

**МІНІСТЕРСТВО ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР «ІНСТИТУТ МЕТРОЛОГІЇ»**

Андрейко Віталія Миколаївна



УДК 004.05

**РОЗВИТОК МЕТОДІВ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ
ПІД ЧАС СЕРТИФІКАЦІЙНИХ ВИПРОБУВАНЬ**

Спеціальність 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне
забезпечення

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Приватному вищому навчальному закладі Університеті Короля Данила.

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент
Кузь Микола Васильович,
завідувач кафедри інформаційних технологій та
програмної інженерії ПВНЗ Університету Короля
Данила,
м. Івано-Франківськ

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Косач Наталія Ігорівна,
професор кафедри авіаційних приладів та вимірювань
Національного аерокосмічного університету
ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»,
м. Харків

кандидат технічних наук,
Середюк Денис Орестович,
начальник науково-дослідної лабораторії центру
наукового забезпечення вимірювань
ДП «Івано-Франківськстандартметрологія»,
м. Івано-Франківськ

Захист відбудеться 20 квітня 2018 р. о 15:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.827.01 при ННЦ «Інститут метрології» за адресою: 61002, м. Харків-002, вул. Мироносицька, 42

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці ННЦ «Інститут метрології» за адресою: 61002, м. Харків-002, вул. Мироносицька, 42.

Автореферат розісланий «16» березня 2018 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,
к.т.н., с.н.с.



В.В. Скляров

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В останні роки засоби вимірювальної техніки (далі – ЗВТ) все частіше оснащуються програмним забезпеченням (далі – ПЗ), яке призначено для перетворення та обробки вимірювальної інформації, керування й полегшення роботи з ними. Тому при оцінюванні таких ЗВТ на відповідність технічним регламентам постає питання про якість цього ПЗ, оскільки воно безпосередньо впливає на роботу ЗВТ. При визначенні якості ПЗ велику роль відіграють саме процедури встановлення критеріїв якості, визначення їх показників й методи їх оцінювання. Тому розроблення методів визначення та оцінювання показників якості ПЗ ЗВТ, методів порівняння якісних показників однотипних (однакового призначення) програмних продуктів (далі – ПП) на основі узагальненого показника якості та придатності для зручного візуального сприйняття і аналізу є актуальним.

Виходячи з великого асортименту якісних показників ПЗ, доцільним є розроблення алгоритмічної структури та програмної реалізації методів оцінювання якості ПЗ на основі визначених кваліметричних показників, а також розроблення відповідних нормативних (методичних) документів.

Вирішенню цих питань й присвячено дисертаційну роботу, в якій систематизовані якісні показники ПЗ ЗВТ, розроблені методи визначення, оцінювання та представлення цих показників.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основні розділи роботи склали дослідження, виконані за тематикою ПВНЗ Університету Короля Данила в рамках теми «Розроблення Методики оцінки якості програмних продуктів засобів вимірювальної техніки» (2015-2017 рр., ДРН 0116U002344, відповідальний виконавець).

Окремі розділи роботи склали дослідження, виконані за госпдоговірною тематикою ПВНЗ «Галицька Академія» в рамках договору Н01-11 з ІВФ «Темпо» на створення науково-технічної продукції по темі: «Розроблення комплексу програмної і експлуатаційної документації та проведення випробувань програмних засобів еталонних повірочних установок» (2010-2011 рр., виконавець).

Мета дослідження полягає у розвитку наукових та методичних положень оцінки якості ПЗ ЗВТ, розробленні нових та вдосконаленні існуючих методів кваліметрії ПП при здійсненні сертифікації ПЗ.

Для досягнення зазначеної мети у **роботі поставлені такі задачі:**

- здійснити аналіз чинних в Україні нормативних документів з урахуванням вимог європейських та міжнародних стандартів, які встановлюють вимоги до випробування та оцінки якості програмних засобів, що дозволить адаптувати їх для використання під час сертифікації програмного забезпечення;

- провести дослідження методів оцінки якісних показників ПЗ ЗВТ та визначити узагальнений показник якості, що дозволить здійснювати порівняння однотипних ПП;

- провести моделювання шкал для відображення проявів кількісних характеристик якісних показників ПЗ ЗВТ, що дозволить здійснювати оцінку рівнів якості ПП;

- розробити нові принципи побудови та вдосконалити існуючі графічні методи відображення результатів визначення та оцінки показників якості ПЗ, що дає змогу

візуально оцінити рівень якості оціночних елементів, метрик, критеріїв, факторів та узагальненого показника якості.

Об'єктом дослідження є процес кваліметрії програмного забезпечення засобів вимірювальної техніки.

Предметом дослідження є методичні аспекти оцінки якості програмного забезпечення засобів вимірювальної техніки.

Методи досліджень, що покладені в основу роботи, базуються на математичному моделюванні з використанням теорії графів, множин, імовіроностей.

Експериментальні дослідження ПЗ ЗВТ і узагальнення результатів здійснювалися із застосуванням вимірювального, реєстраційного, розрахункового та експериментального методів.

Методологічну основу методів дослідження складає системний підхід при вирішенні задачі кваліметрії ПП на базі аналізу і вдосконалення науково-технічних та нормативних аспектів визначення показників якості ПЗ ЗВТ.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше розроблено модель кваліметричної шкали програмних продуктів на основі ряду Фібоначчі для кількісного оцінювання результатів визначення якісних показників, що забезпечує, у порівнянні з традиційними рівномірною інтервальною шкалою й шкалою, побудованою на базі функції Харрінгтона, кращі характеристики при апроксимації лінійною функцією.

