

Д. В. ПОЛИЩУК, О. В. ГОЛОВІНА, Ю. Ф. ХОЛОДНИЙ, П. М. АЛТУХОВ

МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ІНТЕГРАЦІЇ ВЗАЄМОЗАМІННОСТІ, СТАНДАРТИЗАЦІЇ ТА ТЕХНІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ У ПРОЦЕСАХ СЕРТИФІКАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

У роботі розглянуто методологічні засади інтеграції взаємозамінності, стандартизації та метрології у процесах сертифікації транспортних засобів. Доведено, що їхнє об'єднання є критичне для типового затвердження та відповідності виробництва. На прикладах світового досвіду показано, що зростання регуляторної суворості прямо вимагає підвищення точності метрології та спроможності взаємозамінності, гарантуючи безпеку та якість продукції.

Ключові слова: сертифікація, взаємозамінність, стандартизація, метрологія, транспортні засоби, типове затвердження, відповідність виробництва.

D. POLISHCHUK, O. HOLOVINA, Y. KHOLODNYI, P. ALTUHOV

METHODOLOGICAL BASIS FOR THE INTEGRATION OF INTERCHANGEABILITY, STANDARDIZATION, AND TECHNICAL MEASUREMENTS IN THE CERTIFICATION PROCESSES OF TRANSPORT VEHICLES

The article analyzes the methodological foundations for integrating interchangeability, standardization, and metrology within the vehicle certification processes. Global trends show that the increasing complexity of transport means requires a unified, scientifically grounded approach to conformity assessment. The study conceptualizes the interchangeability, standardization and metrology synergy: standardization establishes unified regulatory requirements; interchangeability defines the necessary dimensional tolerances; and metrology provides the quantifiable evidence (through testing and process capability analysis, that these requirements are met during both type approval and conformity of production. The research emphasizes the critical role of metrology as the instrumental basis for legal and technical validation, noting that unreliable measurements undermine the validity of conformity of production. Comparative analysis of international certification systems demonstrates that stricter regulatory demands, such as the "zero contact" requirement in autonomous braking systems, necessitate a direct increase in the precision of metrological control and the overall capability of manufacturing processes. Key recommendations focus on mandatory ISO/IEC 17025 accreditation and the necessity of correcting indices for gauge measurement errors to achieve true process capability.

Key words: certification, interchangeability, standardization, metrology, vehicle, type approval, conformity of production.

Вступ.

Глобалізація автомобільної промисловості та зростаюча складність сучасних транспортних засобів (ТЗ), особливо в контексті впровадження електричних та автономних систем, вимагають уніфікованих, прозорих та науково обґрунтованих методів підтвердження відповідності продукції. Процес сертифікації ТЗ є критичною необхідною умовою для допуску продукції на внутрішні та міжнародні ринки. Ефективність, надійність та легітимність цього процесу прямо залежать від методологічної інтеграції трьох фундаментальних науково-технічних дисциплін: взаємозамінності, стандартизації та метрології.

Мета та постановка задачі дослідження.

Постановка проблеми полягає в тому, що на практиці ці дисципліни часто розглядаються ізольовано, тоді як успішна сертифікація вимагає їхньої синергії. Взаємозамінність задає технічні вимоги до точності виготовлення деталей, стандартизація формалізує ці вимоги у вигляді уніфікованих приписів (як-от UN Regulations), а метрологія надає кількісні докази (на основі вимірювань), що ці вимоги були дотримані. Метою даної наукової статті є розробка методологічних засад функціональної інтеграції взаємозамінності, стандартизації та метрології, демонструючи, як точність вимірювань метрології підтверджує дотримання технічних допусків взаємозамінності, визначених світовими стандартами, у критичних процесах типового затвердження.

Аналіз останніх досягнень та публікацій.

В монографії [1] розглянуте питання підвищення надійності роботи автомобільних транспортних систем. Автори звертають увагу на те, що надійність це не лише технічна характеристика, а ціла система властивостей, а саме: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і готовність до роботи. Вони підкреслюють, що її важливо розглядати не тільки на рівні окремих машин, а й у масштабі всієї транспортної мережі, включаючи інфраструктуру і управлінські процеси. Основою дослідження [1] став системний підхід, за допомогою якого автомобільна транспортна система була описана як складна динамічна система, яка постійно піддається впливу зовнішніх чинників. Саме на цій базі автори запропонували методіку оцінювання надійності з використанням імовірнісно-статистичних методів, теорії масового обслуговування та імітаційного моделювання. В роботі показано, що проблема надійності тісно пов'язана з сертифікацією тому, що саме стандарти та технічні вимірювання забезпечують відтворюваність і взаємозамінність характеристик продукції.

