

## Моделювання процесного підходу до життєвого циклу засобів вимірювальної техніки

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

*Проблеми підвищення надійності та конкурентоспроможності виробів у всіх галузях національної економіки можливі лише на основі отримання повної і достовірної вимірювальної інформації. Цьому сприяють сучасні засоби вимірювальної техніки (ЗВТ), які є складними апаратно-програмними системами. Актуальність дослідження зумовлена тим, що сучасні ЗВТ потребують ефективного оцінювання їх якості на всіх стадіях життєвого циклу (ЖЦ). Для цього необхідне розроблення відповідних методів оцінювання як на етапі виробництва, так і на етапі експлуатації ЗВТ.*

*Доведена доцільність використання процесного підходу до стадій ЖЦ ЗВТ і його переваги перед функціональним підходом. Процесний підхід дозволяє більш ефективно здійснювати оцінювання показників якості ЗВТ на різних стадіях ЖЦ і є сумісним з побудовою сучасних систем управління якістю.*

*Проведене математичне моделювання, розроблено множинну процесну модель ЖЦ ЗВТ і здійснено її представлення у вигляді процесної V-моделі. Це дозволяє здійснювати дослідження взаємодії процесів всіх стадій ЖЦ ЗВТ і виконувати управління якістю процесами на всіх стадіях ЖЦ ЗВТ.*

*Проведене математичне моделювання, розроблено множинну процесну модель оцінювання показників якості стадій ЖЦ ЗВТ і здійснено її представлення у вигляді процесної V-моделі. Це дозволяє здійснювати оцінювання показників якості ЗВТ і його складових протягом всього ЖЦ ЗВТ.*

*Сформульовані рекомендації для використання вимоги міжнародних стандартів, зокрема щодо планування управління проектами, процесів вимірювання, вимог до систем протягом усього ЖЦ ЗВТ, аналізу і управління ризиками на стадіях ЖЦ. Це має сприяти підвищенню ефективності у досягненні запланованих результатів на всіх стадіях ЖЦ ЗВТ.*

*Ключові слова: процесний підхід, життєвий цикл, система якості, засіб вимірювальної техніки, множинна модель.*

### 1. Вступ

Життєвим циклом (ЖЦ) продукції (product lifecycle) є сукупність взаємопов'язаних процесів послідовної зміни стану продукції від початку дослідження та обґрунтування розроблення, до припинення експлуатації продукції. Повний ЖЦ продукції поділяється на низку стадій, кожна з яких характеризується специфікою робіт і кінцевими результатами. Узагальнено до таких стадій можна віднести: дослідження, проектування і розробку продукції; виготовлення продукції; обіг продукції; споживання (експлуатація) та утилізація продукції. Кожна з цих стадій містить низку елементів, які мають свою специфіку. Так, наприклад, така важлива

стадія як виготовлення продукції починається технологічною підготовкою виробництва і матеріально-технічним постачанням, а закінчується приймальним контролем і проведенням випробувань готової продукції [1–4].

Модель типового ЖЦ системи була рекомендована в першій версії міжнародного стандарту ISO/IEC/IEEE 15288 і включала такі послідовні стадії: задум; розробка; виробництво; експлуатація/підтримка; виведення з експлуатації (утилізація). У наступних версіях цього стандарту [5] типова модель була вилучена, однак при цьому типові стадії ЖЦ залишились з посиланням на міжнародний стандарт ISO 24748-1 [6]. При цьому зазначалось, що стандарт не приписує застосування якоїсь моделі ЖЦ системи, а лише визначає множину процесів життєвого циклу. В стандарті ISO 24748-2 [7] подано настанови для застосування стандарту ISO/IEC/IEEE 15288.

У відповідності до міжнародного стандарту ISO 24774 [8], прийнята модель ЖЦ системи повинна забезпечити формальний опис еволюції штучного об'єкта як розвиток в часі від однієї стадії до іншої. Перехід між стадіями повинен здійснюватися за контрольними точками на основі прийнятих процедур і критеріїв прийняття рішень. Така модель повинна забезпечити реалізацію ЖЦ системи і його управління, тобто планування і синхронізацію різних станів системи. Створення системи і управління її розвитком здійснюється в рамках одного або декількох проектів – зусиль з певними датами початку і закінчення відповідно до заданих вимог і ресурсів [5]. При виконанні, проект розподіляють на етапи, кожен з яких може містити одну або кілька стадій або їх частин як множину процесів ЖЦ системи.

Процесний підхід до ефективного проведення робіт має у своїй основі відомий цикл Шухарта-Демінга. Відповідно до цієї моделі процес безперервного контролю якості продукції має циклічний характер і включає в себе, як вже зазначалося раніше, планування (Plan – P), реалізацію (Do – D), перевірку (Check – C), дію (Action – A), тобто так званий цикл PDCA.

У цьому циклі стадії управління якістю продукції мають такі основні чотири кроки:

- розробка плану змін, спрямованих на поліпшення якості продукції;
- створення/поліпшення продукту, лабораторна його перевірка і виведення на ринок у малих масштабах;
- перевірка ефективності зробленого, вивчення результатів, порівняння запланованих результатів з фактичними;
- адаптація і впровадження перевірених змін, а також відмова від змін, які не пройшли перевірку.

Останній крок веде до нового першого кроку і цикл починається знову.

Процесний підхід як цикл PDCA використовується у сучасних системах управління якістю (СУЯ) підприємств і організацій згідно з вимогами міжнародних стандартів ISO серії 9000. Принцип процесного підходу в системі є одним із основних інструментів створення СУЯ. Концепція процесного підходу, встановлена у стандартах ISO серії 9000, не має чітких рекомендацій щодо його застосування у практичній діяльності організації. Стандарт ISO 9000 [9] розглядає процес як сукупність взаємопов'язаних або взаємодіючих етапів робіт. Не

існує стандартного переліку процесів, тому їх склад і структуру обирають, виходячи із специфіки виробництва продукції. Згідно зі стандартом ISO 9001 [10] здійснюють класифікацію процесів на дві категорії: основні процеси або процеси ЖЦ продукції і допоміжні процеси. Основні процеси безпосередньо спрямовані на створення продукції, а допоміжні процеси об'єднують забезпечувальні процеси та процеси управління. Результати основних процесів безпосередньо впливають на якість кінцевої продукції.

Сучасне законодавство з питань метрології та метрологічної діяльності передових країн світу передбачає проведення оцінки відповідності ЗВТ. Директива 2014/32/ЄС [11] регламентує суттєві вимоги до ЗВТ і процедури оцінки відповідності ЗВТ. Директива також встановлює вимоги до виробників ЗВТ, призначених органів з оцінки відповідності та державного ринкового нагляду і контролю ЗВТ. Оцінювання відповідності ЗВТ за вимогами цієї Директиви здійснюється за спеціально встановленими модулями чи їх комбінаціями. Традиційні випробування ЗВТ з метою перевірки типу ЗВТ тепер є лише початковим етапом оцінювання відповідності (модуль В).

Введення в обіг ЗВТ на ринку стало неможливим без проведення додаткових етапів оцінювання відповідності ЗВТ. Одним з таких етапів є встановлення відповідності типу (після завершення модулю В) за результатами перевірки кожного зразка ЗВТ (модуль F). Іншим етапом може бути забезпечення якості виробничого процесу ЗВТ (модуль D) для тих ЗВТ, для яких завершено модуль В. Цей етап потребує схвалення СУЯ для виробництва, здійснення контролю готової продукції та проведення випробувань. Ще одним з можливих етапів оцінювання відповідності ЗВТ може бути відповідність на основі цілковитого забезпечення якості (модуль H). Останній етап потребує застосування схваленої СУЯ також і для проектування ЗВТ. При встановленні відповідності ЗВТ всім вимогам Директиви на ЗВТ наноситься знак відповідності та додаткове метрологічне маркування.

Стає зрозумілим, що без схваленої СУЯ виробника, ЗВТ стають неконкурентоздатними на ринку. Це потребує зусиль виробника зі створення СУЯ і забезпечення її схвалення одним із призначених органів з оцінки відповідності ЗВТ. Найкращим варіантом для виробника ЗВТ є схвалення СУЯ і для стадії проектування ЗВТ, тобто СУЯ охоплює всі стадії ЖЦ ЗВТ.