2. Вперше розроблені нові принципи побудови «Дерев якості» та «Дерев вимірюваних характеристик якості» шляхом масштабування довжини «гілок дерев» пропорційно до числових характеристик якісних показників програмного забезпечення, що дало змогу візуально оцінювати рівень якості оціночних елементів, метрик, критеріїв, факторів та узагальненого показника якості.

3. Удосконалено ієрархічну структуру показників якості програмних продуктів, наведених у національних і міжнародних нормативних документах, та розроблені методи визначення цих показників, що дозволяє адаптувати ці нормативні документи для сертифікації програмних продуктів.

4. Отримали подальший розвиток методи оцінки якісних показників програмного забезпечення засобів вимірювальної техніки шляхом формування узагальненого показника якості, що дозволяє порівнювати однотипні програмні продукти.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

- розроблені методика випробувань та процедура сертифікації ПП, впроваджені у виробничу діяльність Науково-дослідної лабораторії випробувань програмних засобів Галицької Академії, що забезпечило, починаючи з 2014 року, випробування 15 програмних продуктів;

- розроблена методика 407368.00001-01 «Програма перевірки побутових лічильників газу. Програма і методика випробувань» впроваджена у виробничу діяльність ІВФ «Темпо»; її використання забезпечило щорічно, починаючи з 2010 року, випробування ПЗ 10 повірочних установок лічильників газу;

- отримані в роботі наукові результати впроваджені в навчальний процес кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії Університету Короля Данила при викладанні дисциплін: «Якість програмного забезпечення та тестування», «Документування програмного забезпечення».

Розроблені в дисертації нові технічні рішення для визначення часових параметрів програмного забезпечення вимірювальних комплексів об'єму газу захищені патентом України на винахід.

Особистий внесок здобувача.

Основні положення та результати роботи отримані автором самостійно. Вони стосуються розроблення: моделі «Дерева вимірюваних характеристик якості» програмного забезпечення засобів вимірювальної техніки [1], методу побудови «дерева якості» на основі числових значень показників якості програмних засобів, які пропорційні «довжині гілок дерева» [2], графічної моделі «Дерева якості» програмних продуктів [3]; єдиних критеріїв для визначення рівня якості програмних продуктів [4], оцінки адекватності кваліметричних шкал ПП [5]; формування номенклатури нормативних документів з оцінки якості ПЗ [6].

У роботах, опублікованих у співавторстві, автору належать: визначення впливу номенклатури супровідної документації на якісні показники ПЗ [7], розроблення методів: вимірювання часових характеристик ПЗ коректорів об'єму газу [8], визначення єдиного узагальненого показника якості програмних засобів в умовах невизначеності [9]; моделі кваліметричної шкали ПП, розробленої на основі ряду Фібоначчі [10, 11]; розроблення методу та математичної моделі, для визначення якісних показників програмного забезпечення засобів вимірювальної техніки [12, 13]; патенто захищене конструктивне рішення повірочної установки вимірювальних комплексів об'єму газу [14]; аналіз нормативних документів з метою досягнення оптимального ступеня впорядкування вимог до документування ПП [15]; формування номенклатури часових параметрів програмних засобів [16], визначення часових характеристик ПЗ вимірювальних комплексів об'єму газу [17].

Апробація роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались і отримали позитивну оцінку на 4-ох міжнародних, 2-х всеукраїнських та 2-х звітних науково-технічних конференціях, а саме:

- 13-й Міжнародній науково-технічній конференції «Приладобудування: стан і перспективи», м. Київ, 2014;
- Міжнародній науково-практичній конференції «Прикладні науково-технічні дослідження», м. Івано-Франківськ, 2017 р.;
- Міжнародному науково-практичному симпозиумі «Концептуальні проблеми розвитку сучасної гуманітарної та прикладної науки», м. Івано-Франківськ, 2017 р.;
- 8-й Міжнародній науково-технічній конференції пам'яті професора Ігоря Кісіля «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання», м. Івано-Франківськ, 2017 р.;
- всеукраїнській науково-технічній конференції «Інтеграція науки і практики як механізм ефективного розвитку сучасного проектування», м. Івано-Франківськ, 2013 р.;
- всеукраїнській науково-технічній конференції «Проблеми та перспективи розвитку проектної діяльності: теорія, практика, інновації», м. Івано-Франківськ, 2014 р.;
- звітних викладацьких науково-практичних конференціях «Наука та освіта ХХІ століття», м. Івано-Франківськ, 2014, 2015 рр.

Матеріали роботи доповідались на звітних конференціях ПВНЗ Університету Короля Данила впродовж 2014-2015 рр.

Публікації. Основні результати дисертації викладені у 17 публікаціях, у тому числі, в: 1 монографії (одноосібна), 6 наукових працях (із них 1 одноосібна), із них 4 у виданнях, що входять до Переліку наукових фахових видань України та 2 в закордонних періодичних наукових виданнях, з них 3 внесені до міжнародних наукометричних баз (РИНЦ, Index Copernicus), 1 патенті України на винахід та у 9 публікаціях (із них 4 одноосібних) за матеріалами праць міжнародних (4 публікації), всеукраїнських та звітних науково-технічних конференцій.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 154 сторінки, з них 8 таблиць і 27 рисунків по тексту, 3 рисунки на окремих аркушах, список використаних джерел з 69 найменувань на 9 сторінках та 8 додатків на 48 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету досліджень, показано зв'язок дисертації з науковими програмами, планами та темами, визначено об'єкт та предмет дослідження, наукову новизну, практичну цінність та особистий внесок здобувача в одержаних результатах, подано відомості про їх публікацію, апробацію та впровадження.

