

Моделювання системи показників оцінювання якості засобів вимірювальної техніки

О. М. Величко, О. В. Грабовський, Т. Б. Гордієнко, С. Л. Волков

Сучасні засоби вимірювальної техніки (ЗВТ) мають велике значення для забезпечення вимірюваннями всіх сфер національної економіки. Основним їх призначенням є проведення точних і достовірних вимірювань з метою отримання повної та достовірної вимірювальної інформації. Для виконання цієї важливої функції ЗВТ повинні бути належної якості, яка повинна бути достовірно оцінена.

У традиційному визначенні ЗВТ є технічним засобом, який застосовується під час вимірювань і має нормовані характеристики. Для технічних засобів існує традиційна система показників якості. Окрім цих показників якості для ЗВТ мають бути встановлені додаткові специфічні показники, які повинні об'єктивно оцінювати метрологічні характеристики.

Доведена доцільність створення і використання спеціальної системи показників якості для всіх стадій життєвого циклу (ЖЦ) ЗВТ. Для побудови такої системи необхідне максимальне застосування кількісних характеристик, що виражають ті чи інші показники якості. Важливими показниками цієї системи є низка показників ЗВТ, пов'язана з метрологічними характеристиками. Для ЗВТ доцільне також одночасне використання загальної системи показників якості для технічних об'єктів.

Запропоновані множинні моделі показників якості ЗВТ і оцінювання показників якості ЗВТ дозволяють здійснювати дослідження впливовості показників якості ЗВТ і виконувати їх оцінювання на всіх стадіях ЖЦ ЗВТ. Розуміння і управління системою оцінювання показників якості ЗВТ сприяє підвищенню ефективності у досягненні запланованих результатів. Для ефективною реалізації цих моделей необхідно використовувати регламентовані вимоги деяких міжнародних і регіональних стандартів та рекомендацій.

Ключові слова: показники якості, засіб вимірювальної техніки, метрологічна характеристика, метрологічна надійність, життєвий цикл, множинна модель.

1. Вступ

Міжнародним стандартом ISO 9000 [1] встановлене загальне поняття якості продукції як здатність задовольняти її замовників. Якість продукції охоплює не тільки їх передбачені функції та характеристики, але також їх користь для замовника. В той же час стандартом регламентується більш конкретне визначення якості як ступені, до якої сукупність власних характеристик об'єкта задовольняє вимоги. Визначається також рівень якості як категорія чи розряд, надані різним вимогам щодо об'єкта, які мають те саме функціональне застосування. Як показник діяльності встановлюється вимірний результат, а як характеристика об'єкта – розпі-

знавальна особливість, яка може бути як якісною, так і кількісною. Метрологічна характеристика визначається як характеристика, яка може впливати на результат вимірювання. Вона властива виключно засобу вимірювальної техніки (ЗВТ) і може вважатися одним з найважливіших показників ЗВТ.

Якість продукції, зокрема ЗВТ, є основою її конкурентоспроможності. Традиційно якістю продукції є сукупність її властивостей, які обумовлюють її придатність задовольняти обумовлені та передбачувані потреби відповідно до її призначення. Властивість продукції – це об'єктивна особливість продукції, що виявляється при її розробленні, проектуванні, виготовленні, експлуатації та використанні за призначенням. Для об'єктивного оцінювання якості продукції, її властивості характеризуються кількісно і якісно. Кількісна характеристика одного або декількох властивостей продукції, які складають її якість, традиційно називається показником якості продукції (ПЯП) [2–5].

Вимоги до сучасних систем управління якістю регламентуються міжнародним стандартом ISO 9001 [6]. Загалом цей стандарт спрямований на створення можливостей для підвищення задоволеності замовника і у врахуванні ризиків, пов'язаних з діяльністю організації. Одним із принципів управління якістю є прийняття рішень на підставі фактичних даних, а також поліпшення процесів організації на основі оцінювання даних та інформації. Для перевіряння відповідності продукції встановленим вимогам необхідно визначити ресурси, необхідні для забезпечення надійних результатів. Якщо простежуваність вимірювань (метрологічна простежуваність) є вимогою чи суттєвим елементом гарантування впевненості у вірогідності результатів вимірювання, то встановлюються спеціальні вимоги до стану ЗВТ.

Міжнародний стандарт ISO 10012 [7] установлює загальні вимоги і містить настанови щодо управління процесами вимірювання і метрологічного підтвердження придатності ЗВТ. Під метрологічним підтвердженням (metrological confirmation) розуміється сукупність операцій, необхідних для гарантування того, що ЗВТ відповідає метрологічним вимогам щодо використання за призначенням. Метрологічне підтвердження загалом охоплює калібрування (calibration) і повірку (verification), які призначені для встановлення метрологічних характеристик ЗВТ. Під метрологічними характеристиками (metrological characteristic) у цьому стандарті розуміється характерна особливість, яка може впливати на результат вимірювання. ЗВТ, як правило, може мати декілька метрологічних характеристик.

Міжнародний стандарт ISO/IEC 17025 [8] містить спеціальний розділ, присвячений метрологічній простежуваності. Її визначення у цьому стандарті відповідає міжнародному словнику ISO/IEC Guide 99 [9]. Метрологічна простежуваність є властивістю результату вимірювання і для неї використовується поняття невизначеності вимірювання [9, 10]. Існують різні варіанти забезпечення метрологічної простежуваності, однак одним із головних з них є калібрування ЗВТ. Все це підкреслює особливість ЗВТ як технічного засобу.

Узагальнюючи вимоги розглянутих міжнародних стандартів, можна констатувати велике значення, яке мають сучасні ЗВТ для забезпечення всіх сфер національної економіки. Основним їх призначенням є проведення точних і достовірних вимірювань з метою отримання повної та достовірної вимірювальної інформації.

Для виконання цієї важливої функції ЗВТ повинні бути належної якості, яка повинна бути достовірно оцінена. У традиційному визначенні ЗВТ є технічним засобом, який застосовується під час вимірювань і має нормовані характеристики.

Для технічних засобів існує традиційна система показників якості. Низка цих показників якості є спільними і для ЗВТ, однак тільки на їх основі не можна зробити висновок щодо якості саме ЗВТ. Якщо базуватися лише на традиційній системі показників якості, то результат оцінювання ЗВТ може бути спотворений. Тому актуальними є наукові дослідження, що присвячені як встановленню окремих специфічних для ЗВТ показників, так і їх спеціальної системи. Однак для достовірного оцінювання якості ЗВТ не можуть відкидатися інші «традиційні» показники якості технічних засобів, зокрема: технологічності, конструктивні, функціональної придатності, стандартизації та уніфікації, ергономічні, естетичні, економічні.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Практично всі сучасні ЗВТ є складними апаратно-програмними системами переважно із застосуванням сучасного програмного забезпечення (ПЗ). ЗВТ характеризуються своїм різноманітним призначенням, сферами застосування, складністю реалізації, тривалістю життєвого циклу (ЖЦ) тощо. Можна констатувати, що їх якість закладається вже на стадії проєктування і реалізується на стадії виробництва. Тому саме ці стадії слід вважати основними для ЖЦ ЗВТ.