Питання правового регулювання сертифікації колісних транспортних засобів детально розглянуте у дослідженні [2]. Автори основну увагу в ньому приділили впровадженню Регламенту ЄС №2018/858. Цей Регламент визначає сучасну методологію оцінки відповідності. Зокрема, описано перевірки серійного виробництва (CoP), без яких неможливо отримати сертифікат. Автори в роботі підкреслюють важливість передачі частини повноважень сертифікації приватним технічним службам. Слід зазначити, що така передача є звичною практикою в країнах ЄС. Також у дослідженні обґрунтовано необхідність реформування української системи сертифікації відповідно до європейських вимог. Крім того, автори звертають увагу на взаємозв'язок сертифікації зі стандартизацією, оскільки, саме узгоджені стандарти створюють основу для технічної сумісності деталей та вузлів у транспортній галузі.

В дослідженні [3] на прикладі із реального виробництва показано, як сертифікація, побудована на стандартах, сприяє інтеграції ланцюгів постачання через забезпечення взаємозамінності компонентів.

Сьогодні важливу роль відіграють цифрові аспекти безпеки. Саме методам тестування кібербезпеки в автомобільній промисловості присвячена робота [4]. На відміну від попередніх досліджень, автори порівняли офіційні стандарти (наприклад, ISO/SAE 21434) із реальними практиками виробників. Вони звернули увагу на розбіжності між регуляторними вимогами та практичними інструментами перевірки. Це дозволяє краще зрозуміти сучасний стан галузі та напрями її вдосконалення.

Під час сертифікації особлива роль відводиться точності вимірювань. У роботі [5] проведено порівняння міжнародних і національних стандартів щодо вимірювального обладнання. Заслуга авторів полягає не тільки в тому, що вони виявили розбіжності між нормативами, які можуть ускладнювати роботу метрологічних служб, але і в тому, що вони запропонували шляхи гармонізації стандартів для досягнення єдності вимірювань.

Відоме, що зі зростанням цифровізації виробництва, з'являється потреба в нових підходах до інтеграції вимірювань у систему сертифікації. Така тенденція простежується в концепції цифрової метрології. Варто звернути увагу на роботу [6], де розглядається вплив технології «digital twin» на процеси забезпечення якості, що є логічним кроком у розвитку цифрових стандартів.

Новий підхід до сертифікації запропоновано у дослідженні [7]. Суть цього підходу полягає в тому, що дані з вимірювального обладнання інтегруються безпосередньо у процедуру підтвердження відповідності. Це дає можливість оцінювати якість продукції в режимі реального часу.

Питання цифрової сумісності даних підняте в дослідженні [8]. Автори роботи стверджують, що в умовах Індустрії 4.0 без стандартизованого обміну вимірювальною інформацією неможливо досягти стабільності виробничих процесів і надійності результатів сертифікації.

Подібна тема розвивається й у роботі [9], де описано відкритий цифровий стандарт для об'єднання метрологічних даних у єдину систему. Авторами показано, як автоматизований обмін інформацією між системами проектування, вимірювання та контролю якості дозволяє підвищити ефективність виробництва і зменшити кількість помилок.

Аналіз джерел показав, що поєднання принципів стандартизації, взаємозамінності та метрології у процесах сертифікації є ключовим чинником підвищення якості й безпеки транспортних засобів. Розгляд питань з ними пов'язаних буде завжди актуальним тому, що саме вони допомагають українській автомобільній галузі адаптуватися до вимог європейського ринку й створити підґрунтя для сталого розвитку національної автомобільної промисловості.

Основний матеріал та результати дослідження.

Фундаментальна якість та безпека ТЗ досягаються шляхом їхньої проекції через призму взаємозамінності, стандартизації та метрології. По-перше, взаємозамінність, – ця властивість гарантує, що деталі та вузли, виготовлені незалежно та з заданою точністю, забезпечують функціональну та технічну працездатність машини при складанні, виключаючи необхідність пригонки чи добору. Взаємозамінність поділяється на функціональну (забезпечення працездатності механізму) та розмірну (дотримання геометричних допусків). По-друге, стандартизація, – це процес встановлення та застосування єдиних технічних приписів, правил, норм та вимог (наприклад, ISO, UN Regulations, FMVSS), які створюють уніфіковане технічне поле, необхідне для реалізації взаємозамінності. Стандартизація є обов'язковою умовою для кооперації та міжнародної торгівлі. По-третє, метрологія, як наука про вимірювання, є інструментальною основою для підтвердження взаємозамінності та стандартизації. Вона забезпечує достовірність, об'єктивність та точність результатів випробувань, що є необхідними для оцінки відповідності. Контекст сертифікації є формальним процесом оцінки відповідності, що інтегрує результати метрології для підтвердження взаємозамінності компонентів у відповідності до вимог стандартизації. Без належного метрологічного забезпечення, яке підтверджує точне дотримання допусків, жоден сертифікат відповідності не матиме юридичної сили чи технічного обґрунтування, що наведено на рис. 1.