Проблеми підвищення надійності та конкурентоспроможності виробів у всіх галузях національної економіки можливе лише на основі отримання повної і достовірної вимірювальної інформації. Цьому сприяють сучасні засоби вимірювальної техніки (ЗВТ), які є складними апаратно-програмними системами. Актуальність дослідження зумовлена тим, що сучасні ЗВТ потребують ефективного оцінювання їх якості на всіх стадіях ЖЦ. Для цього необхідне розроблення відповідних методів як на етапі виробництва, так і на етапі експлуатації ЗВТ.

## **2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми**

Існує велика різноманітність сучасних ЗВТ з точки зору їх призначення, сфери застосування, складності реалізації, тривалості ЖЦ тощо. Однак всі вони

є складними апаратно-програмними системами переважно із застосуванням сучасного програмного забезпечення (ПЗ).

Для ПЗ створено низку типових схем упорядкування стадій з проектування і розроблення ПЗ, які є прикладами ЖЦ ПЗ. Вони узагальнені в міжнародному стандарті ISO/IEC/IEEE 12207 [12]. Однак зазначені схеми призначені для ЖЦ ПЗ і потребують додаткового аналізу можливості застосування до інших видів продукції. В стандарті ISO 24748-3 [13] подано настанови для застосування стандарту ISO/IEC/IEEE 12207.

В [14] розглянуто застосування процесного підходу в менеджменті проєктів в одній із компаній, що займається питаннями інформаційних технологій, які теж обмежені питаннями ПЗ. В [15, 16] запропоновано спеціальні підходи до стадії випробування ПЗ ЗВТ як однієї із стадій ЖЦ ПЗ ЗВТ, однак їх не можна розповсюдити на весь ЗВТ.

В [17] лише узагальнено розглянуті питання системної інженерії у сфері управління якістю підприємства і встановлені відмінності та подібності міжнародних стандартів ISO/IEC 15288 і ISO 9001. В [18] представлений процесно-функціональний підхід у системі управління сучасного телекомунікаційного підприємства. В [19] наведено процесний підхід в енергетичному менеджменті. Ці підходи не можуть бути прямо застосовані для підприємств, які виготовляють ЗВТ, так як існує низка додаткових питань щодо особливостей випробувань ЗВТ.

В [20] розглянуті питання застосування процесної V-моделі для управління проєктами інформаційних систем, в [21] – оцінювання якості штучного об'єкту, в [22] – оцінювання якості ПЗ, в [23] – розробки самоорганізованих виробничих систем. В [24] проаналізовано існуючі V-моделі з різними інтерпретаціями та індивідуальними підходами у трьох різних галузях промисловості за різними етапами від розробки до загального ЖЦ. Розглянуті V-моделі базовані на комплексній моделі для інженерних мехатронних та кіберфізичних систем, описаній у Настанові Німецької асоціації інженерів VDI 2206:2004 [25]. Проведено порівняння різних інтерпретацій V-моделі за характерними властивостями для аналізу відмінностей.

В [26–28] встановлені потенціали для мехатронної V-моделі, на основі яких виведена, пояснена та проілюстрована нова базова V-модель. Таку модель можна брати за основу для побудови специфічної галузевої V-моделі. В [29] здійснено порівняння підходів системного проектування на основі V-моделі. Визначено, що головними перевагами V-моделі з розширеними крилами є можливість проілюструвати представлення всього ЖЦ. Тому застосування процесної V-моделі для оцінювання якості певного об'єкта вбачається доцільним, однак необхідно провести аналіз особливостей її застосування для оцінювання якості ЗВТ.

Проведений аналіз показав доцільність застосування процесного підходу на всіх стадіях ЖЦ ЗВТ із застосуванням процесної V-моделі.

### **3. Мета і завдання дослідження**

Метою дослідження є запровадження процесного підходу до управління ЖЦ ЗВТ за допомогою математичного моделювання ЖЦ ЗВТ як складної сис-

теми. Це дасть можливість визначити конкретні стадії для ЖЦ ЗВТ і встановити відповідні методи оцінювання якості на кожній з них.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

– дослідити можливості та особливості застосування процесного підходу до ЖЦ ЗВТ;

– провести математичне моделювання з метою встановлення процесної моделі ЖЦ ЗВТ;

– провести математичне моделювання з метою встановлення процесної моделі показників якості стадій ЖЦ ЗВТ.

#### 4. Матеріали та методи дослідження процесного підходу до управління життєвим циклом засобів виміральної техніки

З позиції процесного підходу управління певними роботами розглядається як безперервний процес, як серія безперервних взаємопов'язаних дій. Сутність цього підходу полягає в тому, що роботи щодо конкретної продукції розділені на певні процеси. Вся організаційна система представляється у вигляді циклу процесів (процедур, дій). При процесному підході чотири базові функції (планування, організація, мотивація і контроль) подаються як цикл взаємопов'язаних об'єктів, а не як проста сукупність послідовних дій як при функціональному підході (рис. 1).

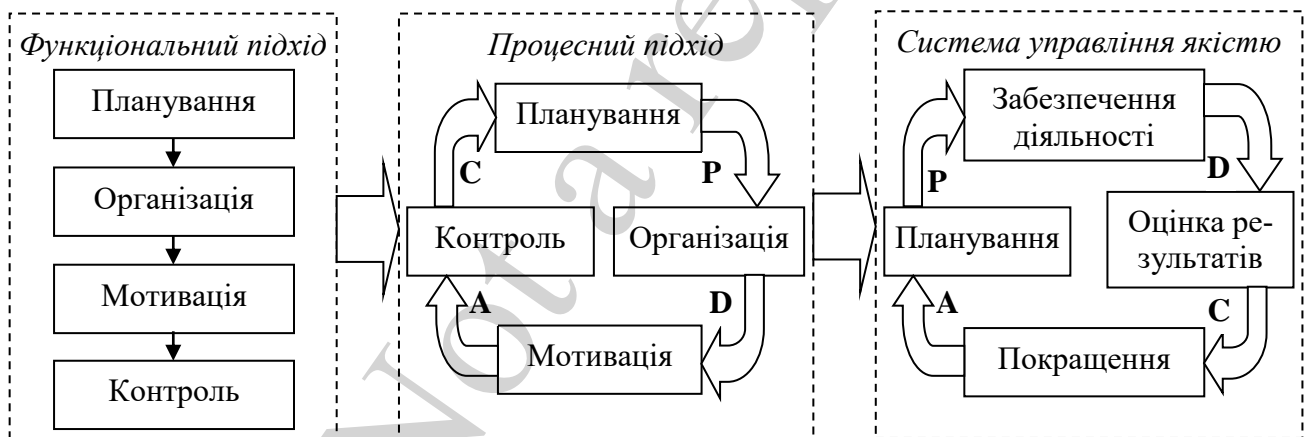


Рис. 1. Основні етапи еволюції організаційної системи управління

На рис. 1 наведено основні етапи еволюції організаційної системи управління певними роботами від застосування функціонального підходу до процесного підходу та його реалізації у СУЯ.

При функціональному підході до управління роботами передбачається, що максимальна результативність робіт досягається тоді, коли кожен її елемент працює з максимальною продуктивністю. Функціональна спеціалізація, як правило, забезпечує високу якість виконання окремих робіт. Однак це вимагає постійної координації та жорсткого контролю діяльності виконавців робіт, цілі яких можуть не збігатися. При процесному підході вся діяльність націлюється на отримання кінцевого результату і сприймається виконавцями робіт як ланцюг взаємопов'язаних процесів, що забезпечують досягнення загальної мети.

При цьому підході ставиться завдання виявлення рівня допустимої (не максимальної) результативності певної функції для досягнення максимальної сукупності результативності у цілому.

Різниця між функціональним і процесним підходами до управління роботами наведена у табл. 1.