У **першому розділі** здійснений аналіз сучасного стану стандартизації ПЗ ЗВТ: розглянуто схему нормативної бази оцінки якості ПЗ в Україні (рис. 1), актуальність стандартів єдиної системи програмної документації, методичні вимоги до оцінки якості ПЗ.

На основі виконаного аналізу сучасного стану і тенденцій розвитку стандартизації програмного забезпечення засобів вимірювальної техніки з метою удосконалення методів оцінки якісних показників програмних засобів можна сформулювати такі узагальнення та обґрунтування:

- нормативні та методичні основи оцінки якісних показників ПЗ ЗВТ, потребують подальшого розвитку, оскільки відсутній єдиний оціночний критерій якості ПП, розроблення методики визначення якого дозволить здійснити порівняння однотипних ПП;

- необхідне розроблення моделей кваліметричних шкал ПП, які відсутні в чинних нормативних документах, числових значень рівнів оцінки якості ПП, що практично дасть можливість кількісної оцінки результатів визначення цих якісних показників;

- наукові, технічні і нормативні аспекти методів визначення часових характеристик ПЗ ЗВТ потребують вдосконалення, так як в чинних нормативних документах методики їх визначення та оцінки відсутні. Розроблення цих методів підвищить достовірність результатів кваліметрії ПП;

- необхідне розроблення наповнених графічних моделей і графоаналітичних методів побудови дерев властивостей для забезпечення візуалізації результатів оцінки якості ПЗ та зручності порівняння цих результатів.

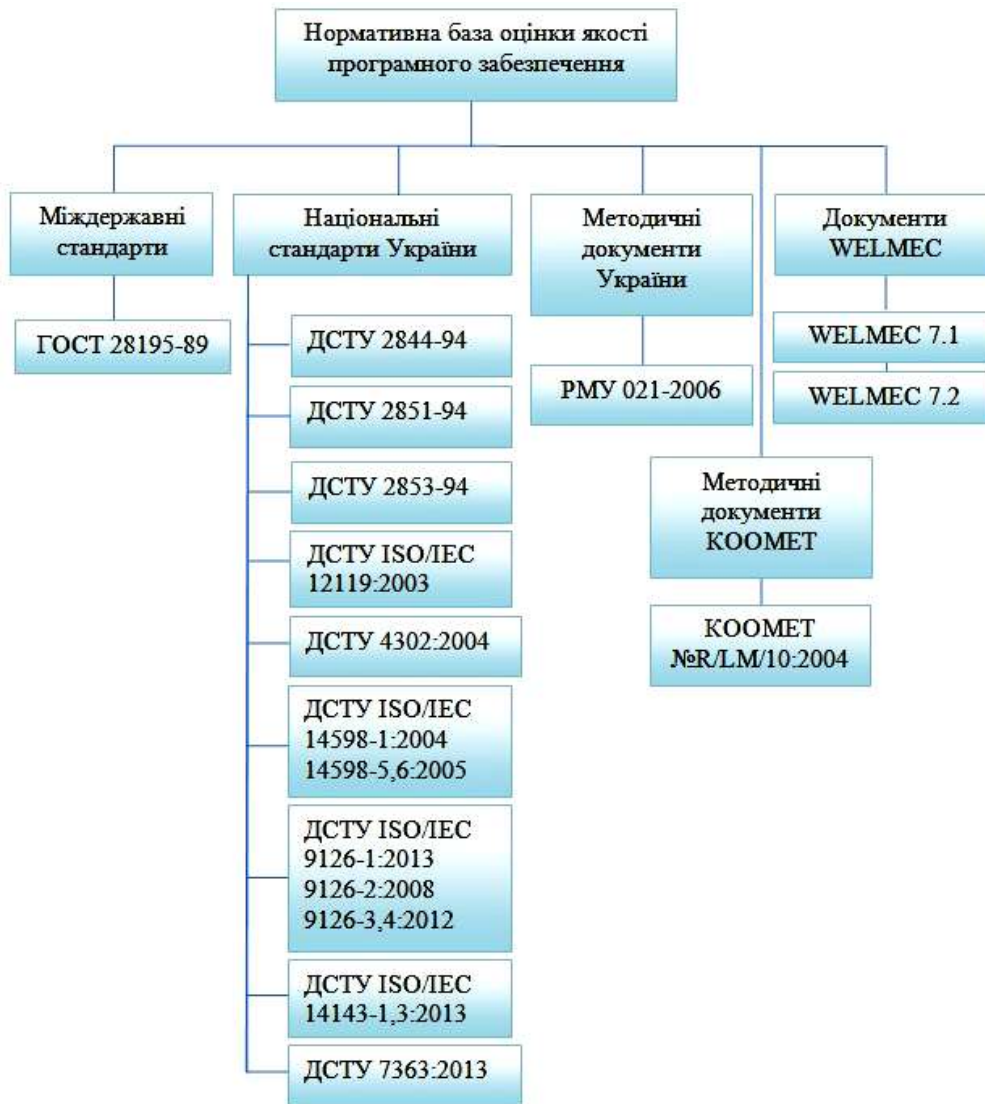


Рисунок 1 – Схема нормативної бази оцінки якості програмного забезпечення в Україні