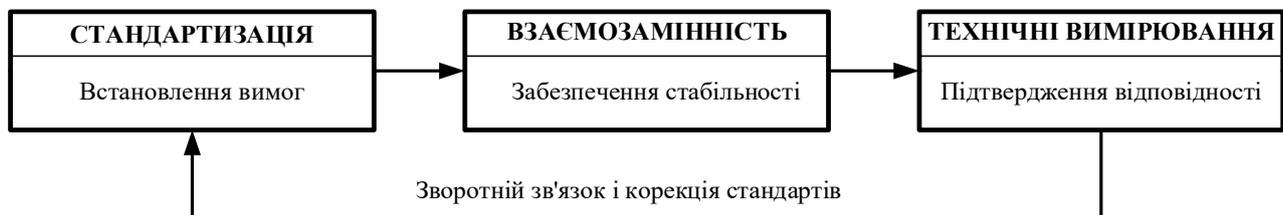


Рис. 1 – Цикл інтеграції методологічних засад в процесі сертифікації

Сертифікація ТЗ на міжнародному рівні здійснюється через великі регуляторні системи, головною з яких є всесвітній форум з гармонізації правил для транспортних засобів (WP.29), що діє під егідою ЄЕК ООН. WP.29 управляє багатосторонніми угодами (1958, 1997, 1998), які встановлюють єдині технічні приписи (UN Regulations) для затвердження колісних тз. Ця система, включаючи європейське типове затвердження (EU Type Approval), базується на концепції типового затвердження (ex-ante certification). Процес передбачає, що виробник спочатку розробляє прототип відповідно до регуляторних вимог, технічна служба (випробувальний орган) проводить необхідні випробування, і лише після цього орган із затвердження типу видає сертифікат типу (ТА). це є прямим доказом інтеграції стандартизації та метрології на етапі проектування та валідації.

Ключовим елементом типового затвердження є вимога до відповідності виробництва (CoP), що також відома як контроль якості. CoP гарантує, що всі серійно виготовлені транспортні засоби відповідають ідентичним специфікаціям затвердженого типу, забезпечуючи, якість кожного автомобіля.

Орган із затвердження типу регулярно перевіряє процедури СоР виробника, використовуючи результати метрології для підтвердження сталості виробничого процесу.

Процес типового затвердження може бути візуалізований як послідовний, циклічний процес, де метрологія виступає як критичний фільтр на кожному етапі, забезпечуючи зв'язок між стандартизацією та взаємозамінністю.

На рис. 2 представлена блок-схема, яка відображає послідовність дій та відповідальних суб'єктів у рамках глобальної системи типового затвердження UNECE/СС. Вона демонструє, як СоР, що залежить від взаємозамінності і та технічними вимірюваннями, інтегрований у загальний процес.