Таблиця 1

Особливості функціонального і процесного підходів до управління роботами

Функціональний підхід	Процесний підхід (система якості)
Діяльність з управління роботами – проста сукупність закріплених функцій щодо виконання робіт	Діяльність з управління роботами – цикл взаємопов'язаних процесів, завершення одного з яких є початком іншого
Вузька спеціалізація щодо робіт забезпечує високу якість їх виконання, однак обмежує бачення виконавців робіт за межами цієї спеціалізації	Виконавці сприймають свою роботу як частину загального процесу і пов'язують свій внесок із отриманими загальними результатами
Кожен виконавець обмежується власними інтересами і цілями, що породжує певні конфлікти інтересів і конфлікти щодо бюджетів робіт	Всі виконавці пов'язані з ланцюгом взаємопов'язаних елементів, в якій результат одного процесу є певним ресурсом для наступного
Цілі різних виконавців можуть не збігатися, що вимагає постійної координації та жорсткого контролю щодо виконання певних етапів робіт	Всі виконавці робіт орієнтовані на кінцевий результат процесу і поліпшення своєї роботи, так як є усвідомлення взаємної залежності один від одного
Орієнтація управління роботами на структуру і функції щодо виконання окремих робіт	Орієнтація на управління кожним процесом окремо і всіма процесами виконання робіт у цілому

Типовими фазами (стадіями) ЖЦ продукції можна вважати такі:

- 1 – маркетинг, пошук і вивчення ринку;
- 2 – розробка і проектування продукції;
- 3 – підготовка і розробка виробничих процесів;
- 4 – матеріально-технічне забезпечення;
- 5 – виробництво продукції;
- 6 – контроль і проведення випробувань;
- 7 – пакування і зберігання;
- 8 – реалізація і розподілення;
- 9 – монтаж і введення у дію;
- 10 – технічна допомога і обслуговування;
- 11 – післяпродажна діяльність;
- 12 – утилізація після використання.

Відома спіраль якості Джурана наочно відображає процесний (ступінчастий) підхід до управління якістю. У цій моделі здійснено перехід від циклічних концепцій до тривимірних просторових моделей. В них враховується фактор часу і вказується на те, що з плином часу повтори циклу відбуваються вже на

іншому, більш високому рівні. Одна з різновидів цієї тримірної спіралі має такі стадії для продукції [30]:

- 1 – дослідження ринку;
- 2 – розробка проектного завдання;
- 3 – проектні роботи;
- 4 – складання технічних умов;
- 5 – розроблення технології та підготовка виробництва;
- 6 – матеріально-технічне постачання;
- 7 – виготовлення інструментів і укомплектування контрольно-вимірювальними засобами;
- 8 – виробництво;
- 9 – контроль процесу виробництва;
- 10 – контроль готової продукції;
- 11 – випробування робочих характеристик продукції;
- 12 – збут;
- 13 – технічне обслуговування;
- 14 – дослідження ринку для наступного етапу і т. д.

## **5. Результати математичного моделювання життєвого циклу засобу вимірювальної техніки**

### **5.1. Дослідження можливості та особливостей застосування процесного підходу до життєвого циклу засобу вимірювальної техніки**

Однією з найбільш використовуваних моделей ЖЦ системи є V-модель, яка є варіантом каскадної моделі ЖЦ, перегнутої в точці переходу від стадій визначення (розробки) системи до стадій реалізації системи. Детальний опис V-моделі подано в [20], на основі аналізу якого можна визначити основний принцип моделі:

- декомпозиція стадій ЖЦ на окремі фази, які складаються з сукупності процесів ЖЦ;
- формування вимог до застосованих процесів;
- інтеграція і оцінка системного розвитку при русі зліва направо від стадій розробки до стадій реалізації системи;
- взаємодія між процесами стадій розробки і реалізації системи.

Останнє забезпечується наявністю зворотного зв'язку між фазами низхідною і висхідною сторін букви, що дає можливість оцінити коректність вимог і їх реалізацію по кожному з процесів ЖЦ продукції. Ця модель може бути деталізована до семирівневої моделі (система, підсистема, вузол, елемент, монтаж, компонент, частина). Розвитком V-моделі стала подвійна V-модель, що дозволяє виконувати розробку, супровід експлуатацію та модернізацію, тобто управління ЖЦ систем, що мають складну ієрархічну структуру [20].

На рис. 2 наведена узагальнена V-модель проектування і реалізації продукції, зокрема ЗВТ. Стадії цієї моделі мають загальне застосування для будь якої продукції для фаз проектування і реалізації.

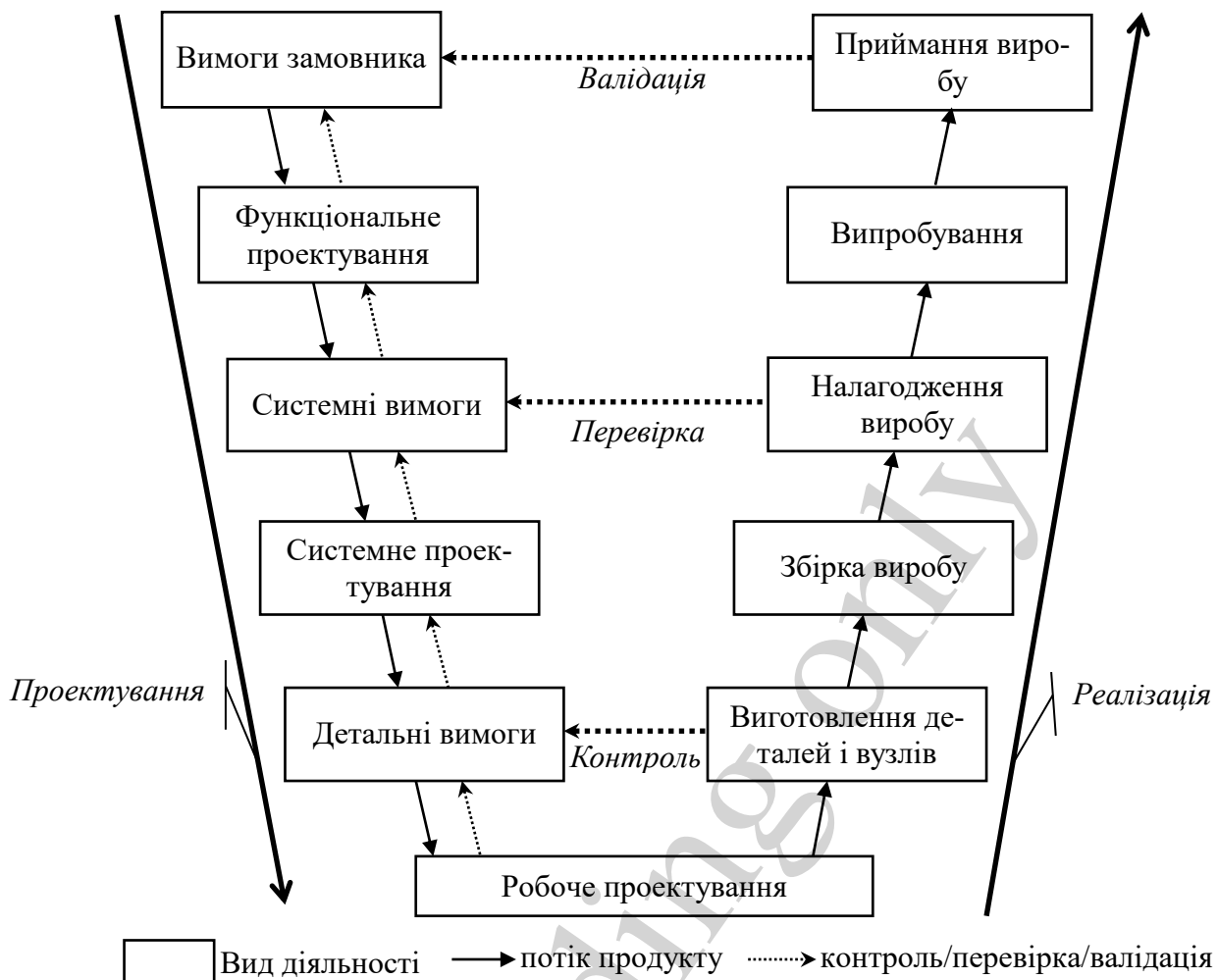


Рис. 2. Узагальнена V-модель проектування і реалізації продукції

Низхідна фаза V-моделі стосується проектування продукції, а висхідна фаза – реалізації продукції. На певних етапах реалізації V-моделі здійснюється чи контроль, чи перевірка, чи валідація для забезпечення оцінки коректності вимог і їх реалізацій по кожному з етапів ЖЦ продукції.