У другому розділі описана методика дисертаційного дослідження. Ключовими аспектами дослідження є нормативні документи, що встановлюють вимоги до якісних показників програмних продуктів. Національні стандарти ДСТУ ISO/IEC 9126-1:2013 та ДСТУ ISO/IEC TR 9126-2:2008 містять асортимент оціночних елементів, що об'єднані в метрики, які, в свою чергу, є складовими критеріїв якості, що входять до шести факторів якості (рис. 2). Нормативний документ ДСТУ 2850–94 містить методику оцінки якісних показників, в кінцевому результаті якої є визначення числових значень шести факторів якості. Дію даного стандарту скасовано і, як наслідок, в жодному чинному нормативному документі немає методики оцінки якості ПЗ, тому регламентовані в ньому методи доцільно розглядати, як і будь-яке інше літературне джерело.

Якщо необхідно здійснити порівняння двох ПП, що є складовими однотипних засобів вимірювальної техніки, то відповідно до ДСТУ 28195-89 це зробити неможливо, тому що будуть порівнюватися шість показників (факторів) якості між собою (рис. 2).

Для порівняння однотипних ПП є необхідність розроблення методу визначення узагальненого показника якості ПЗ.

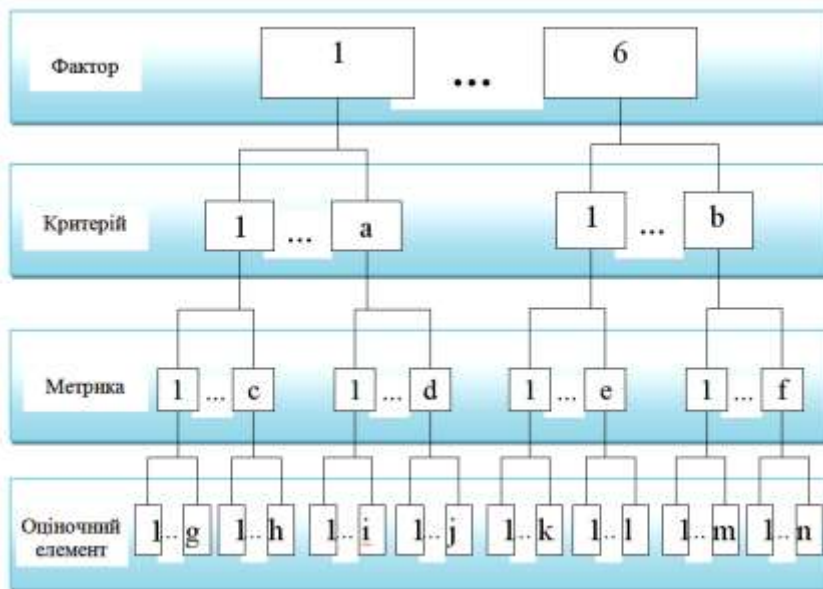


Рисунок 2 – Ієрархічна структура показників якості ПЗ

Даний стандарт встановлює два види показників якості, що отримуються шляхом вимірювання і експертної оцінки. Тому доцільним є розроблення методу визначення вимірювальних показників якості, оскільки така методика відсутня в даних нормативних документах.

З асортименту показників якості ПЗ ЗВТ вибрані тільки ті оціночні елементи (рис. 3), для яких можна визначити числові значення його вимірюваних параметрів.