В [2] розглянуті загальні питання щодо інноваційних механізмів забезпечення конкурентоспроможності товарів при розробці, в [3] – поняття якості продукції та етапи еволюції, в [4] – еволюція управління якістю. Однак у цих працях не розглядаються будь-які конкретні показники якості продукції. В [5] запропоноване загальне групування різноманітних характеристик продукції та деяких показників якості, однак не розглянуті їх особливості та сфери застосування. В [11] основна увага приділяється питанням управління якістю виробництва та обслуговування, в [12] – управління якістю продукції та послуг. Однак у цих працях не розглядаються будь-які конкретні показники якості продукції.

Поточні стратегії моніторингу процесів якості в основному зосереджені на одному певному показнику якості. Для кількох пов'язаних показників якості традиційні алгоритми встановлюють однакові ознаки, нехтуючи специфічними особливостями кожного показника. Зважаючи на кореляцію між показниками якості, важливу інформацію можна отримати за спільними ознаками. В [13] пропонується багатозначна модель якості для спільного моніторингу показників якості. Ця модель знаходить кореляцію між різними показниками якості. Однак ця модель має загальний характер і не враховує особливості показників якості ЗВТ.

Вибраний показник якості продукції може сильно вплинути на загальний результат оцінювання її якості. В [14] проведено порівняння декількох різних показників якості для отримання кращої уяви про їх характеристики та їхній вплив на загальний результат. Було показано, що показники якості з однаковими цілями дали суперечливі та суттєво різні результати. Отже, ні один з показників якості не може мати переваги над іншим. Однак ця робота також має загальний характер і також не враховує особливості показників якості ЗВТ.

В [15] у загальному вигляді розглянуті показники якості та ЖЦ захищених інформаційно-вимірювальних систем, в [16] – показники якості та ЖЦ інформаційно-вимірювальних систем. Однак у цих працях ніякої деталізації показників якості не наведено. В [17] розглянуті питання випробування ПЗ ЗВТ на національному рівні, в [17] – випробування ПЗ ЗВТ з метою оцінювання відповідності. В цих працях детально наведено показники ПЗ ЗВТ, які підлягають оцінюванню, і розглянуто лише одну групу показників якості ЗВТ, які відносяться до програмної частини. Ці показники можуть складати лише підсистему показників якості загальної системи показників якості ЗВТ.

В [19] детально розглядається алгоритм оцінювання індивідуальної метрологічної надійності ЗВТ, в [20] – питання розвитку системи забезпечення метрологічної надійності ЗВТ. Це є лише один, хоча і важливий, показник якості ЗВТ – метрологічна надійність. Цей показник може бути включений до системи специфічних показників якості ЗВТ.

Проведений аналіз показав нагальну необхідність розгляду окремих специфічних показників якості ЗВТ як елементів спеціальної системи показників якості ЗВТ. Створення такої системи показників для ЗВТ дозволить підвищити достовірність оцінювання якості ЗВТ за рахунок врахування всіх суттєвих складових якості для ЗВТ.

3. Мета і завдання дослідження

Метою дослідження є розгляд основ для створення спеціальної системи показників якості ЗВТ. Ця система має базуватися як на традиційній системі показників якості технічних засобів, так і специфічних лише для ЗВТ показниках. Для виконання цієї мети необхідне виконання завдання математичного моделювання системи цих показників.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- дослідити можливості та особливості створення спеціальної системи показників якості ЗВТ;
- провести математичне моделювання системи показників якості ЗВТ, яка б охоплювала всі стадії ЖЦ ЗВТ;
- провести математичне моделювання оцінювання показників якості ЗВТ на всіх стадіях ЖЦ ЗВТ.

4. Матеріали та методи дослідження показників якості засобів вимірювальної техніки

Для об'єктивної оцінки якості продукції необхідно охарактеризувати її властивості. Властивістю називається об'єктивна спроможність продукції, яка виявляється при її створенні, експлуатації чи споживанні. Для цього використовуються спеціальні показники і ознаки якості продукції. Причому при описі властивостей продукції ознаки використовуються тільки в тому випадку, якщо ці ознаки характеризують досить істотні властивості та їх неможливо привести в формі показника (тобто в чисельному вигляді). Якість продукції характеризується кількома показниками і певною виваженою сумою значень окремих ознак.

Кількісне відтворення властивостей продукції характеризується за допомогою ПЯП, які у загальному вигляді поділяються на: функціональні; ресурсозберігаючі; природоохоронні.

До функціональних ПЯП відносять показники, які відображають споживчі властивості виробу, такі як:

- технічний ефект (продуктивність, потужність, швидкість, швидкодія тощо); надійність (довговічність);
- ергономічність (виконання гігієнічних, антропологічних, фізіологічних вимог);
- естетичність.

ПЯП розглядаються завжди відповідно до певних умов ЖЦ продукції. При оцінці рівня якості використовуються як технічні показники, так і економічні. Вибір ПЯП встановлює перелік кількісних характеристик властивостей продукції, які обумовлюють її якість і забезпечують оцінку рівня якості продукції. Для об'єктивного оцінювання рівня якості продукції необхідно використовувати відповідну номенклатуру показників. Жоден ПЯП не може бути єдиним для обґрунтування висновків за результатами оцінювання продукції. У загальному вигляді ПЯП для стадій ЖЦ продукції можна поділити наступним чином: показники якості споживчих властивостей продукції; показники якості виготовлення продукції; показники експлуатаційних якостей продукції.

ПЯП можуть бути класифіковані за різними ознаками:

- змістом;
- способом чисельного вираження (абсолютні, відносні, питомі);
- ступенем диференціації (одиничні, комплексні, інтегральні);
- характеристичними властивостями (дискретні, безперервні);
- стадіями ЖЦ (прогнозні, проектні, виробничі, експлуатаційні);
- оцінюванням рівня якості (базові та відносні).

Для сучасної техніки всі можливі групи ПЯП втрачають свою значимість, якщо зразок цієї техніки виявиться ненадійним. Основні різновиди ПЯП наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Основні різновиди показників якості продукції

Ознака класифікації	Різновиди показників
Відношення до властивостей продукції	Призначення, надійності, технологічності, ергономічності, естетичності, стандартизації, патентно-правові, економічні
Значимість при оцінюванні якості	Основні та додаткові
Кількість властивостей, що відображаються	Одиничні та комплексні
Стадія визначення	Прогнозовані, проектні, виробничі, експлуатаційні
Методи визначення	Інструментальні, розрахункові, статистичні, експертні тощо
Розмірність величин, що відображаються	Абсолютні, наведені, безрозмірні

Різні ПЯП можуть бути порівняні один з одним, інші – виступають тільки самостійно і ні з якими іншими не перетинаються. Залежно від типу і виду промислової продукції, системи показників якості можуть істотно різнитися. Значення ПЯП можуть формуватися на основі: розрахункових (прогнозованих) показників; рекомендованих авторитетними організаціями значень; кращих значень в світовій або національній практиці; стандартів або нормативів.

5. Результати математичного моделювання показників якості засобу вимірювальної техніки

5.1. Дослідження можливості та особливостей створення системи показників якості засобу вимірювальної техніки

Для технічних об'єктів конструктивні ПЯП необхідно розглядати одночасно з такими показниками, як структура і властивість, технічна досконалість, безвідмовність, довговічність, збереженість, ремонтпридатність, застосовність, повторюваність тощо. Виробничі показники можуть застосовуватися спільно з конструктивними, технічної досконалісті, безвідмовності, довговічності, зберігання, ремонтпридатності, конструкційної міцності, повторюваності тощо.