## 5. 2. Математична процесна модель життєвого циклу засобу вимірювальної техніки

Складна система, до якої можна віднести сучасні ЗВТ, з урахуванням [31] має ієрархічну структуру і математично може бути наведена у загальному вигляді:

$$S_{MI} = \left\{ \bigcup S_{AS} \left\{ \bigcup SS_{AS} \left\{ \bigcup FE_{LL} \right\} \right\} \right\}, \quad (1)$$

де  $S_{AS}$  – множина апаратно-програмних вузлів ЗВТ ( $\forall S_{AS} \subset S_{MI}$ );

$SS_{AS}$  – множина підсистеми апаратно-програмних вузлів ЗВТ ( $\forall SS_{AS} \subset S_{AS}$ );



$FE_{LL}$  – множина функціональних елементів нижнього рівня відповідної підсистеми ( $\forall FE_{LL} \subset SS_{AS}$ ).

Переходячи до множини ЖЦ ЗВТ отримуємо такий вираз:

$$\begin{aligned} LC_{S_{MI}} &= \left\{ \bigcup LC_{S_{AS}} \left\{ \bigcup LC_{SS_{AS}} \left\{ \bigcup LC_{FE_{LL}} \right\} \right\} \right\} = \\ &= \left\{ \bigcup_{a=1} LC_a \left\{ \bigcup_{b=1}^c LC_{ab} \left\{ \bigcup_{d=1}^e LC_{abd} \right\} \right\} \right\}, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $LC_{S_{AS}}$  – множина ЖЦ апаратно-програмних вузлів ЗВТ ( $\forall (LC_{S_{AS}} := LC_a) \subset LC_{S_{MI}}$ );

$LC_{SS_{AS}}$  – множина підсистеми ЖЦ ЗВТ ( $\forall (LC_{SS_{AS}} := LC_{ab}) \subset LC_{S_{AS}}$ );

$LC_{FE_{LL}}$  – множина елементів нижнього рівня ЖЦ ЗВТ ( $\forall (LC_{FE_{LL}} := LC_{abd}) \subset LC_{SS_{AS}}$ );

$a, b, d$  – індекси системи, підсистеми та елемента нижнього рівня відповідно.

ЖЦ ЗВТ складових кожного ієрархічного рівня системи складається з окремих фаз, кожна з яких є сукупністю процесів ЖЦ ЗВТ. Вираз (2) може бути представлений у наступному вигляді:

$$LC_{S_{MI}} = \left\{ \bigcup_{a=1} \left\{ \bigcup_{k=1}^{\gamma} PhLC_{ak} \left\{ \bigcup_{b=1}^c \left\{ \bigcup_{l=1}^{\lambda} PhLC_{akbl} \left\{ \bigcup_{d=1}^e \left\{ \bigcup_{m=1}^{\xi} PhLC_{akblm} \right\} \right\} \right\} \right\} \right\} \right\}, \quad (3)$$

де  $PhLC_{ak}$ ,  $PhLC_{akbl}$ ,  $PhLC_{akblm}$  – множини фаз ЖЦ ЗВТ ( $(\forall PhLC_{akbl} \subset LC_{ak}), (\forall PhLC_{akblm} \subset LC_{akbl})$ );

$k, l, m$  – індекси фаз у відповідному ЖЦ ЗВТ.

Кожний з процесів, з яких складаються фази ЖЦ ЗВТ, мають свій власний ЖЦ  $LC_{Pr}$ . Це дозволяє виділити їх ЖЦ в окремі рівні, особливістю яких є приналежність його складових окремо до кожної із фаз ( $LC_{Pr} \subset PhLC$ ). Зважаючи на це вираз (3) може бути представлений у вигляді:

$$\begin{aligned}
LC_{S_M} &= \left\{ \bigcup_{a=1}^{\gamma} \left\{ \bigcup_{k=1}^j LC_{aki} \right\} \right\}, \left\{ \bigcup_{b=1}^c \left\{ \bigcup_{l=1}^{\lambda} \left\{ \bigcup_{i=1}^j LC_{akbli} \right\} \right\} \right\}, \left\{ \bigcup_{d=1}^e \left\{ \bigcup_{m=1}^{\xi} \left\{ \bigcup_{i=1}^j LC_{akblmdi} \right\} \right\} \right\} \right\} = \\
&= \left\{ \bigcup_{a=1}^{\gamma} \left\{ \bigcup_{k=1}^j \left\{ \bigcup_{r=1}^s PrLC_{akir} \right\} \right\} \right\} = \\
&= \left\{ \bigcup_{a=1}^{\gamma} \left\{ \bigcup_{k=1}^j \left\{ \bigcup_{b=1}^c \left\{ \bigcup_{l=1}^{\lambda} \left\{ \bigcup_{d=1}^e \left\{ \bigcup_{m=1}^{\xi} \left\{ \bigcup_{i=1}^j \left\{ \bigcup_{r=1}^s PrLC_{akblmir} \right\} \right\} \right\} \right\} \right\} \right\} \right\} \right\} \right\} =
\end{aligned} \tag{4}$$

де  $LC_{aki}$ ,  $LC_{akbli}$ ,  $LC_{akblmdi}$  – множини процесу ЖЦ ЗВТ ( $(\forall LC_{akbli} \subset LC_{aki}), (\forall LC_{akblmdi} \subset LC_{akbli})$ );

$PhLC_{akir}$ ,  $PhLC_{akblir}$ ,  $PhLC_{akblmir}$  – множини фаз ЖЦ ЗВТ відповідних процесів ( $(\forall PhLC_{akbl} \subset LC_{ak}), (\forall PhLC_{akblm} \subset LC_{akbl})$ );

$i=1, 2, \dots, j$  – індекси процесу ЖЦ ЗВТ;

$r=1, 2, \dots, s$  – індекси фази у процесі ЖЦ ЗВТ.

Декомпозиція множинної процесної моделі ЖЦ ЗВТ, побудованої у відповідності до виразів (2)–(4) у вигляді V-моделі, показана на рис. 3.

Особлива увага у цій процесній V-моделі приділена фазам проектування (перша – низхідна фаза) і виробництва (друга – висхідна фаза) ЗВТ. На фазі проектування до процесів задуму ЗВТ віднесені 1 і 2 стадії, до процесів розробки – 3 і 4 стадії. На фазі виробництва до процесів виробництва віднесені 6–10 стадії, процесів оцінювання якості – 11 і 12 стадії.

Окремо на фазі експлуатації та утилізації ЗВТ (третя фаза) можуть розглядатися відповідні процеси, до яких можна віднести етапи:

- збут чи реалізація і розподілення;
- монтаж (за необхідності) і введення у дію;
- технічна допомога і обслуговування;
- утилізація після використання.

На відміну від класичного представлення (рис. 2) ця V-модель включає додаткову фазу експлуатації, що відповідають стадіям експлуатації ієрархічних рівнів. Така модифікація усуває недосконалість класичної V-моделі, яка закінчується прийняттям системи в експлуатацію, і не дає можливості дослідження взаємодії процесів всіх стадій ЖЦ.

На відміну від інших технічних об'єктів, для ЗВТ стадії 11 і 12 мають свої особливості. Так, на стадії 11 здійснюються випробування ЗВТ з метою перевірки типу ЗВТ із залученням призначеного органу оцінки відповідності ЗВТ. Ча-

стиною цих випробувань є встановлення метрологічних характеристик ЗВТ. На стадії 12 здійснюється встановлення відповідності типу за результатами перевірки кожного зразка ЗВТ із залученням призначеного органу оцінки відповідності ЗВТ. На цій стадії також може бути встановлення відповідності типу ЗВТ в рамках схваленої СУЯ для виробництва, здійснення контролю готової продукції та проведення випробувань.