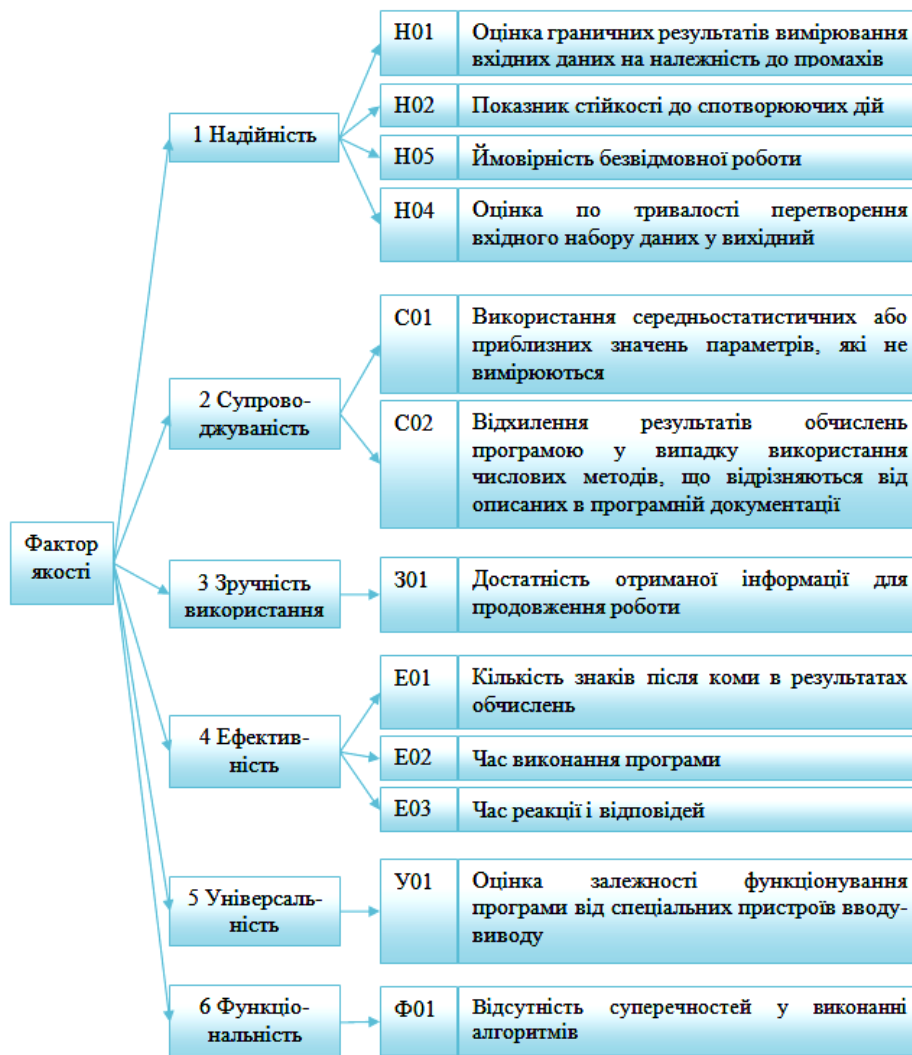


Рисунок 3 – Структурна схема вимірюваних показників програмного забезпечення засобів вимірювальної техніки

Запропоновано та розроблено математичну модель, яка містить два наступних типи залежностей для визначення розрахунковим методом вимірюваних показників якості:

- перший:

$$P(F_1, F_2) = 1 - \frac{F_1}{F_2}, \quad (1)$$

де $P(F_1, F_2)$ – показник якості ПП – показник стійкості до спотворюючі дій та ймовірність безвідмовної роботи; F_1 – кількість експериментів, в яких спотворюючі дії приводили до відмови та кількість зареєстрованих відмов, відповідно; F_2 – загальна кількість проведених експериментів;

- другий:

$$P(T_1, T_2) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } T_1 \leq T_2 \\ \frac{T_2}{T_1}, & \text{якщо } T_1 > T_2 \end{cases}, \quad (2)$$

де $P(T_1, T_2)$ – показник якості ПП – оцінка за середнім часом відновлення – оцінка тривалості перетворення вхідного набору даних у вихідний; T_1 – час відновлення після відмови та фактична тривалість перетворення вхідного набору даних у вихідний, відповідно; T_2 – допустимий час відновлення після відмови та допустима тривалість перетворення вхідного набору даних у вихідний, відповідно.

На рис. 4 наведена структурна схема часових параметрів виконання програмних функцій.



Рисунок 4 – Структурна схема часових параметрів виконання програмних функцій

На основі типових залежностей (1), (2) та з врахуванням параметрів, що мають значний вплив на якісні показники програмного забезпечення ЗВТ, розроблена

математична модель для визначення показників якості, в якій числові значення показників якості визначаються за формулою:

$$q_e = \begin{cases} 1 - \frac{|f_1(o_e) - f_2(o_e)|}{f_2(o_e)}, & \text{при } 1 \leq e \leq 4 \\ 1 - \frac{f_3(o_e)}{f_4(o_e)}, & \text{при } 5 \leq e \leq 8 \\ \begin{cases} 1, & \text{якщо } f_5(o_e) \leq f_6(o_e) \\ 1 - \frac{f_6(o_e)}{f_5(o_e)}, & \text{якщо } f_5(o_e) > f_6(o_e) \end{cases}, & \text{при } 9 \leq e \leq 11 \\ \begin{cases} 1, & \text{якщо } S_2 \leq S_1 \\ 1 - \frac{|f_7(o_e) - f_8(o_e)|}{f_8(o_e)}, & \text{якщо } S_2 > S_1 \end{cases}, & \text{при } e = 12 \end{cases}, \quad (3)$$

де q_e – показник якості програми; e – порядковий номер показника якості та відповідного оціночного елемента; o – оціночний елемент; $f_1(o_e), f_2(o_e), f_3(o_e), f_4(o_e), f_5(o_e), f_6(o_e)$ – функціональні залежності якісних показників; для $e=1$, $q_1=1$ якщо алгоритм роботи програми передбачає здійснення оцінки вхідних даних на наявність промахів, який відповідає оціночному елементу Н01. У протилежному випадку $f_1(o_1) = |o_{1\max}|$, $f_2(o_1) = \bar{o}_1$, де o_1 – вимірювана фізична величина, набір значень якої є вхідними даними, що обробляються програмним забезпеченням.

Для $e=2$ при використанні середньостатистичних або приблизних значень параметрів, які не вимірюються, $f_1(o_2) \approx \bar{o}_2$ ставиться у відповідність С01, $f_2(o_2) = o_2$, де o_2 – вимірювана фізична величина, у протилежному випадку $q_2 = 1$.

Для $e=3$ (У01) при визначенні відхилення внесеної в програму і отриманої за результатами калібрування градуювальних характеристик датчиків фізичних величин, що входять до складу засобів вимірювальної техніки, $f_1(o_3) = o_{3П}$, $f_2(o_3) = o_{3М}$, де $o_{3П}$, $o_{3М}$ – значення фізичної величини, визначеної за формулою градуювальної характеристики датчика, внесеної до програми та визначеної за результатами калібрування на кожній досліджуваній точці градуювальної характеристики, відповідно. Із обчислених значень вибирають найбільше значення, тобто $q_3 = (q_3)_{\max}$.