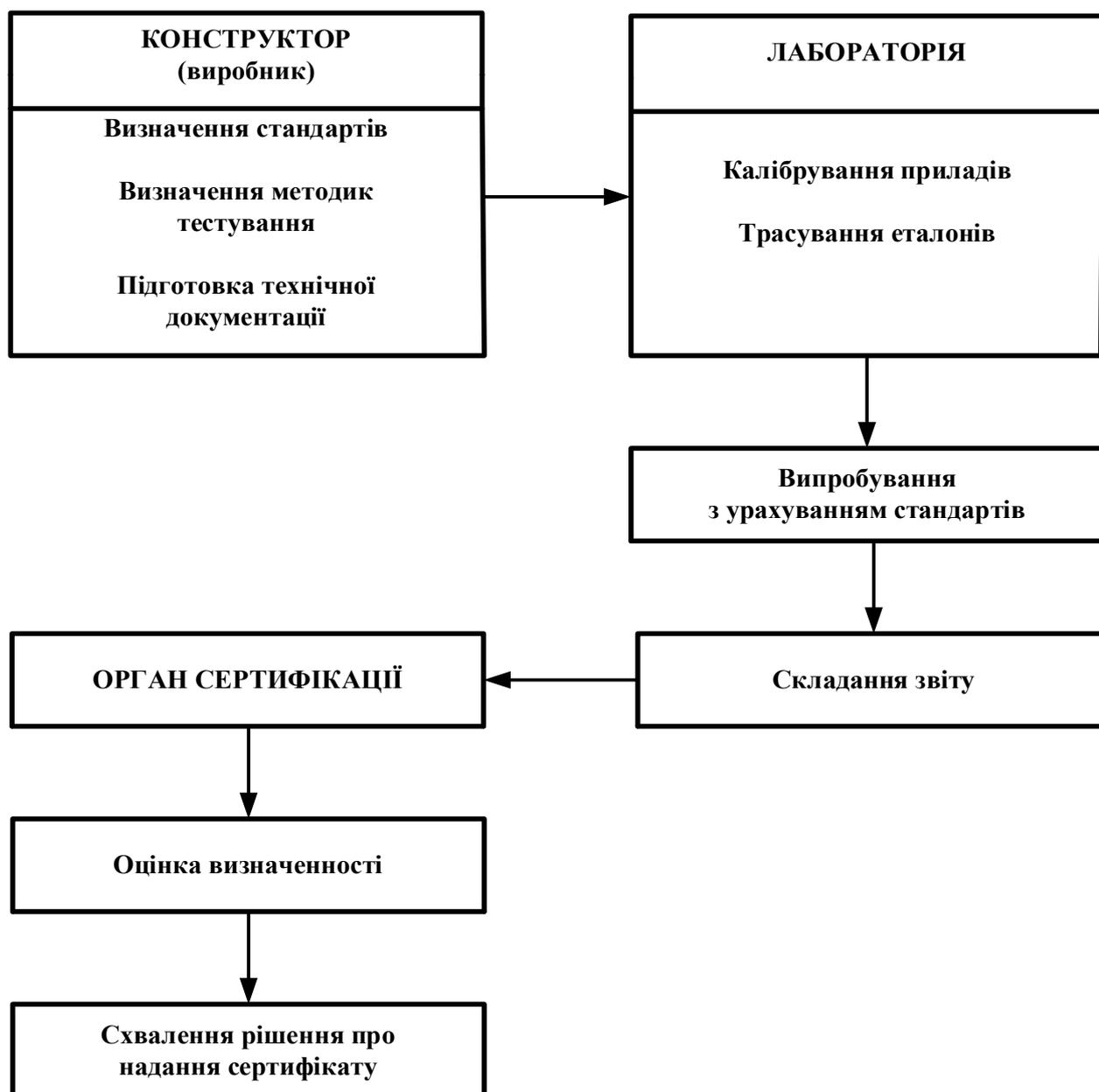


Рис. 2 – Інтегрована блок-схема процесу сертифікації

У табл. 1 показані критерії ефективності на різних етапів виробництва та їх зв'язок з взаємозамінністю, стандартизацією, метрологією та їх вплив на сертифікацію.

Таблиця 1 – Зведення методологічних засад інтеграції взаємозамінності, стандартизації та метрології

Критерій ефективності	Взаємозамінність	Стандартизація	Метрологія	Вплив на сертифікацію
Складання та виробництво	Спрощення, основа автоматизації, усунення добору	Забезпечення кооперації, раціональне використання обладнання	Контроль допусків, підвищення спроможності процесу	Забезпечення відповідності виробництва (CoP).
Експлуатація та ремонт	Легка заміна вузлів, зниження простою	Уніфікація запчастин та технічних вимог (ISO 1728)	Достовірність діагностики та калібрування обладнання	Збереження безпеки ТЗ протягом усього життєвого циклу.
Якість та безпека	Гарантія функціональності компонентів	Підтримка високих регуляторних вимог (UNECE, FMVSS)	Підтвердження відповідності (CoP) та мінімізація ризиків (ISO 26262)	Легітимізація продукції на внутрішньому та міжнародному ринках.

Світовий досвід переконливо показує, що у сфері сертифікації транспортних засобів сформувалися дві основні філософії, які по-різному підходять до інтеграції взаємозамінності, стандартизації та метрологічного забезпечення. Перша філософія реалізується в системі UNECE та EU Type Approval, яка базується на принципі попереднього затвердження типу та вимагає підтвердження відповідності конструкції та ключових параметрів нормативам до початку серійного виробництва, така процедура передбачає залучення незалежних випробувальних органів, застосування уніфікованих методик тестування, документовану трасованість вимірювань до національних або міжнародних еталонів та постійний контроль відповідності CoP протягом життя сертифікату. Друга філософія характерна для системи FMVSS, яка діє у США та Канаді, вона спирається на модель самосертифікації, де виробник декларує відповідність, а наглядовий орган проводить вибіркові перевірки, вибіркові випробування та аналіз даних після випуску продукції на ринок, такий підхід перекладає оперативну відповідальність за метрологічну достовірність на виробника, вимагає розробки внутрішніх процедур контролю, статистичних програм вибіркового моніторингу, систем раннього виявлення відхилень і процедур для відгуку продукції у випадку системних невідповідностей.