Модель ЖЦ продукції, або так звана петля якості, будується на базі аналізу основних стадій формування і зміни ПЯП. Основу моделі складає ланцюжок послідовних видів діяльності, якість яких відображається на ПЯП. Якість ЗВТ планується і формується у виробничій сфері та піддається змінам в споживчій сфері (рис. 1). Характеристики ЗВТ можуть бути змінені за допомогою впливу на складові петлі якості [21].

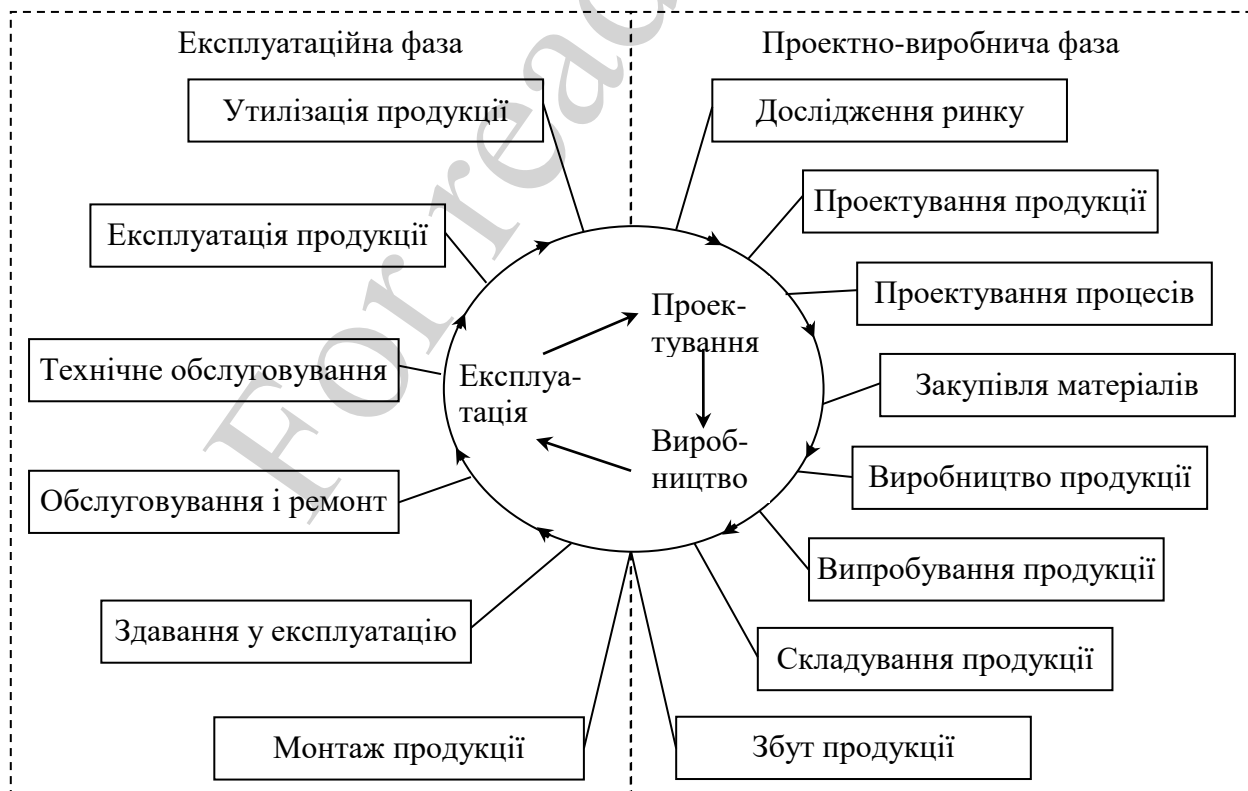


Рис. 1. Петля якості продукції для ЖЦ ЗВТ

Петля якості є концептуальною моделлю взаємозалежних видів діяльності, що впливають на якість на різних стадіях: від визначення потреб до оцінки їх задоволення. У цій моделі система якості виступає об'єктом управління на всіх стадіях виробничого процесу (рис. 1). Петля якості наочно показує послідовне відображення якості процесів на якість кінцевого результату на стадіях ЖЦ ЗВТ. Узагальнена якість результату є сукупністю проектної, виробничої та експлуатаційної якості (рис. 2).

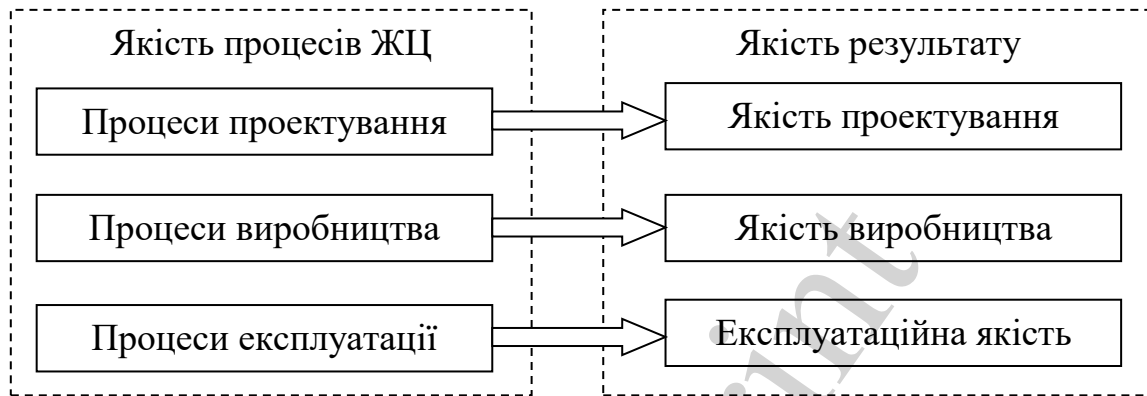


Рис. 2. Відображення процесів ЖЦ продукції на якість результату

При розробці системи ПЯП за основу можуть бути покладені такі принципи:

- використання суттєвих вимог технічних регламентів і нормативних документів (стандартів);
- максимальне використання кількісних характеристик, що виражають ті чи інші ПЯП;
- використання ознаки якості тільки в тих випадках, коли важливу ознаку якості не вдається інтерпретувати в ПЯП;
- групування і систематизація ПЯП.

Можуть використовуватися такі основні групи ПЯП:

- призначення – характеризують властивості продукції, що визначають основні функції, для виконання яких вона призначена, і обумовлюють галузь її застосування;
- надійності – характеризують здатність продукції збереженню працездатності при дотриманні певних умов експлуатації і технічного обслуговування (висловлюють властивості безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності, зберігання);
- технологічності – характеризують ефективність конструкторсько-технологічних рішень в забезпеченні високої продуктивності праці на стадіях виготовлення, експлуатації та ремонту;
- конструктивні – характеризують особливості конструкції виробу (тип конструкції, тип системи управління, тип системи регулювання, схемні рішення, габаритні і приєднувальні розміри тощо);
- функціональної придатності – характеризують стійкість, стабільність функціонування виробу (вузла, агрегату або системи), технічні можливості виробу;

– стандартизації та уніфікації – передбачають раціональне скорочення числа типорозмірів складових частин у проєктованому виробі (насиченість цих виробів стандартними, запозиченими і покупними частинами чи складовими елементами);

– ергономічні – характеризують пристосованість продукції до антропометричних, фізіологічних, психофізіологічних і психологічних властивостей споживача;

– естетичні – пов'язані зі здатністю виробу до вираження краси в предметно-чуттєвій формі (цілісність композиції, раціональність форми, збереження товарного виду, досконалість виробничого виконання, художня виразність тощо);

– економічні – відображають витрати на розробку, виготовлення і експлуатацію продукції тощо.