Для $e=4$ ставиться у відповідність оціночний елемент Ф01 при визначенні впливу суперечності у виконанні алгоритму роботи програми на метрологічні характеристики ЗВТ, $f_1(o_4) = o_{4П}$, $f_2(o_4) = o_{4С}$, де $o_{4П}$, $o_{4С}$ – значення фізичної величини, обчисленої за алгоритмом описаним в програмних чи методичних документах, та значення фізичної величини отримане нею внаслідок впливу суперечності (наприклад, переприсвоєння), відповідно.

Н02 для $e=5$ при визначенні показника стійкості до спотворюючих дій $f_3(o_5) = D$, $f_4(o_5) = K$, де D – кількість експериментів, в яких спотворююча дія приводила до відмови, K – кількість експериментів, в яких імітувалися спотворюючі дії.

Для $e=6$ при оцінці ймовірності безвідмовної роботи $f_3(o_6)=Z$, $f_4(o_6)=N$, де Z – кількість зареєстрованих відмов, N – кількість експериментів ставиться у відповідність оціночний елемент Н05 фактору надійності.

Для $e=7$ при оцінці достатності отриманої інформації для продовження роботи $f_3(o_7)=l$, $f_4(o_7)=n$, де n – необхідна (достатня) кількість значень фізичної величини, l – фактична кількість отриманих значень відповідає 301.

Для $e=8$ при оцінці впливу кількості знаків після коми в результатах обчислень, які видаються програмою, на характеристики засобів вимірювальної техніки $f_3(o_8)=10^{-f}$, $f_4(o_8)=o_8$, де o_8 – числове значення результату обчислень, f – наявний в результаті знак після коми відповідає оціночний елемент Е01.

Для $e=9$, який рівносильний Н04, при оцінці тривалості перетворення вхідного набору даних у вихідний $f_5(o_9)=T_{\text{пi}}$, $f_6(o_9)=T_{\text{пi}}^{\text{доп}}$, де $T_{\text{пi}}^{\text{доп}}$ – допустимий час перетворення i -го вхідного набору даних, $T_{\text{пi}}$ – фактична тривалість перетворення i -го вхідного набору даних.

Для оціночного елемента Е02 порядковий номер показника якості прийме значення $e=10$ при оцінці часу виконання програми $f_5(o_{10})=T_{\text{в}}$, $f_6(o_{10})=T_{\text{в}}^{\text{доп}}$, де $T_{\text{в}}^{\text{доп}}$ – допустимий час виконання програми, $T_{\text{в}}$ – фактична тривалість виконання програми.

Для елемента Е03 $e=11$ при оцінці часу реакції і відповідей програми $f_5(o_{11})=T_{\text{р}}$, $f_6(o_{11})=T_{\text{р}}^{\text{доп}}$, де $T_{\text{р}}^{\text{доп}}$ – допустимий час реакції і відповідей програми, $T_{\text{р}}$ – фактична тривалість реакції і відповідей програми.

Для $e=12$ відповідає С02 при оцінці результатів обчислень програмою у випадку використання числових методів, що відрізняються від описаних в програмній документації, з використанням критеріїв оптимальності $f_7(o_{12})=p_{\text{анр2i}}$, $f_8(o_{12})=p_{\text{експi}}$, де $p_{\text{анр2}}$ – значення фізичної величини обчислені за методом, відтвореним в програмі, $p_{\text{експ}}$ – експериментальні значення, S_1 , S_2 – середні квадратичні відхилення обчислених значень фізичної величини за методом, описаним в програмній документації та за методом, відтвореним в програмі, відповідно, які визначаються за формулами:

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_{1i}^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_{\text{анр1i}} - p_{\text{експi}})^2}{n(n-1)}}, \quad (4)$$

$$S_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_{2i}^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_{\text{анр2i}} - p_{\text{експi}})^2}{n(n-1)}}, \quad (5)$$

де $p_{\text{анр1}}$ – значення фізичної величини обчислені за методом, описаним в програмній документації, n – кількість точок вимірювання.

Кінцеву оцінку якості ПЗ пропонується визначати узагальненим (зведеним) показником якості $Q_3 = Q_3(q) = Q_3(q_1, q_2, \dots, q_m)$. За основу, для встановлення зведеного показника Q_3 використано, як приклад, результати виконаних досліджень якісних показників ПЗ 407368.00001-01 «Програма перевірки побутових лічильників газу»

виробництва ІВФ «Темпо», проведених відповідно до вимог міждержавного стандарту ГОСТ 28195-99.

Зважаючи на те, що вихідні параметри об'єкту в різній мірі впливають на узагальнений показник якості, до цієї функції мають бути введені додаткові параметри, котрі визначають міру впливу (вагу) відповідного вихідного параметру на узагальнюючий показник якості. З урахуванням цього, узагальнююча (синтезуюча) функція представлена у вигляді:

$$Q_3(q, w), \quad (6)$$

де $w = (w_1, w_2, \dots, w_m)$ – вектор вагових коефіцієнтів, причому $\forall_i w_i \geq 0$ та $\sum_{i=1}^m w_i = 1$.

Наступний крок – визначення вектору вагових коефіцієнтів за методом ранжування, тобто:

$$w_i = \frac{q_i}{\sum_{i=1}^m q_i}, \quad (7)$$

де $i = 1, 2, \dots, m$ – порядковий номер фактору якості, q_i – обчислене значення факторів якості.