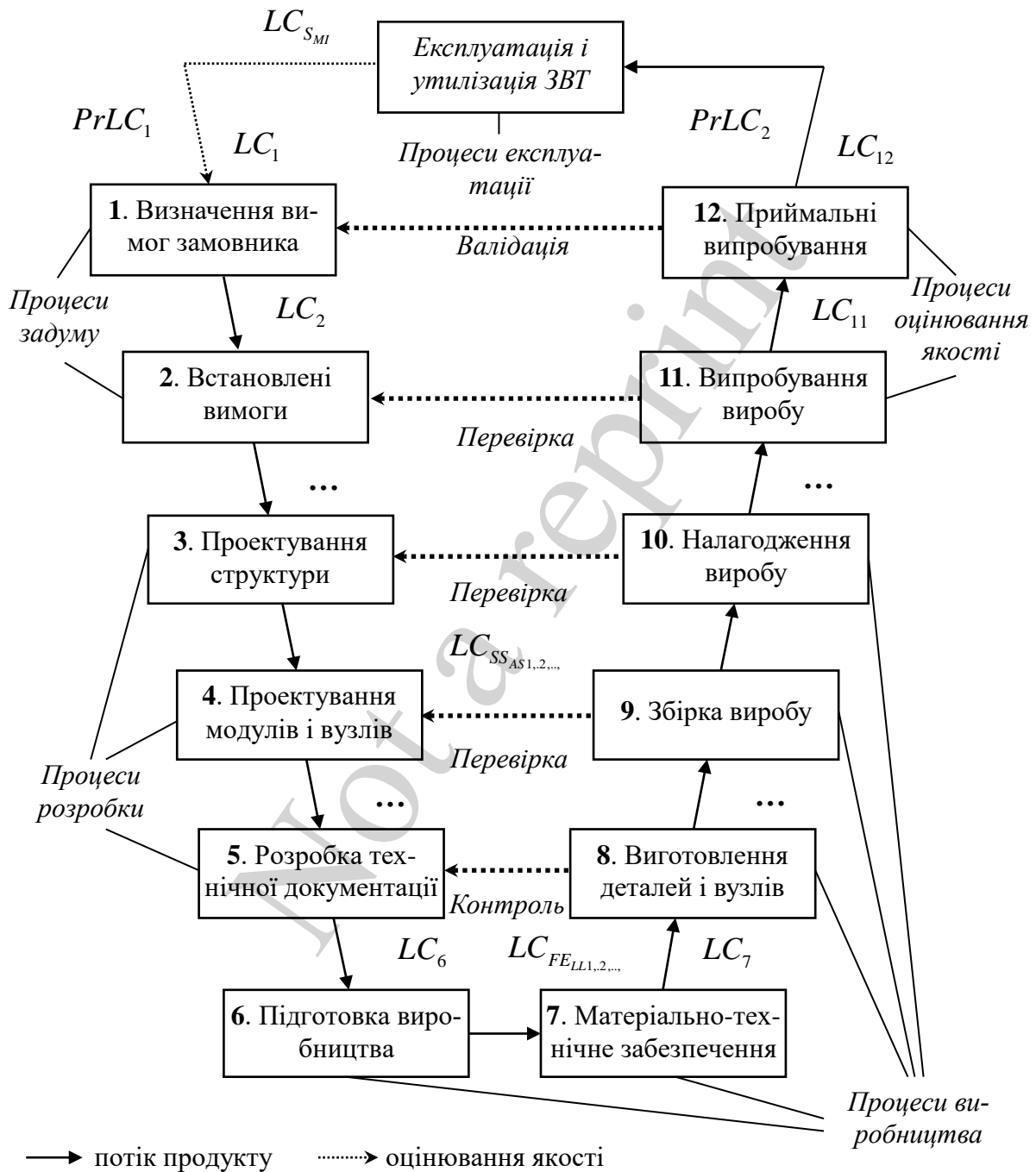


Рис. 3. Процесна V-модель ЖЦ ЗВТ

Для розглянутої моделі ЖЦ ЗВТ можливе встановлення додаткових зв'язків між фазами проектування і виробництва. Це можливо і для стадій 3–5

за умови встановлення відповідності на основі цілковитого забезпечення якості за умови схвалення СУЯ також і для проектування ЗВТ.

Фаза експлуатації та утилізації ЗВТ можлива лише у випадку завершення всіх етапів оцінювання відповідності ЗВТ. Введення в обіг ЗВТ на ринку неможливе без встановлення відповідності ЗВТ всім встановленим вимогам і нанесення знаку відповідності та додаткового метрологічного маркування.

### **5.3. Множинна процесна модель показників якості етапів життєвого циклу засобу вимірювальної техніки**

У стандартах ISO серії 9000 зазначається, що якщо продукція створюється з використанням певним чином організованих процесів виробництва, то за результатами виконання цих процесів продукція буде відповідати всім встановленим замовником вимогам. Тобто, замість оцінювання якості кінцевого продукту стандарт реалізує підхід, при якому вивчаються і оцінюються процеси його створення. Модель якості технічних систем, до яких відноситься і ЗВТ, і ПЗ, представлена у міжнародних стандартах ISO/IEC серії 25000 [32–36]. Цим стандартом встановлені вимоги до менеджменту якості, моделі якості, вимірювання якості, вимоги до якості та оцінювання якості.

Стандарт ISO/IEC 25010 [32] визначає дві моделі якості: модель якості при використанні людино-машинної системи і модель якості продукту як апаратно-програмної системи. Друга модель якості найбільше підходить до системно-орієнтованих ЗВТ як апаратно-програмних систем. Ця модель має такі характеристики: функціональна придатність; надійність; рівень продуктивності; зручність використання; захищеність; сумісність; супроводжуваність; мобільність. Ці характеристики містять статичні (показники внутрішньої якості) і динамічні (показники зовнішньої якості) властивості складових системи.

На рис. 4 наведена схема взаємодії елементів моделі якості на етапах ЖЦ ЗВТ з урахуванням вимог стандарту ISO/IEC 25010 [32]. У цьому випадку при перевірці ЗВТ застосовується модель внутрішньої якості (перевірка модулів і компонентів ЗВТ), при затвердженні – модель зовнішньої якості (випробування ЗВТ), при експлуатації – модель якості при експлуатації та модель зовнішньої якості (реальна робота, випробування, калібрування ЗВТ).

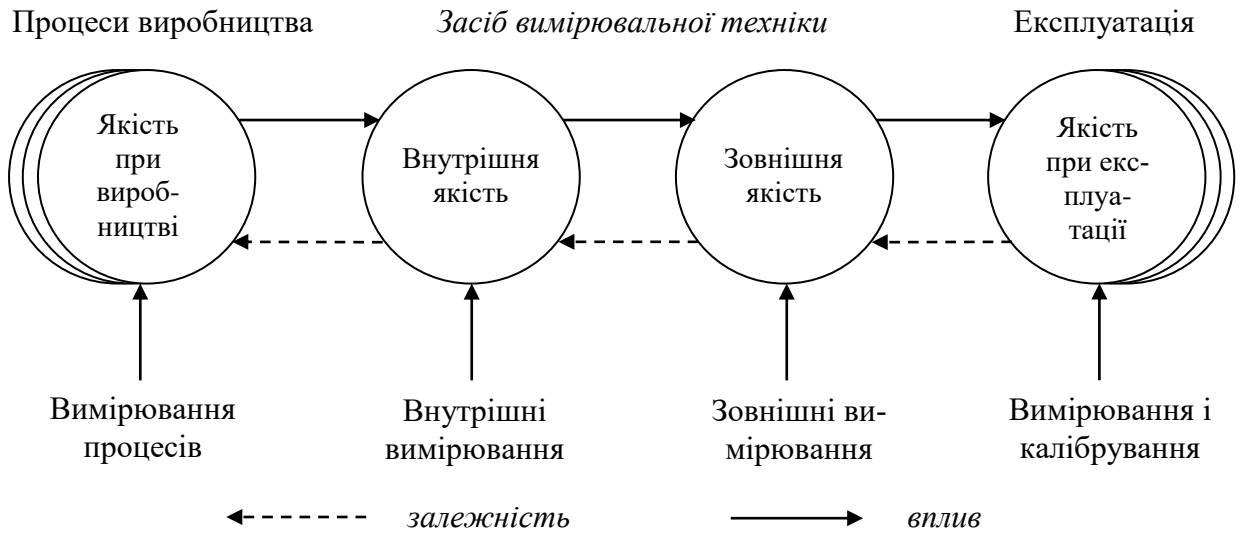


Рис. 4. Схема взаємодії елементів моделі якості на етапах ЖЦ ЗВТ

Використовуючи вирази (1)–(4) та дослідження [37] можна отримати вираз для множини показників якості ЖЦ ЗВТ:

$$\begin{aligned}
 LCQ_{S_{MI}} &= \left\{ \bigcup_{S_{AS}} LCQ_{S_{AS}} \left\{ \begin{array}{l} \bigcup LCQ_{Pr}, \\ \bigcup LCQ_{SS_{AS}}, \\ \bigcup LCQ_{Pr}, \\ \left\{ \bigcup LCQ_{FE_{LL}} \left\{ \bigcup LCQ_{PrFE} \right\} \right\} \end{array} \right\} \right\} = \\
 &= \left\{ \bigcup_{a=1} \left\{ \bigcup_{k=1}^{\gamma} \left\{ \bigcup_{b=1}^c \left\{ \bigcup_{l=1}^{\lambda} \left\{ \bigcup_{d=1}^e \left\{ \bigcup_{m=1}^{\xi} \left\{ \bigcup_{i=1}^j \left\{ \bigcup_{r=1}^s PrLCQ_{akir} \right\} \right\} \right\} \right\} \right\} \right\} \right\} \right\} \left\{ VerQ_{ak} \right\}, \left\{ ValQ_{ak} \right\}, \right. \\
 &\quad \left. \left\{ VerQ_{akbl} \right\}, \left\{ ValQ_{akbl} \right\}, \left\{ \bigcup_{i=1}^j \left\{ \bigcup_{r=1}^s PrLCQ_{akblir} \right\} \right\}, \left\{ VerQ_{akblm} \right\}, \right. \\
 &\quad \left. \left\{ ValQ_{akblm} \right\}, \left\{ \bigcup_{i=1}^j \left\{ \bigcup_{r=1}^s PrLCQ_{akblmir} \right\} \right\} \right\} \right\}, \tag{5}
 \end{aligned}$$

де  $LCQ_{S_{AS}}$ ,  $PrLCQ$  – множини показників якості ЖЦ апаратно-програмних вузлів ЗВТ і фази процесу відповідно з необхідними індексами;

$LCQ_{SS_{AS}}, LCQ_{FE_{LL}}, LCQ_{PrFE}$  – множини показників якості ЖЦ підсистеми апаратно-програмних вузлів, функціональних елементів нижнього рівня і процесів відповідно з необхідними індексами;

$VerQ, ValQ$  – якість перевірки (верифікації) і якість затвердження (валідації) фази відповідно з необхідними індексами;

Множинне представлення процесної V-моделі показників якості ЖЦ ЗВТ з урахуванням виразу (5) може бути представлено наступним чином:

$$LCQ_a = \left\{ \bigcup_b \left\{ \bigcup_c \left\{ \bigcup_d PrLCQ_{abcd} \right\}, \left\{ VerQ_{ab}, ValQ_{ab} \right\}, \left\{ LCQ_{ab_{g+1}} \right\} \right\} \right\}, \quad (6)$$

де  $a$  – індекс системи (ЗВТ) відповідного рівня в процесній подвійній V-моделі показників якості ЖЦ ЗВТ;

$b, c, d, g$  – індекси фази ЖЦ ЗВТ, процесу фази ЖЦ ЗВТ, фази процесу, рівня відповідно.

Оскільки рівень процесів є об'єктом нижнього рівня, то вираз (6) набуде наступного виду:

$$LCQ_{Pr} = \bigcup_b \{ PrLCQ_b \}, \quad (7)$$

де  $b$  – індекс фази процесу.

Множинне представлення узагальненої процесної V-моделі показників якості ЖЦ ЗВТ з довільною кількістю рівнів з урахуванням виразів (5) і (6) набуде вигляду:

$$LCQ_{S_M} = \left\{ \bigcup_{a=1}^a \left\{ \bigcup_{g=1}^g \left\{ \bigcup_b \left\{ \bigcup_c \left\{ \bigcup_d PrLCQ_{abcd} \right\}, \left\{ VerQ_{ab}, ValQ_{ab} \right\}, \dots, \left\{ \bigcup_{a=|g|}^a \left\{ \bigcup_b \left\{ \bigcup_c \left\{ \bigcup_d PrLCQ_{abcd} \right\}, \left\{ VerQ_{ab}, ValQ_{ab} \right\} \right\} \right\} \right\} \right\} \right\} \right\}, \quad (8)$$

Декомпозиція множинної процесної моделі оцінювання показників якості ЖЦ ЗВТ, побудованої у відповідності до виразів (5)–(8) у вигляді V-моделі, показана на рис. 5. Між фазами проектування (низхідна фаза) і реалізації (висхідна фаза) відбувається взаємодія у вигляді проведення відповідних контролю, перевірок і валідації стадій моделі. Так для процесу на стадії 8 щодо виготовлення деталей та вузлів фази реалізації ЗВТ  $LCQ_8$  здійснюється їхній контроль за розробленою технічною документацією на стадії 5 фази проектування ЗВТ ( $VerQ_1$ ). Відповідні перевірки  $VerQ_2$ ,  $VerQ_3$ , і  $VerQ_4$  здійснюються для процесів на стадіях 9 ( $LCQ_9$ ) і 4 ( $LCQ_4$ ), 10 ( $LCQ_{10}$ ) і 3 ( $LCQ_3$ ), 11 ( $LCQ_{11}$ ) і 2 ( $LCQ_2$ ).

На кожній із стадій ЖЦ ЗВТ реалізуються відповідні процеси. На стадії 12 фази реалізації здійснюється валідація характеристик ЗВТ  $ValQ_{MI}$  за вимогами замовника, тому цю стадію можна виділити окремо для подальшого аналізу її особливостей. Для ЗВТ ці вимоги встановлюються також окремо для програмної частини [15, 16]. Зважаючи на це потребується спеціальна валідація і цих вимог, а вираз для валідації характеристик ЗВТ набуде вигляду:

$$ValQ_{MI} \subset ValQ_{AP} \cap ValQ_{SW}, \quad (9)$$

де  $ValQ_{AP}$ ,  $ValQ_{SW}$  – валідація апаратної та програмної частин  $((\forall ValQ_{AP} \subset ValQ_{MI}), (\forall ValQ_{SW} \subset ValQ_{MI}))$  відповідно.

Окрім загальних для всіх технічних систем функціональних, ресурсозберігаючих і природоохоронних показників, специфічними для ЗВТ є показники призначення і деякі функціональні показники. До показників призначення для ЗВТ відносяться показники, пов'язані з метрологічними характеристиками. Функціональні показники для ЗВТ слід доповнити такими показниками як метрологічна надійність, метрологічна справність, метрологічна відмова, міжкалібрувальний (міжповірочний) інтервал. Ці показники властиві виключно для ЗВТ.

