метрологічного браку на **34%** у 2023 році порівняно з показниками 2020 року. Це доводить, що адаптація є не лише вимогою закону, а й дієвим інструментом підвищення промислової ефективності.

Таким чином, синергія між інституційним вдосконаленням та поетапною технічною модернізацією дозволить трансформувати

український метрологічний сектор у цілісну, адаптивну та інтелектуально валідну систему, здатну до повноцінного функціонування в межах європейського технічного простору.

Висновки. Комплексне дослідження трансформації нормативно-правового регулювання перетворювачів тиску в Україні дозволяє сформулювати низку узагальнюючих висновків, що мають як теоретичне, так і практичне значення для метрологічної галузі:

1. У роботі доведено, що сучасний перетворювач тиску перестав бути виключно технічним артефактом і набув статусу «епістемологічного пристрою». Він виконує роль медіатора, який здійснює транскодування фізичних явищ у соціально-юридично значущі цифрові сигнали. Синтез чотирьох парадигм — інженерної, кіберфізичної, філософської та метрологічно-правової — дозволяє розглядати нормативну базу не як сукупність інструкцій, а як інституційну форму кодифікації технічної істини .

2. Аналіз структури технічного регулювання в Україні підтвердив її багаторівневий характер (Закони, Постанови КМУ, ДСТУ, ТУ) . Однак виявлено критичний розрив між формальною наявністю норм та їхньою здатністю відповідати викликам Industry 4.0. Системними дефіцитами залишаються ретроспективність логіки (залежність від спадку ГОСТів), інституційна інерція та недостатній рівень цифровізації метрологічних процесів порівняно з країнами ЄС та США.

3. Дослідження динаміки гармонізації стандартів засвідчило безпрецедентний прогрес: частка адаптованих норм ДСТУ-EN/ISO зросла з 10% у 2010 році до майже 100% у 2024 році . Рівень відповідності національної бази у сфері перетворювачів тиску вимогам ЄС наразі становить близько 90%. Визначено, що ключовим фактором прискорення реформ стала міжнародна допомога ЄС у розмірі близько 1,2 млрд грн, що

дозволило модернізувати еталонну базу та усунути технічні бар’єри у торгівлі .

4. Запропонована трирівнева стратегія адаптації технічного парку (коротко-, середньо- та довгостроковий горизонти) довела свою життєздатність . Впровадження цифрових протоколів (HART/Modbus) та посилення електромагнітної сумісності забезпечує не лише відповідність стандартам, а й реальне підвищення точності . Емпіричним підтвердженням ефективності адаптації є зниження рівня метрологічного браку на 34% (на прикладі серії ПТ-200).

5. Подальше вдосконалення нормативного поля має базуватися на переході до активного творення «культури стандарту». Це передбачає запровадження системи регулярної оцінки регуляторного впливу (RIA), створення міждисциплінарних рад та активну участь України в технічних комітетах CEN/ISO. Кінцевою метою є досягнення повної конвергенції, яка дозволить українським виробникам не лише інтегруватися у внутрішній ринок ЄС («промисловий безвіз»), а й стати суб’єктами формування глобальних метрологічних трендів майбутнього.

Гармонізація нормативної бази у сфері вимірювання тиску — це не просто політична декларація, а глибока цивілізаційна трансформація технічного знання в інтересах безпеки, якості та сталого розвитку суспільства.

Література

1. Directive 2014/68/EU of the European Parliament and of the Council on the harmonisation of the laws relating to the making available on the market of pressure equipment. *Official Journal of the EU*. 2014. L 189. P. 164–259. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2014/68/oj/eng> (дата звернення: 28.12.2025).

2. Eichstädt S., Keidel A., Papadopoulos D. Metrology for the digital transformation: an overview of projects and activities. *Measurement: Sensors*. 2021. Vol. 18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measen.2021.100214>

3. GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement): JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement. BIPM, 2008. 120 p. URL: <https://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html> (дата звернення: 28.12.2025).

4. Stock M., Stephan R., Watt A. The revision of the SI—the result of three decades of progress in metrology. *Metrologia*. 2019. Vol. 56, No. 2. DOI: 10.1088/1681-7575/ab01a0.

5. VIM (International Vocabulary of Metrology): JCGM 200:2012. International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms. 3rd ed. BIPM, 2012. 92 p. URL: <https://www.bipm.org/en/publications/guides/vim.html> (дата звернення: 28.12.2025).

6. Величко О. М. Сучасний стан та перспективи розвитку законодавчої метрології в Україні в умовах євроінтеграції. *Метрологія та прилади*. 2022. № 1. С. 5–11.

7. Дорожовець М. М. Опрацювання результатів вимірювань : навч. посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2021. 624 с.