Результати обчислень вектора вагових коефіцієнтів за формулою (7) представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати обчислень вектора вагових коефіцієнтів методом ранжування

Фактори якості	q_i	w_i
Надійність	0,66	0,147
Супроводжуваність	0,58	0,129
Зручність використання	0,93	0,207
Ефективність	0,98	0,218
Універсальність	0,78	0,173
Функціональність	0,57	0,127

Узагальнений показник якості ПЗ подається у вигляді адитивної функції на основі формул (6) та (7):

$$Q_3(q, w) = \sum_{i=1}^m w_i q_i \in [0,1] \quad (8)$$

Для ПЗ 407368.00001-01 «Програма перевірки побутових лічильників газу» визначений, відповідно до формули (8), узагальнюючий показник якості ПЗ – $Q_3 = 0,785$.

Третій розділ присвячено експериментальному визначенню характеристик якості ПЗ ЗВТ.

Вибравши з поміж кількох ПП найкращий (з найбільшим числовим значенням узагальненого показника якості), постає питання чи є достатнім рівень якості цього ПП для вирішуваної ним одної чи ряду задач і функцій. Тому необхідним є розроблення шкали рівнів якості (кваліметричної шкали) і, зокрема, ПЗ ЗВТ.

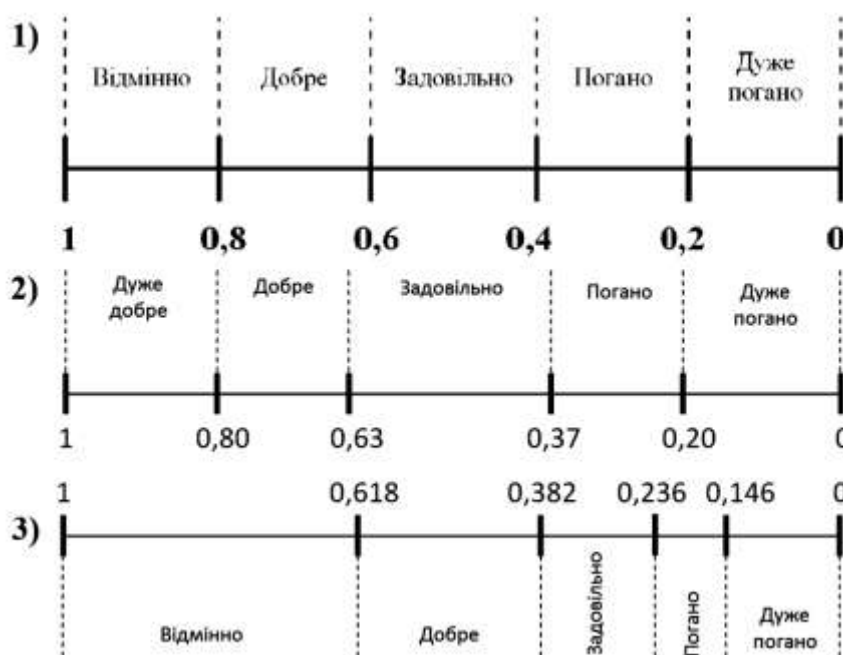


Рисунок 5 – Моделі оціночних шкал:
 1) рівномірна інтервальна шкала; 2) на основі
 узагальненої функції бажаності Харрінгтона;
 3) на основі чисел ряду Фібоначчі

Моделі оціночних шкал, розроблених на основі рівномірної інтервальної шкали, узагальненої функції бажаності Харрінгтона та ряду Фібоначчі («Золотого перетину») наведені на рис. 5.

За допомогою цих шкал (рис. 6) здійснена оцінка експериментальних даних, отриманих при дослідженні якісних показників програмного продукту 407368.00001-01 «Програма перевірки побутових лічильників газу».

Для визначення адекватності розроблених моделей кваліметричних шкал (рис. 5) проаналізована кількість оцінок 5 («відмінно» – для рівномірної інтервальної шкали та шкалі на основі чисел ряду Фібоначчі чи «дуже добре» - для шкали на основі узагальненої функції бажаності Харрінгтона), 4 («добре»), 3 («задовільно»), 2 («погано»), 1 («дуже погано»), визначених за лінійною функцією, функціями Харрінгтона та Фібоначчі. Співвідношення кількості цих оцінок, визначених за вище наведеними шкалами та їх апроксимаційні криві, зображені на рис. 6.