Для конкретного виду продукції номенклатура показників, які використовуються для оцінювання якості, буває значно меншою. Слід зазначити, що група показників призначення є специфічною для кожного виду продукції, тому саме ці показники потребують спеціального встановлення чи уточнення. Це стосується і ЗВТ, тому саме цим показникам слід приділити особливу увагу.

До важливих для технічних систем (об'єктів) можна віднести і групу показників надійності. Так показники безвідмовності можуть виражатися в абсолютному значенні часу напрацювання виробу в годинах до прояву відмови і у вигляді відносних статистичних показників. Всі відмови в роботі виробу можуть проявлятися під час: стендових випробувань виробу; експлуатаційної роботи; технічних обслуговувань і оглядів виробу.

Показники довговічності характеризують, зокрема:

- початковий ресурс виробу до першого капітального ремонту;
- призначений ресурс; технічний ресурс;
- максимальний час безперервної роботи;
- максимальний термін експлуатації виробу тощо.

З точки зору кількості розкритих властивостей, ПЯП можуть бути одиничними (що відносяться лише до однієї властивості) або комплексними (відносяться до кількох властивостей одночасно). Відносним ПЯП є відношення одиничного ПЯП до базового ПЯП, який виражається у відносних одиницях або відсотках. Базовим показником є ПЯП, прийнятий за стандарт при порівняльному оцінюванні якості виробу. Комплексний ПЯП дозволяє характеризувати якість виробу в цілому або цілу групу властивостей. При розрахунку цих показників використовуються різні методи оцінювання якості.

Типовий алгоритм розрахунку комплексного ПЯП такий:

- визначення номенклатури ПЯП і побудова їх структурної схеми;
- визначення коефіцієнтів вагомості ПЯП;
- розрахунок відносних ПЯП;
- вибір виду функціональної залежності;
- обчислення комплексного ПЯП.

Для визначення номенклатури комплексного ПЯП, коефіцієнтів вагомості ПЯП, виду функціональної залежності переважно застосовуються експертні методи.

Існують такі різновиди комплексного ПЯП:

- груповий – показник, що характеризує групу властивостей об’єкта або властивості групи об’єктів, що входять до складу системи;
- інтегральний – показник, що відображає відношення сумарного корисного ефекту в натуральних одиницях від експлуатації або споживання продукції до сумарних витрат на придбання і використання цього виробу за призначенням;
- узагальнений – показник, що відноситься до такої сукупності істотних властивостей об’єкта, за якою прийнято оцінювати якість в цілому тощо.

Узагальнений комплексний ПЯП може бути інтегральним або будь-яким іншим комплексним показником (наприклад, середньозваженим арифметичним або геометричним показником).

Узагальнено класифікація системи оціночних ПЯП наведена на рис. 3. Основну увагу у ній приділено функціональним показникам.

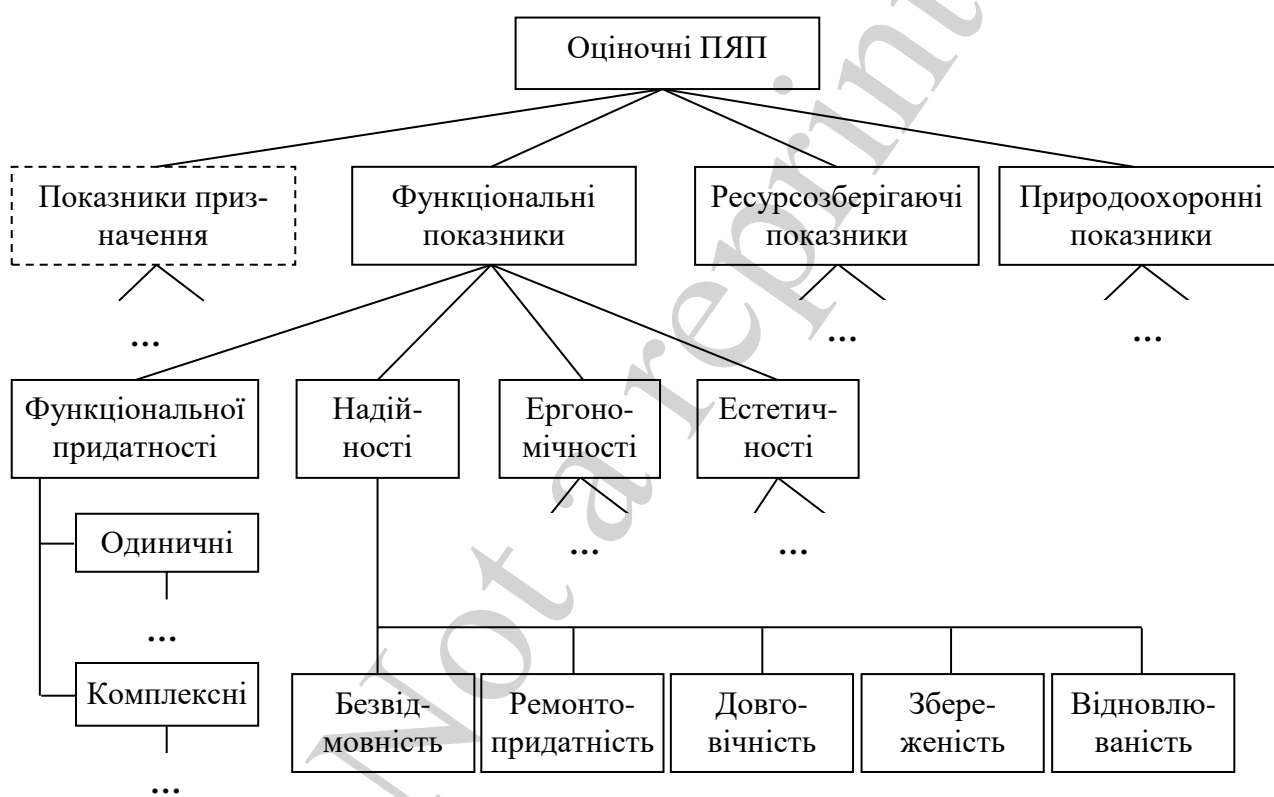


Рис. 3. Узагальнено класифікація системи оціночних ПЯП

На рис. 3 показники призначення лише позначені, так як є специфічними для кожного виду продукції, тому саме ці показники потребують спеціального розгляду і аналізу.

Функціональні показники для ЗВТ слід доповнити такими показниками, як метрологічна надійність, метрологічна справність, метрологічна відмова, міжкалібрувальний (міжповірочний) інтервал. Ці показники властиві виключно для ЗВТ і їх дослідженню присвячені роботи [19, 20, 22–24].

Метрологічною надійністю є надійність ЗВТ у частині збереження метрологічної справності, тобто стану ЗВТ, що визначає відповідність метрологічних

характеристик ЗВТ встановленим вимогам. Метрологічна справність – це стан ЗВТ, при якому всі нормовані метрологічні характеристики відповідають встановленим вимогам. Метрологічною відмовою є вихід метрологічних характеристик ЗВТ за нормовані границі. Ці два показники пов'язані один з одним.