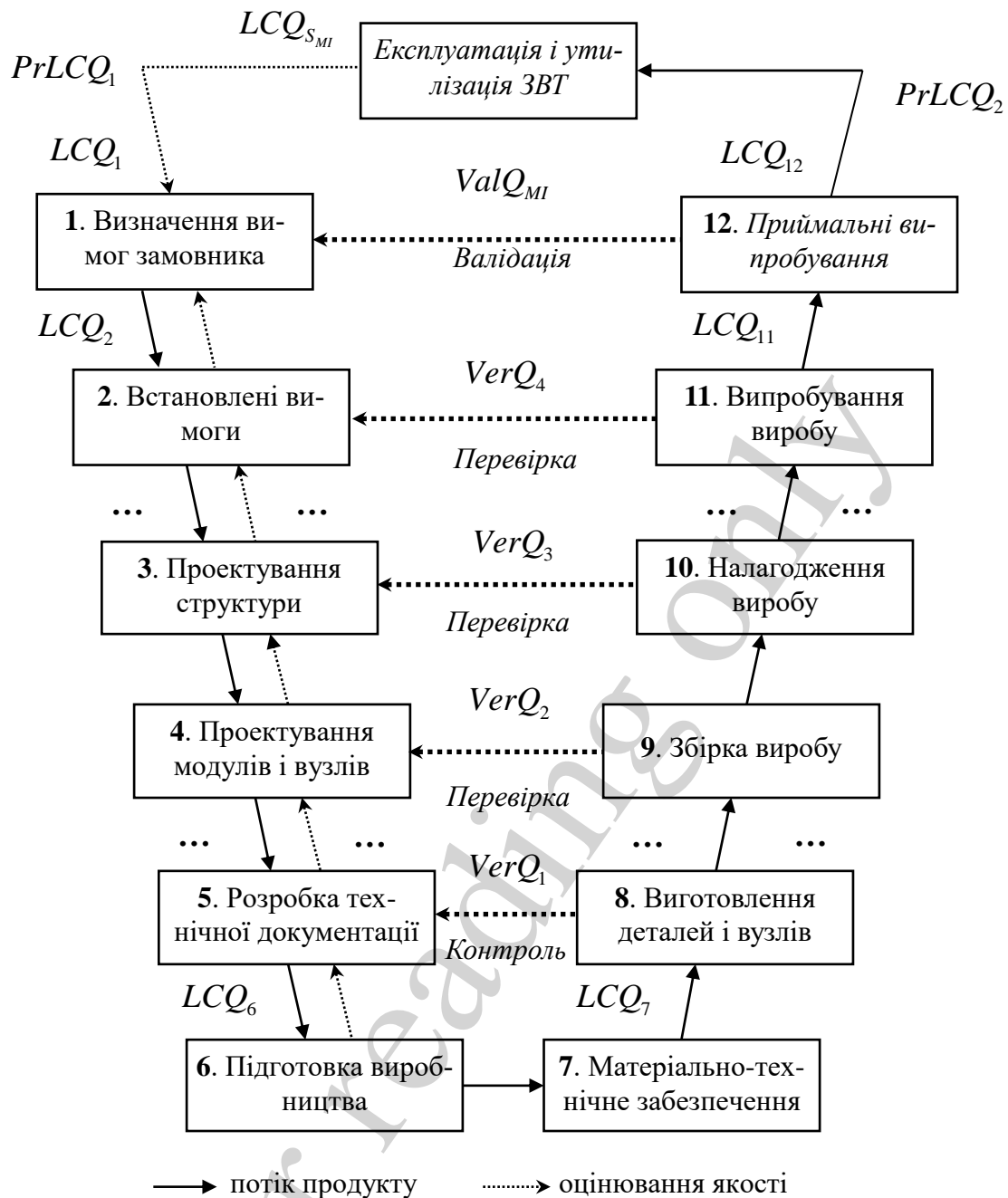


Рис. 5. Процесна V-модель оцінювання показників якості ЖЦ ЗВТ

На відміну від інших технічних об'єктів, для ЗВТ стадії 11 і 12 також мають свої особливості. Так на стадії 11 здійснюється встановлення метрологічних характеристик ЗВТ. На стадії 12 здійснюється валідація встановлених метрологічних характеристик ЗВТ за результатами перевірки кожного зразка ЗВТ із залученням призначеного органу оцінки відповідності ЗВТ. На цій стадії також може бути валідація встановлених метрологічних характеристик ЗВТ в рамках схваленої СУЯ для виробництва, здійснення контролю готової продукції та проведення випробувань, а також і для проектування ЗВТ.

Для окремої (додаткової) фази експлуатації та утилізації ЗВТ (рис. 5) встановлюються свої показники якості ЗВТ, які теж підлягають оцінюванню. Інфо-



рмація щодо показників якості, як один з етапів дослідження ринку, отримана на фазі експлуатації та утилізації ЗВТ, може бути використана для проектування нових чи модернізації існуючих ЗВТ. До цих показників можна віднести такі функціональні показники ЗВТ як метрологічна надійність, метрологічна справність, метрологічна відмова, міжкалібрувальний (міжповірочний) інтервал.

## **6. Обговорення результатів побудови процесної моделі життєвого циклу засобу вимірювальної техніки**

Запропоновані процесні V-моделі ЖЦ ЗВТ (рис. 3) і показників якості ЖЦ ЗВТ (рис. 5) дозволяють встановити безпосередній зв'язок з процесним підходом, який реалізується у СУЯ підприємств і організацій. Розуміння і управління взаємопов'язаними процесами як системою (вирази (4) і (8)) сприяє підвищенню ефективності у досягненні запланованих результатів. Для ефективною реалізації цих моделей необхідно використовувати регламентовані вимоги міжнародних стандартів, зокрема щодо вимог до СУЯ. Основні стадії циклу PDCA спільні як для процесів ЖЦ ЗВТ, так і функціонування СУЯ. Тому доцільно для процесів ЖЦ ЗВТ використовувати конкретні вимоги стандарту ISO 9001 [10] для стадій планування (розділ 6 стандарту), діяльності – виробництво (розділ 8), оцінювання дієвості (розділ 9) і поліпшування (розділ 10).

Міжнародний стандарт ISO/IEC/IEEE 16326 [38] встановлює зміст планування управління проектами. Він також надає настанови щодо застосування набору проектних процесів, спільних як для програмного забезпечення (ISO/IEC/IEEE 12207), так і для ЖЦ системи (ISO/IEC/IEEE 15288) відповідно. Для ефективною реалізації стадій запропонованої моделі доцільно використовувати вимоги міжнародного стандарту ISO/IEC/IEEE 15939 [39] щодо процесу вимірювання. Цей стандарт забезпечує розробку процесу вимірювання відповідно до вимог стандартів ISO/IEC/IEEE 15288 і ISO/IEC/IEEE 12207. Хоча цей процес безпосередньо застосовується до системної та програмної інженерії та дисциплін управління, однак він також може бути застосований для процесу вимірювання на різних стадіях ЖЦ ЗВТ.

Міжнародний стандарт ISO/IEC/IEEE 29148 [40] встановлює процеси і продукти, пов'язані з розробкою вимог до систем та програмних продуктів та послуг протягом усього ЖЦ. Цей стандарт надає настанови щодо застосування інженерії вимог і процесів управління для діяльності, пов'язаної з вимогами стандартів ISO/IEC/IEEE 12207 і ISO/IEC/IEEE 15288. Він встановлює вимоги, які можуть використовуватися самостійно чи бути додатними до існуючого набору процесів ЖЦ за стандартами ISO/IEC/IEEE 12207 і ISO/IEC/IEEE 15288.

Для досягнення поліпшених результатів реалізації всіх стадій ЖЦ ЗВТ доцільно розглядати всі найбільш суттєві ризики виконання запланованих процесів. Необхідність аналізу ризиків регламентується стандартом ISO 9001 [10]. Міжнародний стандарт ISO 31000 [41] містить принципи і загальні вказівки щодо управління ризиками і не є специфічним для будь-якої галузі чи сектору економіки. Він може застосовуватися для будь-якого типу ризику і протягом усього ЖЦ ЗВТ. Використання стандарту ISO 31000 передбачається для гармонізації процесів управління ризиками в існуючих і майбутніх стандартах.

Міжнародний стандарт ISO/IEC 16085 [42] визначає процес управління ризиком у ЖЦ будь-якої продукції. Метою управління ризиками є виявлення потенційних управлінських та технічних проблем ще до їх виникнення. Це стандарт є важливим інструментом для поліпшення пошуку та виявлення потенційних проблем, які можуть вплинути на діяльність у ЖЦ, а також для вдосконалення активного управління проектами.

Сформульовані рекомендації щодо використання вимог міжнародних стандартів мають сприяти підвищенню ефективності у досягненні запланованих результатів на всіх стадіях ЖЦ ЗВТ. Це стосується, зокрема планування управління проектами, процесів вимірювання, вимог до систем протягом усього ЖЦ ЗВТ, аналізу і управління ризиками на стадіях ЖЦ.

Представлені дослідження є першою спробою розроблення множинних процесних моделей ЖЦ ЗВТ і оцінювання показників якості стадій ЖЦ ЗВТ. Ці моделі можуть бути відображені також і іншими множинними представленнями, зокрема із застосуванням загальної теорії систем. Першою спробою є також представлення ЖЦ ЗВТ і оцінювання показників якості стадій ЖЦ ЗВТ у вигляді базової процесної V-моделі. Подальші дослідження ЖЦ ЗВТ і оцінювання показників якості стадій ЖЦ ЗВТ можуть бути спрямовані на представлення цих об'єктів досліджень у вигляді більш складних, однак більш досконалих різновидів V-моделі, зокрема у вигляді подвійної V-моделі.