Незалежно від регуляторної моделі, обидві філософії вимагають високого рівня метрологічної інфраструктури, оскільки рішення про відповідність приймаються на основі результатів вимірювань, які повинні бути відтворюваними та кількісно обґрунтованими, це означає наявність процедури трасування приладів до національних еталонів, регулярних циклів калібрування з розрахунком невизначеності, ведення журналів обслуговування та записів калібрувань, застосування методик оцінки невизначеності за стандартом GUM, використання методів MSA та GR&R для оцінки придатності вимірювальних систем, а також документованих процедур управління змінами, які дозволяють відстежувати вплив модифікацій конструкції або технологічних процесів на метрологічні характеристики.

Регуляторні відмінності визначають різні технічні вимоги до обладнання та процедур, уніфіковані методики UNECE можуть вимагати конкретних умов випробувань, конфігурації стендів та класів точності, у той час як FMVSS орієнтується на вимогу відтворюваності результатів у запасі виробництва та на механізми постмаркетингового контролю, різниця в підходах впливає на вибір класу приладів, інтервали калібрування, методи фільтрації сигналів

та алгоритми обробки даних. У практичних термінах це означає, що для певних тестів виробнику доведеться застосовувати оптичні системи відстеження руху з високою роздільною здатністю, опорні ваги із класом точності, що відповідає вимогам, калібровані барометри і температурні сенсори, синхронізовані системи збору даних з високою частотою вибірки, а також стенди для відтворення екстремальних умов навколишнього середовища, при цьому всі виміри повинні мати розгорнуту оцінку невизначеності та статистичну інтерпретацію результатів.

Особливо гостро питання метрологічної точності стоїть у випробуваннях систем активної безпеки, таких як АЕВ, АСС, LKA, DMS та системи, що використовують LIDAR й RADAR, для яких результати залежать від коректності оцінки відстані, швидкості та прискорення в реальному часі, невелика систематична похибка у відстані або затримка у вимірюванні швидкості може привести до змін у висновку щодо проходження тесту, тому для таких випробувань застосовують комплексні методики валідації, які включають калібрування сенсорів, валідацію алгоритмів обробки сигналу, синфазну перевірку часових міток між пристроями, моделювання сценаріїв дорожнього руху з відтворюваними параметрами та оцінку похибок у контексті функціональної нерівності.

Інженерні процедури повинні містити формалізовані етапи, що включають визначення вимірювальних характеристик, розрахунок вимог до точності на основі допустимих похибок проектних меж, вибір метрологічно придатних приладів, розробку процедур калібрування, побудову планів вибіркового контролю у виробництві, застосування статистичних методів контролю якості, оцінку спроможності процесу через Cp, Cpk та Ppk, а також документування результатів у вигляді звітів про валідацію та записи СоР. Критично важливими є процедури управління ризиками, які включають модель аналізу причин і наслідків щодо невідповідностей, ієрархію заходів з корекції та попереджувальних дій, і налаштування порогів спрацьовування систем моніторингу для автоматичного виявлення трендів, що можуть призвести до серійних дефектів.

Регулювання вимагає також уваги до організаційних та сертифікаційних аспектів, зокрема акредитації лабораторій та калібрувальних центрів за міжнародними стандартами, такими як ISO/IEC 17025, впровадження систем управління якістю на підприємстві за ISO 9001, документованої політики щодо трасування та збереження метаданих вимірювань, формалізації процедур СоР у технічній документації та забезпечення прозорості даних у разі регуляторного аудиту, додатково потрібна взаємодія з національними метрологічними інститутами для узгодження еталонів та методик калібрування, що забезпечує юридичну вагомість результатів.

Економічні наслідки вибору філософії сертифікації також є значними, попереднє затвердження типу забезпечує прогнозованість витрат на сертифікацію, але підвищує витрати на ранніх етапах розробки через необхідність проведення широкого спектру випробувань та підтверджень, самосертифікація дозволяє прискорити вихід на ринок і знизити первісні видатки, але підвищує ризик витрат у випадку відкликання або штрафів, через це інженерна стратегія компанії повинна містити економічну оцінку ризиків, моделювання життєвих циклів витрат на калібрування та обслуговування метрологічної інфраструктури, а також адаптацію виробничих процесів для зниження ймовірності системних невідповідностей.

У сучасному контексті цифровізації виробництва та Industry 4.0 з'являються додаткові можливості для підвищення якості метрологічного забезпечення, зокрема використання цифрової метрології, автоматизованих процесів калібрування, цифрових двійників для симуляції впливу технологічних змін на параметри виробництва, централізованого зберігання метрологічних даних з контрольованим доступом та застосування алгоритмів аналітики великих даних для прогнозного технічного обслуговування обладнання й виявлення трендів відхилення, при цьому необхідно враховувати ризики, що пов'язані з цілісністю та кібербезпекою вимірювальних даних, оскільки маніпуляція або корупція метрологічних даних може поставити під сумнів легітимність сертифікації.