Основними характеристиками, які можуть використовуватись для розрахунку показника метрологічної надійності, є такі:

- вірогідність безвідмовної роботи;
- напрацювання до першої метрологічної відмови;
- середній час напрацювання до першої метрологічної відмови;
- інтенсивність метрологічних відмов.

Міжкалібрувальним інтервалом називають проміжок часу або напрацювання між двома послідовними калібруваннями ЗВТ. Міжповірочний інтервал – це проміжок часу або напрацювання між двома послідовними повірками ЗВТ, протягом якого метрологічні характеристики такого засобу повинні відповідати встановленим вимогам. Визначення чи зміна міжкалібрувальних (міжповірочних) інтервалів ЗВТ є комплексом математичних і статистичних процесів, які потребують точних і повних даних, отриманих під час калібрування (повірки) ЗВТ.

Зазначені функціональні показники ЗВТ формуються чи підтверджуються переважно на фазі експлуатації ЖЦ ЗВТ.

Дослідження можливих показників призначення ЗВТ для створення спеціальної системи показників для ЗВТ, показало наступне. До показників призначення ЗВТ в першу чергу слід віднести основні метрологічні характеристики ЗВТ.

У загальному випадку показниками призначення можуть бути такі метрологічні характеристики ЗВТ [9]:

- інтервал показів (indication interval);
- номінальний інтервал показу (nominal interval);
- діапазон номінального інтервалу показу (range of a nominal indication interval);
- вимірювальний інтервал (measuring interval) чи діапазон вимірювання;
- клас точності (accuracy class);
- границя допустимої похибки (maximum permissible error);
- час встановлення показу (response time);
- нормовані робочі умови (rated operating conditions);
- граничні робочі умови (limiting operation condition);
- чутливість вимірювальної системи (sensitivity of a measuring system);
- поріг чутливості (discrimination threshold);
- зона нечутливості (dead band);
- селективність вимірювальної системи (selectivity of a measuring system);
- роздільна здатність показувального пристрою (resolution of a displaying device);
- стабільність ЗВТ (stability of a measuring instrument);
- нестабільність ЗВТ (instability of a measuring instrument);
- інструментальний дрейф (instrument drift);
- час наростання перехідної характеристики (step response time).

Група показників призначення щодо показу ЗВТ мають такі визначення [9] і особливості:

- інтервал показу – набір значень величин, обмежений найбільш можливими показами (найменших та найбільших значень величин);
- номінальний інтервал показу – сукупність значень величини, обмежена округленими або приблизними крайніми показами, досяжна з окремими параметрами ЗВТ і застосована для визначення цього набору;
- діапазон номінального інтервалу показу – абсолютне значення різниці між крайніми значеннями величини номінального інтервалу показу;
- час встановлення показу – інтервал часу від моменту початку дії вхідного сигналу до моменту, коли показ досягає і залишається в середині певних меж навколо усталеного значення.

Група показників призначення щодо діапазону і точності вимірювань ЗВТ мають такі визначення [9] і особливості:

- вимірювальний інтервал – сукупність значень величин одного типу, що можуть бути виміряні певним ЗВТ разом із заданою інструментальною невизначеністю у визначених умовах;
- клас точності – клас ЗВТ, який відповідає встановленим метрологічним вимогам (похибки вимірювання або інструментальні невизначеності в заданих границях у відповідних робочих умовах);
- границя допустимої похибки – крайнє значення похибки вимірювання по відношенню до відомого еталонного значення величини, допустиме технічними умовами ЗВТ.

Група показників призначення щодо умов вимірювань ЗВТ мають такі визначення [9] і особливості:

- нормовані робочі умови – умови застосування, які повинні бути виконані під час вимірювання для використання ЗВТ за призначенням;
- граничні робочі умови – надзвичайні умови, які ЗВТ повинні витримати без пошкодження та без погіршення встановлених метрологічних характеристик, якщо згодом воно буде використано в нормованих для нього робочих умовах.

Група показників призначення щодо чутливості та селективності ЗВТ мають такі визначення [9] і особливості:

- чутливість – частка від зміни в показі ЗВТ і відповідної зміни в значенні величини, що вимірюється;
- поріг чутливості – найбільша зміна в значенні вимірюваної величини, що не викликає помітної зміни у відповідному показі;
- зона нечутливості – максимальний діапазон, в середині якого значення величини, що вимірюється, може змінюватись в обох напрямках, не викликаючи наявних змін у відповідному показі;
- селективність – властивість ЗВТ, застосоване до регламентованої процедури вимірювання, за допомогою чого це забезпечує такі виміряні значення величини для однієї або більше вимірюваної величини, щоб значення кожної вимірюваної величини були незалежними;
- роздільна здатність показувального пристрою – найменша різниця між показами пристрою, яка може значно відрізнятись.

Група показників призначення щодо стабільності та перехідної характеристики ЗВТ мають такі визначення [9] і особливості:

– стабільність – властивість ЗВТ залишати постійними свої метрологічні характеристики протягом часу;

– нестабільність – зміна метрологічних характеристик ЗВТ за встановлений інтервал часу;

– інструментальний дрейф – неперервна або змінна, що постійно збільшується з часом, у показі в результаті змін метрологічних властивостей ЗВТ;

– час наростання перехідної характеристики – тривалість між моментом, коли вхідне значення величини ЗВТ підлягає раптовій зміні між двома заданими сталими значень величини та моментом, коли відповідний показ встановлюється в межах заданих границь навколо його кінцевого незмінного значення.

Хоча цей перелік показників призначення ЗВТ доволі вичерпний, для деяких категорій (груп) ЗВТ можуть встановлюватися і додаткові показники. Це може бути пов'язане, зокрема, з передбаченими умовами експлуатації ЗВТ.

Встановлені показники призначення ЗВТ формуються на фазі проектування ЖЦ ЗВТ, а встановлюються чи підтверджуються на фазі виробництва ЖЦ ЗВТ.

5. 2. Загальна математична модель системи показників якості засобу вимірювальної техніки

Сучасні ЗВТ є складними технічними системами, які характеризуються комплексом показників якості. Ці показники якості базуються на певних властивостях якості певного ЗВТ. Значення властивостей якості визначаються як функція вимірювання елементів показників якості (ЕПЯ, QME). ЕПЯ визначаються у термінах властивості із застосуванням певних методів вимірювання, включаючи математичне перетворення для встановлення кількісного значення цієї властивості. Показник якості однієї властивості називається простим показником якості (ППЯ, SQM), а показник якості, який об'єднує кілька простих показників, називається комплексним показником якості (КПЯ, CQM) [15, 16].