## **7. Висновки**

1. Доведена доцільність використання процесного підходу до стадій ЖЦ ЗВТ і його переваги перед функціональним підходом. Процесний підхід дозволяє більш ефективно здійснювати оцінювання показників якості ЗВТ на різних стадіях ЖЦ і є сумісним з побудовою сучасних СУЯ.

2. Проведене математичне моделювання дозволило розробити множинну процесну модель ЖЦ ЗВТ, яку представлено у вигляді V-моделі. Це дозволяє здійснювати дослідження взаємодії процесів усіх стадій ЖЦ ЗВТ і виконувати управління якістю процесами на всіх стадіях ЖЦ ЗВТ. Встановлені особливості стадій випробування виробу і приймальні випробування ЖЦ ЗВТ. Розуміння і управління взаємопов'язаними процесами як системою сприятиме підвищенню ефективності у досягненні запланованих результатів. Цьому також сприятиме використання регламентованих вимог міжнародних стандартів, зокрема щодо вимог до систем протягом усього ЖЦ ЗВТ, аналізу і управління ризиками на стадіях ЖЦ тощо.

3. Проведене математичне моделювання дозволило розробити множинну процесну модель оцінювання показників якості стадій ЖЦ ЗВТ, яку представлено у вигляді V-моделі. Це дозволяє здійснювати оцінювання показників якості ЗВТ і його складових протягом всього ЖЦ ЗВТ. Встановлені специфічні і властиві виключно для ЗВТ показники призначення і деякі функціональні показники. Визначено, що особливістю стадії випробування виробу ЖЦ ЗВТ є встановлення показників призначення ЗВТ. Особливістю стадії приймальних випробувань ЖЦ ЗВТ є здійснення валідації встановлених показників призначення ЗВТ.

## Література

1. Адизес, И. К. (2014). Управление жизненным циклом корпораций. М.: Манн, Иванов и Фербер, 512.
2. Соколовський, С. А., Павлов, С. П., Черкашина, М. В., Науменко, М. О., Грабовський, Є. М. (2015). Управління якістю виробництва та обслуговування. Харків: НАНГУ, 264.
3. Білецький, Е. В., Янушкевич, Д. А., Шайхлісламов, З. Р. (2015). Управління якістю продукції та послуг. Харків: ХТЕІ, 222.
4. Каличева, Н. Є., Бохан, С. Є. (2017). Напрями забезпечення ефективного розвитку промислових підприємств в сучасних умовах. Науковий огляд, 5 (37), 5–15.
5. ISO/IEC/IEEE 15288:2015. Systems and software engineering. System life cycle processes (2015). ISO, 108.
6. ISO/IEC/IEEE 24748-1:2018. Systems and software engineering. Life cycle management. Part 1: Guidelines for life cycle management (2018). ISO, 72.
7. ISO/IEC/IEEE 24748-2:2018. Systems and software engineering. Life cycle management. Part 2: Guidelines for the application of ISO/IEC/IEEE 15288 (System life cycle processes) (2018). ISO, 64.
8. ISO/IEC TR 24774:2010. Systems and software engineering. Life cycle management. Guidelines for process description (2010). ISO, 15.
9. ISO 9000:2015. Quality management systems. Fundamentals and vocabulary (2015). ISO, 51.
10. ISO 9001:2015. Quality management systems. Requirements (2015). ISO, 29.
11. Directive 2014/32/EU of the European Parliament and of the Council on the harmonisation of the laws of the Member States relating to the making available on the market of measuring instruments (recast). Official Journal of the European Union (2014). L96/149. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32014L0032>
12. ISO/IEC/IEEE 12207:2017. Systems and software engineering. Software life cycle processes (2017). ISO, 145.
13. ISO/IEC/IEEE 24748-3:2020. Systems and software engineering. Life cycle management. Part 3: Guidelines for the application of ISO/IEC/IEEE 12207 (software life cycle processes) (2020). ISO, 66.
14. Лисоводская, К., Шадрин, А. (2019). Процессный подход в менеджменте проектов Agile-компаний. Стандарты и качество, 9, 76–80.
15. 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>
16. 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>

17. Шадрин, А. Д. (2016). Системная инженерия в менеджменте качества предприятия. *Стандарты и качество*, 1, 58–61.
18. Борисова, Л. Є. (2015). Процесно-функціональний підхід у системі управління сучасного телекомунікаційного підприємства. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Сер.: Економічні науки*, 11 (2), 55–59.
19. Новикова, О., Шадрин, А. (2014). Процессный подход в энергетическом менеджменте. *Стандарты и качество*, 8, 70–73.
20. Калмыков, А. В. (2012). Управление проектами информационных систем на основе dual-V модели. *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи*, 4, 193–200.
21. Волков, С. Л., Кисельова, О. І. (2017). Dual-v процесна модель якості штучного об'єкту. *Метрологія та прилади*, 6, 62–65.
22. Величко, О. М., Грабовський, О. В., Гордієнко, Т. Б. (2019). Особливості застосування V-моделі при розробленні та оцінюванні якості програмного забезпечення засобів вимірювальної техніки. *Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості*, 1 (14), 6–11. doi: <https://doi.org/10.32684/2412-5288-2019-1-14-6-11>
23. Graessler, I., Hentze, J., Poehler, A. (2019). Self-organizing production systems: Implications for product design. *Procedia CIRP*, 79, 546–550. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.092>
24. Graessler, I., Hentze, J., Bruckmann, T. (2018). V-models for interdisciplinary systems engineering. *Proceedings of the DESIGN 2018 15th International Design Conference*. doi: <https://doi.org/10.21278/idc.2018.0333>
25. VDI 2206:2004. Design methodology for mechatronic systems. Guideline. The Association of German Engineers (VDI), Düsseldorf, 2004. 118 p.
26. Gräßler, I., Hentze, J., Yang, X. (2016). Eleven Potentials for Mechatronic V-Model. *Proceedings of the 6th International Conference on Production Engineering and Management*, 257–268.
27. Graessler, I. (2017). A new V-Model for interdisciplinary product engineering. *59th Ilmenau Scientific Colloquiu*. Technische Universität Ilmenau.
28. Graessler, I., Dattner, M., Bothen, M. (2018). Main Feature List as core success criteria of organizing Requirements Elicitation. *R&D Management Conference 2018 "R&Designing Innovation: Transformational Challenges for Organizations and Society"*, 16. doi: <https://doi.org/10.31224/osf.io/grfcn>
29. Gräßler, I., Hentze, J. (2015). A V-model based comparison of Systems Engineering approaches. *Proceedings of ECEC 2015/the 22nd European Concurrent Engineering Conference*. Lisbon.
30. Stephens, K. S. (Eds.) (2004). Juran, Quality, and a Century of Improvement: The Best on Quality Book Series of the International Academy for Quality. Vol. 15. ASQ Quality Press, 304.
31. Волков, С. Л., Вавілов, Є. В., Коломієць, С. В. (2017). Системна модель процесу життєвого циклу штучних систем. *Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості*, 1 (10), 84–87. doi: <https://doi.org/10.32684/2412-5288-2017-1-10-84-87>

32. ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering. Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and software quality models (2011). ISO, 34.
33. ISO/IEC 25012:2008. Software engineering. Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE). Data quality model (2008). ISO, 13.
34. ISO/IEC 25020:2019. Systems and software engineering. Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE). Quality measurement framework (2019). ISO, 27.
35. ISO/IEC 25021:2012. Systems and software engineering. Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE). Quality measure elements (2012). ISO, 37.
36. ISO/IEC 25030:2019. Systems and software engineering. Systems and software quality requirements and evaluation (SQuaRE). Quality requirements framework (2019). ISO, 46.
37. 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.
38. ISO/IEC/IEEE 16326:2019. Systems and software engineering. Life cycle processes. Project management (2019). ISO, 29.
39. ISO/IEC/IEEE 15939:2017. Systems and software engineering. Measurement process (2017). ISO, 39.
40. ISO/IEC/IEEE 29148:2018. Systems and software engineering. Life cycle processes. Requirements engineering (2018). ISO, 92.
41. ISO 31000:2018. Risk management. Guidelines (2018). ISO, 16.
42. ISO/IEC/IEEE 16085:2021. Systems and software engineering. Life cycle processes. Risk management (2021). ISO, 47.