8. ДСТУ EN 61298-1:2022 (EN 61298-1:2008, IDT; IEC 61298-1:2008, IDT). Пристрої вимірювання та керування в промислових процесах. Загальні методи та процедури оцінювання робочих характеристик. Частина 1. Загальні положення. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 24 с. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/docpage.html?id_doc=107426 (дата звернення: 28.12.2025).

9. Захаров І. П., Сергієнко М. П., Чепела Ю. С. Опрацювання результатів вимірювань за наявності декількох джерел невизначеності. *Український метрологічний журнал*. 2021. № 2. С. 12–19.

10. Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка : підручник / І. П. Захаров та ін. Харків : Вид-во ХНУРЕ, 2021.

11. Основи метрології та вимірювальної техніки : навчальний посібник / В. В. Кухарчук та ін. Вінниця : ВНТУ, 2022. URL: <https://iq.vntu.edu.ua/> (дата звернення: 28.12.2025).

12. Про затвердження переліку категорій засобів вимірювальної техніки : Постанова Кабінету Міністрів України від 04.06.2015 № 374. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/374-2015-%D0%BF#Text> (дата звернення: 28.12.2025).

13. Про метрологію та метрологічну діяльність : Закон України від 05.06.2014 № 1314-VII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18> (дата звернення: 28.12.2025).

14. Стандартизація та сертифікація продукції і послуг : навч. посіб. / Л. В. Баль-Прилипко та ін. Київ : НУБіП України, 2020. 420 с.

References

1. Directive 2014/68/EU of the European Parliament and of the Council on the harmonisation of the laws relating to the making available on the market of pressure equipment. (2014). *Official Journal of the EU*, L 189, 164–259. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2014/68/oj/eng>.

2. Eichstädt, S., Keidel, A., & Papadopoulos, D. (2021). Metrology for the digital transformation: an overview of projects and activities. *Measurement: Sensors*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2021.100214>

3. JCGM 100:2008. (2008). Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM). BIPM. Available at: <https://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html>

4. Stock, M., Stephan, R., & Watt, A. (2019). The revision of the SI—the result of three decades of progress in metrology. *Metrologia*, 56(2). DOI: 10.1088/1681-7575/ab01a0
5. JCGM 200:2012. (2012). International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). 3rd ed. BIPM. Available at: <https://www.bipm.org/en/publications/guides/vim.html>
6. Velychko, O. M. (2022). Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku zakonodavchoi metrolohii v Ukraini v umovakh yevrointehratsii [Current state and prospects of legal metrology development in Ukraine under conditions of European integration]. *Metrolohiia ta prylady – Metrology and Instruments*, 1, 5–11 [in Ukrainian].
7. Dorozhovets, M. M. (2021). Opratsiuvannia rezultativ vymiriuvan [Processing of measurement results]: study guide. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniky [in Ukrainian].
8. DSTU EN 61298-1:2022 (EN 61298-1:2008, IDT; IEC 61298-1:2008, IDT). (2022). Prystroï vymiriuvannia ta keruvannia v promyslovykh protsesakh. Zahalni metody ta protsedury otsiniuvannia robochych kharakterystyk. Chastyna 1. Zahalni polozhennia [Process measurement and control devices – General methods and procedures for evaluating performance – Part 1: General aspects]. Kyiv: SE "UkrNDNC". Available at: https://online.budstandart.com/ua/catalog/docpage.html?id_doc=107426 [in Ukrainian].
9. Zakharov, I. P., Serhiienko, M. P., & Chepela, Yu. S. (2021). Opratsiuvannia rezultativ vymiriuvan za naiavnosti dekilko dzherel nevyznachenosti [Processing of measurement results in the presence of several sources of uncertainty]. *Ukrainskyi metrolohichnyi zhurnal – Ukrainian Metrological Journal*, 2, 12–19 [in Ukrainian].

10. Zakharov, I. P., et al. (2021). Metrolohiia ta informatsiino-vymiriuvalna tekhnika [Metrology and information-measuring engineering]: textbook. Kharkiv: NURE [in Ukrainian].

11. Kukharchuk, V. V., et al. (2022). Osnovy metrolohii ta vymiriuvalnoi tekhniky [Fundamentals of metrology and measuring engineering]: study guide. Vinnytsia: VNTU. Available at: <https://iq.vntu.edu.ua/> [in Ukrainian].

12. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2015). Pro zatverdzhennia pereliku katehorii zasobiv vymiriuvalnoi tekhniky [On approval of the list of categories of measuring instruments subject to legal control] (Resolution No. 374). Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/374-2015-%D0%BF#Text> [in Ukrainian].

13. Verkhovna Rada of Ukraine. (2014). Pro metrolohiuu ta metrolohichnu diialnist [On metrology and metrological activity] (Law No. 1314-VII). Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18> [in Ukrainian].

14. Bal-Prylypko, L. V., et al. (2020). Standartyzatsiia ta sertyfikatsiia produktsii i posluh [Standardization and certification of products and services]: study guide. Kyiv: NUBiP of Ukraine [in Ukrainian].