Математична модель оцінювання якості ЗВТ може бути наведена у загальному вигляді:

$$QM_{MI} = f \left(\begin{array}{l} f(\{(Par, Met), B\}), f(\{QME, B\}), \\ f(\{SQM, B\}), f\{CQM, B\} \end{array} \right), \quad (1)$$

де QM_{MI} – КПЯ ЗВТ (корінь дерева показників якості); CQM – множина КПЯ ЗВТ певного рівня (множини вузлів рівнів підхарактеристик і характеристик дерева показників якості) $CQM=f(\{SQM\}, B)$

$$\begin{cases} CQM_{r_{(|l|-2)}} = f(\{SQM\}, B), \\ CQM_{r_{(|l|-3)}} = f\left(\left\{CQM_{r_{(|l|-2)}}\right\}, B\right), \\ \dots \\ CQM_{r_1} = f\left(\left\{CQM_{r_2}\right\}, B\right); \end{cases}$$

SQM – множина ППЯ (множина вузлів рівня властивостей) $SQM=f(\{QME\}, B)$;
 QME – множина елементів показників якості (множина рівня вимірювання)

$QME=f(\{Par, Met\}, B)$;

(Par, Met) – множина кортежів (параметрів і методів) вимірювання;

$B = \{b_1, \dots, b_i, \dots, b_{|Q_l|}\}$ – характеристичний вектор відповідних множин

$$\left(Q_r \subset Q_{r-1} \mid \forall Q_r \in Q, b_i = 1 \right);$$

Q_l – множина ПЯ рівня l ($l=(1|l)$ – індекс рівня, $|l|$ – нижній рівень);

$(|l|-1), (1:|l|-2)$ – рівні ППЯ і КПЯ відповідно;

r – індекс показника якості на відповідному рівні.

Структура моделі показників якості ЗВТ наведена на рис. 4.

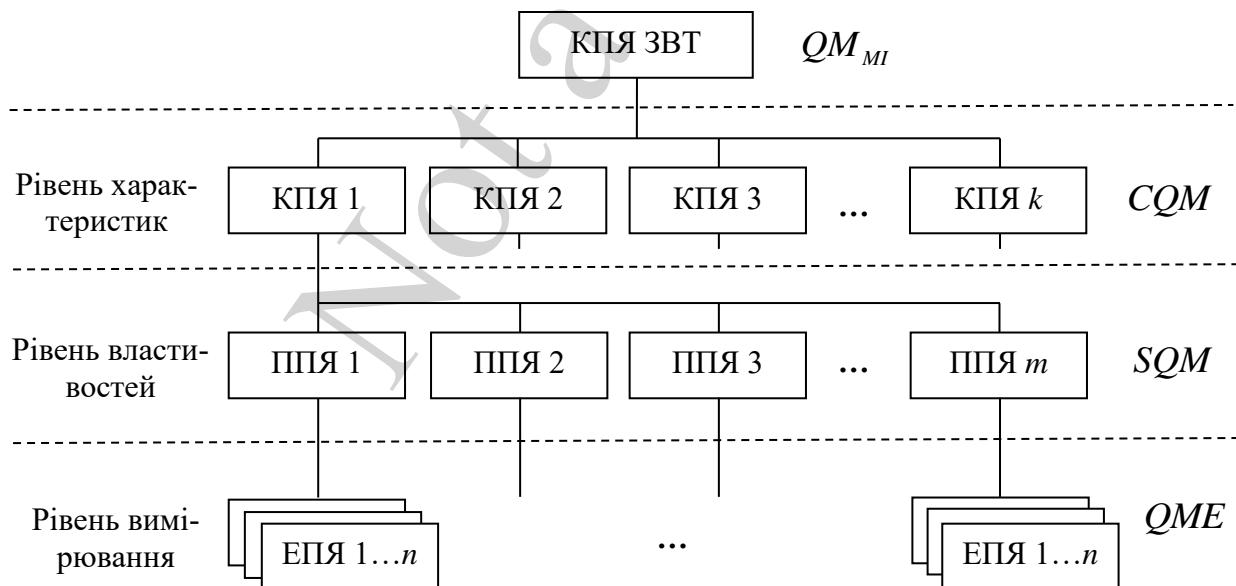


Рис. 4. Структура моделі показників якості ЗВТ

На рис. 4 наведено k КПЯ рівня характеристик, m ППЯ рівнів властивостей і по n ЕПЯ рівня вимірювань для кожного ППЯ.

5.3. Математична модель оцінювання показників якості на етапах життєвого циклу засобу вимірювальної техніки

Математична модель оцінювання показників якості на етапах ЖЦ ЗВТ може бути наведена у загальному вигляді:

$$QM_{MLC} = f(\{PhLC_{QM}\}), \quad (2)$$

де $PhLC_{QM}$ – КПЯ ЗВТ узагальненої фази певної моделі показників якості ЖЦ, який, в свою чергу, дорівнює:

$$PhLC_{QM} = f\left(\begin{matrix} Ver_{QM}, Val_{QM}, \\ LC_{PrQM}, LC_{SSQM} \end{matrix}\right), \quad (3)$$

де Ver_{QM} – КПЯ перевіряння фази;

Val_{QM} – КПЯ затвердження фази;

LC_{PrQM} – КПЯ процесів фази;

LC_{SSQM} – КПЯ підсистем, які відносяться до фази (підсистем нижнього рівня).

КПЯ перевіряння і затвердження фази визначаються відповідно:

$$Ver_{QM} = f\left(\begin{matrix} f(\{(Par, Met), B\})_{Ver}, f(\{QME, B\})_{Ver}, \\ f(\{SQM, B\})_{Ver}, f(\{CQM, B\})_{Ver} \end{matrix}\right), \quad (4)$$

$$Val_{QM} = f\left(\begin{matrix} f(\{(Par, Met), B\})_{Val}, f(\{QME, B\})_{Val}, \\ f(\{SQM, B\})_{Val}, f(\{CQM, B\})_{Val} \end{matrix}\right). \quad (5)$$

КПЯ процесів фази визначається у вигляді:

$$LC_{PrQM} = \bigcup_b \{PrLCQ_b\}, \quad (6)$$

де b – індекс фази процесу.

Після певних узагальнень можна отримати:

$$LC_{PrQM} = f(\{PrLC_{QM}\}),$$

$$PrLC_{QM} = f((Ver_{QM}), (Val_{QM})). \quad (7)$$

Структура моделі оцінювання показників якості ЖЦ ЗВТ з урахуванням виразів (1)–(7) наведена на рис. 5 ($LC_{PrQM}=\emptyset$, $PrLC_{PrQM}=\emptyset$, $Ver_{QM}=\emptyset$, $Val_{QM}=\emptyset$).