Глобальна гармонізація процедур є стратегічною метою, яка потребує узгодження технічних методик, обміну кращими практиками та розробки спільних критеріїв оцінки спроможності процесів, ініціативи щодо гармонізації можуть включати створення міжнародних технічних робочих груп, розробку консолідованих технічних протоколів тестування для ADAS, спільні підходи до оцінки невизначеності та рекомендації щодо класів приладів для критичних випробувань, такі кроки дозволять зменшити витрати на мультиплікацію випробувань для різних ринків і підвищити довіру до результатів тестування.

На підставі вищенаведеного, інтеграція взаємозамінності, стандартизації та метрології постає не як факультативний додаток, а як центральний елемент інженерної практики у сертифікації транспортних засобів, вона вимагає від інженера володіння методами статистичної обробки даних, розуміння метрологічної теорії невизначеності, навичок у проектуванні процедур калібрування, здатності організувати CoP, а також умінь враховувати економічні та кібернетичні ризики у плануванні метрологічної інфраструктури. Виконання цих вимог забезпечує технічно обгрунтовану, відтворювану та регуляторно прийнятну сертифікацію, що є запорукою безпеки, якості та комерційної стабільності на глобальному ринку.

На рис. 3 представлена блок-схема загального процесу сертифікації з урахуванням інтеграції. Дана схема синтезує ключові фази сертифікації, демонструючи інтеграційну роль взаємозамінності, стандартизації та технічних вимірювань (метрології).

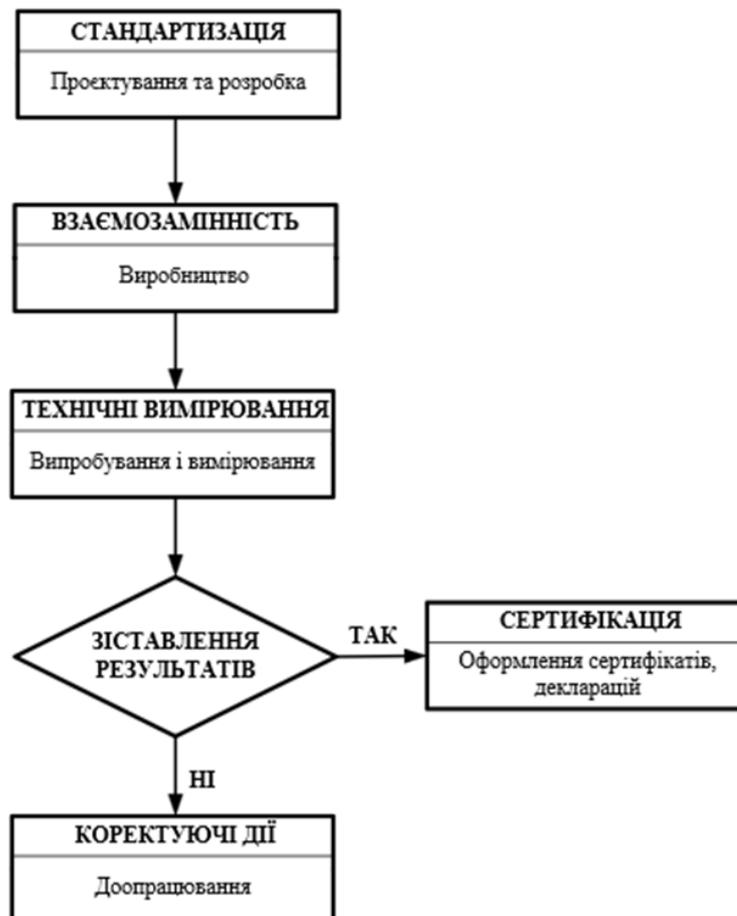


Рис. 3 – Блок-схема загального процесу сертифікації з урахуванням інтеграції

Висновки. За результатами дослідження встановлено, що інтеграція принципів взаємозамінності, стандартизації та метрології формує фундаментальну методологічну основу для легітимної, відтворюваної та функціонально коректної сертифікації транспортних засобів. Така інтеграція забезпечує узгодженість технічних параметрів між етапами проектування,

виробництва та оцінювання відповідності. Взаємозамінність визначає допустимі відхилення, поля допусків та параметричні межі сумісності, стандартизація формалізує ці вимоги у вигляді нормативно-технічних регламентів і процедур, а метрологія забезпечує кількісну доказовість їхнього виконання, включно з оцінкою спроможності технологічного процесу, калібруванням засобів вимірювань та підтвердженням відповідності виробництва. У комплексі ці елементи забезпечують не лише регуляторну відповідність, а й підвищення рівня функціональної надійності транспортних засобів.