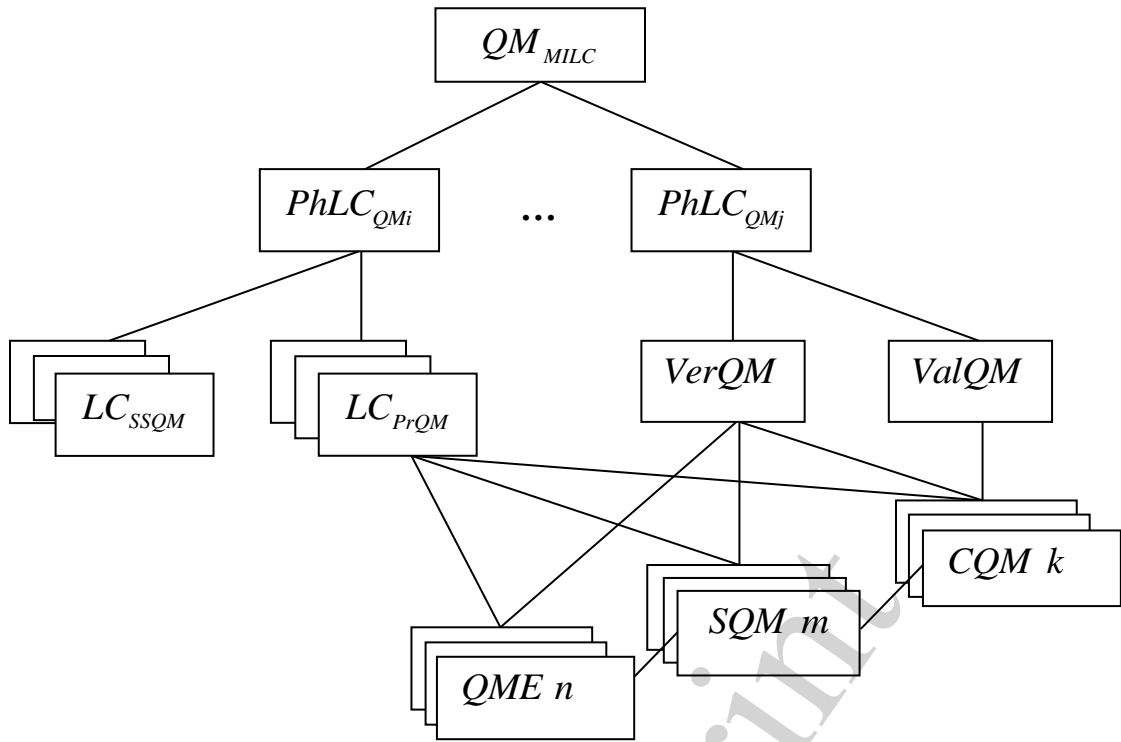


Рис. 5. Структура моделі оцінювання показників якості ЖЦ ЗВТ

На j -й фазі ЖЦ ЗВТ здійснюється перевірка для множин КПЯ, ППЯ і ЕПЯ для певних процесів моделі показників якості, а валідація – лише для множини КПЯ процесу випробування ЗВТ після виробництва.

Множинна модель оцінювання показників якості на стадіях ЖЦ ЗВТ набу-де загального вигляду:

де Q_r – довільний показник якості рівня l (r – індекс показника якості на цьому рівні);

$$B = \left\{ b_1, b_2, \dots, b_{\left| Q_r \right|} \right\} - \text{характеристичний вектор } Q_r, i = \left(1 : \left| Q_r \right| \right).$$

Бінарні відношення між множиною ЕПЯ і параметрами і методами вимірювання мають такий вигляд:

$$(Par, Met)_{zrp} \subset QME_{zr} | b_i = 1, \quad (10)$$

де $B = \{ b_1, b_2, \dots, b_{|p|} \}$ – характеристичний вектор QME_{zr} , $i = (1 : |p|)$.

Вирази для множинної моделі оцінювання показників якості на стадіях ЖЦ ЗВТ є основою для побудови дерева показників якості для системи ЗВТ.

6. Обговорення результатів побудови моделей оцінювання показників якості засобу вимірювальної техніки

Проведені дослідження показали, що певні показники якості існуючої традиційної системи для технічних засобів є спільними і для ЗВТ. Це стосується показників технологічності, конструктивних, функціональної придатності, стандартизації та уніфікації, ергономічних, естетичних і економічних. Ці показники стосуються всіх стадій ЖЦ ЗВТ. В той же час тільки на основі цих показників якості не можна зробити висновок щодо якості саме ЗВТ. До специфічних для ЗВТ показників якості віднесено всі показники призначення і додаткові функціональні показники (метрологічна надійність, метрологічна справність, метрологічна відмова, міжкалібрувальний інтервал). Без врахування цих показників результат оцінювання ЗВТ може бути спотворений.

Питання щодо оцінювання функціональних показників ЗВТ висвітлює низка стандартів і рекомендацій. Стандарт ISO 9001 [6] містить вимогу калібрування ЗВТ через конкретні інтервали або перед використанням за потреби забезпечення достовірності результатів. Згідно із стандартом ISO 10012 [7], методи, що використовуються для визначення чи змінення періодичності метрологічного підтвердження, потрібно зазначати в задокументованих методиках. Цю періодичність потрібно постійно аналізувати. Стандартом ISO/IEC 17025 [8] встановлюється, що ступінь обов'язковості калібрування залежить від внеску невизначеності калібрування у загальну невизначеність випробування. Якщо калібрування є домінуючим фактором, то ЗВТ необхідно калібрувати з метою оцінювання цього впливу. Все це підкреслює важливість такого показника якості ЗВТ як міжкалібрувальний інтервал.

Міжнародна настанова [25] надає лабораторіям настанови щодо методів визначення міжкалібрувальних інтервалів. Настанова визначає та описує доступні та

відомі методи, використовувані для оцінювання міжкалібрувальних інтервалів. Регіональні рекомендації [26] містять методи визначення міжкалібрувальних (міжповірочних) інтервалів, оснований на припущенні про безперервну (з кінцевою випадковою швидкістю) зміну метрологічних характеристик ЗВТ у процесі експлуатації або зберігання. В них визначено критерії встановлення цих інтервалів і алгоритм їх обчислення. У них також надано рекомендації щодо методів розрахунку початкового значення цього інтервалу і методів коригування інтервалу на етапі експлуатації ЗВТ. Слід зазначити, що запропоновані методи розрахунків базуються на використанні показників метрологічної надійності.

Багато факторів впливає на міжкалібрувальний інтервал, серед яких найважливішими є такі [26]:

- категорія ЗВТ і рекомендації виробника;
- необхідна невизначеність вимірювань;
- ризик перевищення границі максимально допустимої похибки ЗВТ під час застосування;
- тенденція до зносу і дрейфу;
- умови експлуатації і навколишнього середовища;
- дані, отримані з попередніх звітів про калібрування;
- частота і якість проміжних перевірок між калібруваннями;
- кваліфікація обслуговуючого персоналу тощо.

Окрім нормативних документів щодо встановлення міжкалібрувальних інтервалів, останнім часом з'явилося багато робіт щодо розрахунку цього інтервалу різними методами. Зокрема в [23], запропоновано методику оцінювання міжкалібрувальних інтервалів ЗВТ на основі показників надійності. Ця методика дає змогу розраховувати такі інтервали шляхом використання як довірчих меж похибок і середньоквадратичне відхилення градуовальної характеристики ЗВТ. В [24] пропонується метод встановлення міжкалібрувальних інтервалів на основі використання даних калібрувань і проміжної перевірки ЗВТ між калібруваннями.

Питання щодо оцінювання показників призначення ЗВТ має багаторічну добре відпрацьовану основу і не потребує додаткового обговорення. При цьому найбільш важливим є їх використання у системі з іншими показниками якості технічних об'єктів, які теж мають добре відпрацьовану основу. Перевагою проведених досліджень є те, що встановлена вся необхідна для повноцінного оцінювання якості ЗВТ система показників.

Запропонована множинна модель показників якості ЗВТ всіх стадій ЖЦ ЗВТ. Значення властивостей якості ЗВТ визначено як функція вимірювання ЕПЯ. Показник якості однієї властивості ЗВТ є ППЯ, а показник якості, який об'єднує кілька ППЯ, є КПЯ. У загальному вигляді вираз (1) встановлює математичну модель оцінювання якості ЗВТ, а загальна структура моделі показників якості ЗВТ наведена на рис. 4.