Системний підхід до такої інтеграції сприяє зростанню безпеки транспортних систем, оскільки дозволяє мінімізувати технічні ризики, пов'язані з відмовами, невідповідністю геометричних параметрів або нестабільністю виробничих процесів. Крім того, уніфікація платформ, скорочення номенклатури деталей та оптимізація ремонтпридатності підвищують економічну ефективність виробництва та післяпродажного обслуговування. Водночас глобальна регуляторна дивергенція, насамперед між вимогами UNECE та американськими стандартами FMVSS, створює додаткові виклики для виробників, адже різні рівні жорсткості вимог потребують паралельної адаптації конструкцій і методів випробувань. Посилення нормативної суворості прямо впливає на необхідність підвищення точності метрологічного контролю, стабільності відтворення результатів вимірювань та забезпечення спроможності взаємозамінності у складних багатопараметричних системах.

Для забезпечення надійності й юридичної коректності процесу сертифікації критично важливо дотримуватися низки методологічних вимог. До них належить обов'язкова акредитація випробувальних лабораторій відповідно до ISO/IEC 17025, що гарантує простежуваність калібрування, метрологічну сумісність результатів, а також відтворюваність процедур вимірювань у міжнародному масштабі. Також необхідним є впровадження методик коригування індексів спроможності процесу з урахуванням систематичних та випадкових похибок вимірювальних засобів, що дає змогу отримувати об'єктивні параметри статистичної надійності виробництва. У контексті цифровізації технічного регулювання особливої важливості набуває забезпечення кібербезпеки метрологічного програмного забезпечення, оскільки цілісність цифрових протоколів та захищеність вимірювальних даних безпосередньо впливають на достовірність сертифікаційних рішень та простежуваність результатів у довгостроковій перспективі.

Список літератури:

1. Аулін В. В., Голуб Д. В., Гриньків А. В., Лисенко С. В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем : монографія. Кропивницький, 2017. 370 с.
2. Zhao Y. F., Horst J. A., Kramer T. R., Rippey W., Brown R. J. Quality Information Framework – Integrating Metrology Processes. IFAC Proceedings Volumes. 2012. Vol. 45, Iss. 6. P. 1301–1308. URL: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=910396 (дата звернення: 10.11.2025).
3. Кузнецова Ю. В., Гусев Д. А. Сертифікація колісних транспортних засобів: перспективи правового регулювання. Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. 2019. Вип. 37. С. 194–199.
4. Roberts A., Marksteiner S., Soyuturk M., Yaman B., Yang Y. A Global Survey of Standardization and Industry Practices of Automotive Cybersecurity Validation and Verification Testing Processes and Tools. SAE International. 2023. Vol. 7, Iss. 2. DOI: 10.4271/12-07-02-0013.
5. Trishch R., Maletskaya O., Cherniak O., Semionova J., Jancis V. Analysis of the requirements of international and national standards for measurement methods and metrological equipment. Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. Iss. 1 (11). P. 156–162. DOI: 10.30837/2522-9818.2020.11.156. URL: <https://journals.urau.ua/itssi/article/view/2522-9818.2020.11.156>. (дата звернення: 10.11.2025).
6. Kim Y., Choi T. Y., Yan T. Supply chain integration and standardization: The role of certification in the global automotive industry. International Journal of Production Economics. 2020. Vol. 229. Art. 107777.
7. Sanders M. S. The Impact of Digital Metrology on Quality Assurance and Certification in Smart Manufacturing. Journal of Measurement Science and Technology. 2021. Vol. 32, Iss. 4. Art. 044001.
8. Breivik M., Syberfeldt A. Traceability and Interchangeability in Industry 4.0: A Framework for Standardized Data Exchange. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2019. Vol. 59. P. 1–10.
9. Wang J., Gao R. X. Precision Manufacturing Certification Based on In-Process Measurement and Data Analytics. CIRP Annals. 2020. Vol. 69, Iss. 1. P. 345–348.

10. Framework for Cyber-Physical Systems: Trustworthiness and Interoperability : NIST IR 8378. Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2021.
11. ISO 10012:2003. Measurement management systems – Requirements for measurement processes and measuring equipment. URL: <https://www.iso.org/standard/26033.html> (дата звернення: 10.11.2025).
12. ISO/IEC Guide 99:2007. International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM). URL: <https://www.iso.org/ru/standard/45324.html> (дата звернення: 10.11.2025).
13. National metrology systems - Developing the institutional and legislative framework : OIML D 1:2020. Paris, 2020. URL: <https://www.bipm.org/documents/20126/42177518/National-Metrology-Systems.pdf> (дата звернення: 10.11.2025).

References (transliterated):

1. Aulin V. V., Holub D. V., Hrynkiv A. V., Lysenko S. V. Metodolohichni i teoretychni osnovy zabezpechennia ta pidvyshchennia nadiinosti funktsionuvannia avtomobilnykh transportnykh system : monohrafiia. Kropyvnytskyi, 2017. 370 s.
2. Zhao Y. F., Horst J. A., Kramer T. R., Rippey W., Brown R. J. Quality Information Framework – Integrating Metrology Processes. IFAC Proceedings Volumes. 2012. Vol. 45, Iss. 6. P. 1301–1308. URL: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=910396 (дата зvernennia: 10.11.2025).
3. Kuznetsova Yu. V., Husiev D. A. Sertyfikatsiia kolisnykh transportnykh zasobiv: perspektyvy pravovoho rehuliuвання. Visnyk Pryazovskoho Derzhavnogo Tekhnichnogo Universytetu. 2019. Vyp. 37. S. 194–199.
4. Roberts A., Marksteiner S., Soyurk M., Yaman B., Yang Y. A Global Survey of Standardization and Industry Practices of Automotive Cybersecurity Validation and Verification Testing Processes and Tools. SAE International. 2023. Vol. 7, Iss. 2. DOI: 10.4271/12-07-02-0013.
5. Trishch R., Maletka O., Cherniak O., Semionova J., Jancis V. Analysis of the requirements of international and national standards for measurement methods and metrological equipment. Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2020. Iss. 1 (11). P. 156–162. DOI: 10.30837/2522-9818.2020.11.156. URL: <https://journals.uran.ua/itssi/article/view/2522-9818.2020.11.156>. (дата zvernennia: 10.11.2025).
6. Kim Y., Choi T. Y., Yan T. Supply chain integration and standardization: The role of certification in the global automotive industry. International Journal of Production Economics. 2020. Vol. 229. Art. 107777.
7. Sanders M. S. The Impact of Digital Metrology on Quality Assurance and Certification in Smart Manufacturing. Journal of Measurement Science and Technology. 2021. Vol. 32, Iss. 4. Art. 044001.
8. Breivik M., Syberfeldt A. Traceability and Interchangeability in Industry 4.0: A Framework for Standardized Data Exchange. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2019. Vol. 59. P. 1–10.
9. Wang J., Gao R. X. Precision Manufacturing Certification Based on In-Process Measurement and Data Analytics. CIRP Annals. 2020. Vol. 69, Iss. 1. P. 345–348.
10. Framework for Cyber-Physical Systems: Trustworthiness and Interoperability : NIST IR 8378. Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2021.
11. ISO 10012:2003. Measurement management systems – Requirements for measurement processes and measuring equipment. URL: <https://www.iso.org/standard/26033.html> (дата zvernennia: 10.11.2025).
12. ISO/IEC Guide 99:2007. International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM). URL: <https://www.iso.org/ru/standard/45324.html> (дата zvernennia: 10.11.2025).
13. National metrology systems - Developing the institutional and legislative framework : OIML D 1:2020. Paris, 2020. URL: <https://www.bipm.org/documents/20126/42177518/National-Metrology-Systems.pdf> (дата zvernennia: 10.11.2025).

Надійшла (received) 15.11.2025

Відомості про авторів / About the Authors

Поліщук Дмитро Володимирович (Polishchuk Dmytro) – кандидат технічних наук, Філія Класичного приватного університету в місті Кременчук, доцент кафедри автомобільного транспорту та транспортних технологій, м. Кременчук, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2426-6861>; e-mail: kpudmytro@gmail.com

Головіна Олена Валентинівна (Holovina Olena) – кандидат технічних наук, доцент, Філія Класичного приватного університету в місті Кременчук, завідувачка кафедри автомобільного транспорту та транспортних технологій, м. Кременчук, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9858-888X>; e-mail: elenholz@gmail.com

Холодний Юрій Федорович (Kholodnyi Yuriy) – кандидат технічних наук, доцент, Філія Класичного приватного університету в місті Кременчук, доцент кафедри автомобільного транспорту та транспортних технологій, м. Кременчук, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6695-8258>; e-mail: kholodnyi.y@gmail.com

Алтухов Петро Миколайович (Altuhov Petro) – Філія Класичного приватного університету в місті Кременчук, викладач кафедри автомобільного транспорту та транспортних технологій, м. Кременчук, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9780-7611>; e-mail: petrnika15@gmail.com