Запропонована множинна модель оцінювання показників якості ЗВТ, яка дозволяє здійснювати дослідження впливовості показників якості ЗВТ і виконувати їх оцінювання на всіх стадіях ЖЦ ЗВТ. Структура моделі оцінювання показників якості ЖЦ ЗВТ наведена на рис. 5. На певній фазі ЖЦ ЗВТ здійснюється перевірка для множин КПЯ, ППЯ і ЕПЯ для певних процесів моделі пока-

зників якості, а валідація – лише для множини КПЯ процесу випробування ЗВТ після виробництва. У загальному вигляді вираз (8) встановлює множинну модель оцінювання показників якості на стадіях ЖЦ ЗВТ. Розуміння і управління системою оцінювання показників якості ЗВТ сприяє підвищенню ефективності у досягненні запланованих результатів. Для ефективної реалізації цих моделей необхідно використовувати регламентовані вимоги деяких міжнародних і регіональних стандартів і рекомендацій.

Представлені дослідження є першою спробою представити комплексну систему показників якості ЗВТ. Встановлена система показників призначення ЗВТ не є виключною, як і встановлені додаткові для ЗВТ функціональні показники. Подальші дослідження системи показників якості ЗВТ можуть бути розвинені для певних категорій ЗВТ. Це також може бути пов'язане, зокрема, з передбаченими умовами експлуатації ЗВТ.

7. Висновки

1. Доведена доцільність використання спеціальної системи показників якості ЗВТ. Важливими показниками цієї спеціальної системи є низка показників ЗВТ, пов'язаних як функціональними показниками, так і з показниками призначення (метрологічні характеристики). Для ЗВТ доцільне також одночасне використання загальної системи показників якості для технічних об'єктів.

2. Проведене математичне моделювання дозволило розробити множинну модель системи показників якості ЗВТ, яка охоплює всі стадії ЖЦ ЗВТ. До додаткових для загальних технічних систем функціональних показників ЗВТ віднесені метрологічна надійність, метрологічна справність, метрологічна відмова, міжкалібрувальний інтервал. Встановлені для ЗВТ показники призначення є певними метрологічними характеристиками. Це дозволяє здійснювати дослідження впливовості показників якості ЗВТ на усіх стадіях ЖЦ ЗВТ і виконувати управління якістю процесами на всіх цих стадіях.

3. Проведене математичне моделювання дозволило розробити множинну модель оцінювання показників якості ЗВТ, яка охоплює всі стадії ЖЦ ЗВТ. Оцінювання додаткових для загальних технічних систем функціональних показників ЗВТ здійснюється на фазі експлуатації ЖЦ ЗВТ. Оцінювання встановлених для ЗВТ показників призначення здійснюється на фазі проектування ЖЦ ЗВТ, а перевірка цих показників – на фазі виробництва ЖЦ ЗВТ. Це дозволяє здійснювати оцінювання вагомості показників якості ЗВТ і їх складових протягом всього ЖЦ ЗВТ.

Література

1. ISO 9000:2015. Quality management systems. Fundamentals and vocabulary (2015). ISO, 51.
2. Фасхиев, Х. А. (2015). Инновационные механизмы обеспечения конкурентоспособности товаров при разработке. Инновации, 3 (197), 77–88.
3. Кутузова, К. Ю. (2015). Понятие качества продукции и этапы его эволюции. Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования, 1 (6), 106–111.

4. Цветков, В. Я. (2017). Эволюция управления качеством. Образовательные ресурсы и технологии, 1 (18), 64–71. doi: <https://doi.org/10.21777/2312-5500-2017-1-64-71>
5. Лисютина, А. И. (2020). Качество продукции: понятие и характеристики качества. Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 3, 282–285.
6. ISO 9001:2015. Quality management systems. Requirements (2015). ISO, 29.
7. ISO 10012:2003. Measurement management systems. Requirements for measurement processes and measuring equipment (2003). ISO, 19.
8. ISO/IEC 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (2017). ISO/IEC, 30.
9. ISO/IEC Guide 99:2007. International vocabulary of metrology. Basic and general concepts and associated terms (VIM) (2007). ISO/IEC, 92.
10. ISO/IEC Guide 98-3:2008. Uncertainty of measurement. Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995) (2008). ISO/IEC, 120.
11. Соколовський, С. А., Павлов, С. П., Черкашина, М. В., Науменко, М. О., Грабовський, Є. М. (2015). Управління якістю виробництва та обслуговування. Харків: НАНГУ, 264.
12. Білецький, Е. В., Янушкевич, Д. А., Шайхлісламов, З. Р. (2015). Управління якістю продукції та послуг. Харків: ХТЕІ, 222.
13. Yan, S., Yan, X. (2020). Joint monitoring of multiple quality-related indicators in nonlinear processes based on multi-task learning. Measurement, 165, 108158. doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108158>
14. Ravber, M., Mernik, M., Črepinšek, M. (2017). The impact of Quality Indicators on the rating of Multi-objective Evolutionary Algorithms. Applied Soft Computing, 55, 265–275. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.01.038>
15. Скопа, О. О., Волков, С. Л., Грабовський, О. В. (2013). Показники якості та життєві цикли захищених інформаційно-вимірювальних систем. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 15 (1), 192–198.
16. Грабовський, О. В., Наконечна, Т. І., Волков, С. Л. (2012). Показники якості та життєві цикли інформаційно-вимірювальних систем. Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості, 1 (1), 17–23. doi: <https://doi.org/10.32684/2412-5288-2012-1-1-17-23>
17. Velychko, O., Gordiyenko, T., Hrabovskyi, O. (2018). Testing of measurement instrument software on the national level. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (9 (92)), 13–20. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.125994>
18. Velychko, O., Gaman, V., Gordiyenko, T., Hrabovskyi, O. (2019). Testing of measurement instrument software with the purpose of conformity assessment. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (9 (97)), 19–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.154352>

19. Микийчук, М. (2013). Алгоритм оцінювання індивідуальної метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки. *Вимірювальна техніка та метрологія*, 74, 98–103. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/metrolog_2013_74_23
20. Микийчук, М., Лазаренко, Н., Лазаренко, С., Різник, А. (2019). Розвиток системи забезпечення метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки. *Вимірювальна техніка та метрологія*, 80 (3), 53–57. doi: <https://doi.org/10.23939/istcmtm2019.03.053>
21. Бондаренко, С. М., Леус, А. Ю. (2017). Оцінка рівня якості продукції на підприємстві. *Ефективна економіка*, 4.
22. Сакович, Л. М., Криховецький, Г. Я., Небесна, Я. Е. (2018). Оцінка впливу метрологічної надійності засобів вимірювань на час виконання технічного обслуговування засобів спеціального зв'язку. *Системи управління, навігації та зв'язку*, 2 (48), 164–166. doi: <https://doi.org/10.26906/sunz.2018.2.164>
23. Васілевський, О. М., Дідич, В. М. (2018). Оцінювання міжкалібрувальних інтервалів засобів вимірювальної техніки. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, 2, 23–29.
24. Єременко, В., Мокійчук, В., Редько, О. (2017). Метод установлення міжкалібрувальних інтервалів засобів вимірювань випробувальної лабораторії. *Метрологія та прилади*, 5-1 (67), 68–77.
25. ILAC-G24/OIML D10:2007. Guidelines for the determination of calibration intervals of measuring instruments. ILAC/OIML, 11.
26. РМГ 74-2004. Государственная система обеспечения единства измерений. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений (2006). Москва. URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293853/4293853594.htm>