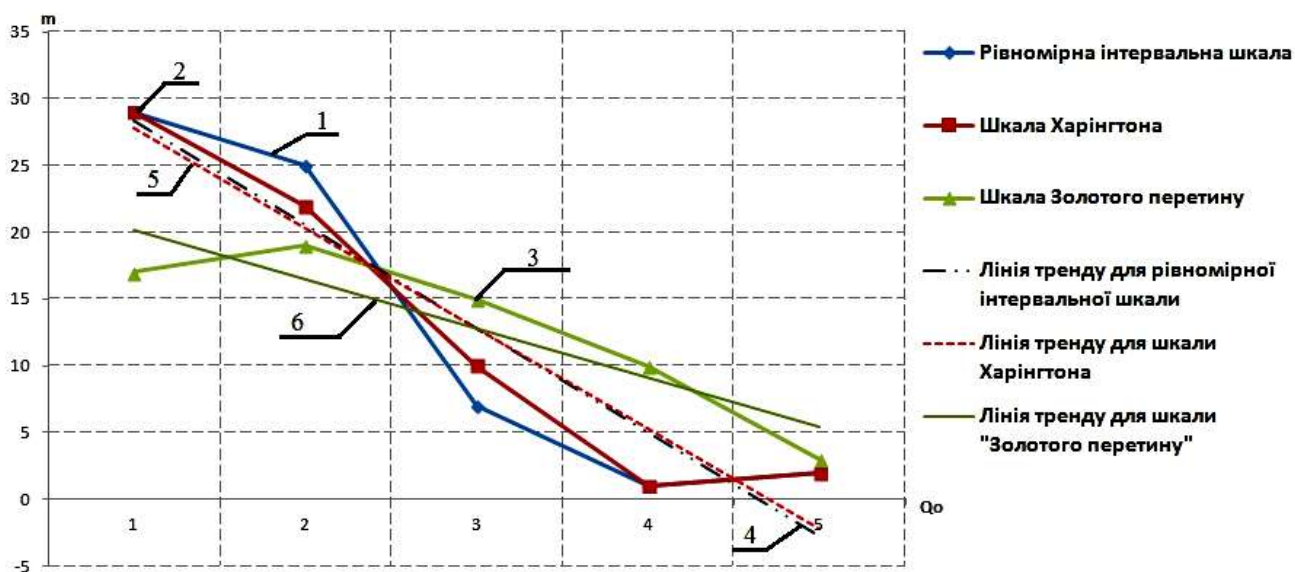


Рисунок 6 – Співвідношення кількості оцінок, визначених за функціями лінійної, Харрінгтона та Фібоначчі («Золотого перетину»)

На рис. 6 цифрами 1 ... 3 позначені залежності, визначені за функціями: лінійною, Харрінгтона та Фібоначчі, а 4 ... 6 – їхні апроксимаційні криві відповідно; Q_o – шкала оцінок, m – шкала кількості оцінок. Рівняння, які апроксимовані лінійною залежністю описуються наступним чином (9 – 11):

$$m = -7,8 \cdot Q_o + 36,2 \quad (9)$$

$$m = -7,5 \cdot Q_o + 35,3 \quad (10)$$

$$m = -3,7 \cdot Q_o + 23,9 \quad (11)$$

Обчислені за формулою значення середніх квадратичних відхилень та експериментальних даних оціночних елементів наведені в табл. 2:

Таблиця 2 – Значення середніх квадратичних відхилень

Назва шкал	Значення СКВ
Рівномірна інтервальна шкала	2,15
Шкала за Харрінгтоном	1,55
Шкала за Фібоначчі («Золотий перетин»)	1,18

Враховуючи те, що більш достовірними є ті результати, вибірка яких є більшою, то за даними, наведеними в табл. 2, найменших числових значень (1,18) середні квадратичні відхилення набувають при апроксимації експериментальних даних оціночних елементів, що містяться в метриках, критеріях та факторах. Все це свідчить про перевагу у застосуванні функції Фібоначчі («Золотого перетину») над функцією Харрінгтона та лінійною функцією при вирішенні задачі побудови кваліметричних шкал ПП.

На рис. 7 наведена вдосконалена шкала рівнів рейтингу для метрик, критеріїв та факторів із числовими показниками на основі ряду Фібоначчі («Золотого перетину»).

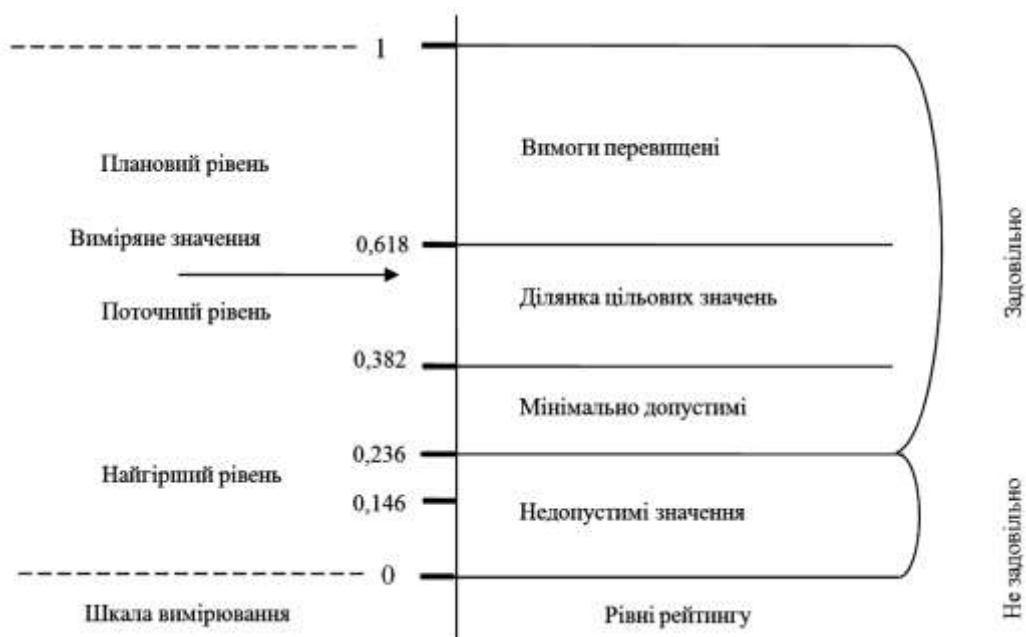


Рисунок 7 – Модель оціночної шкали на основі ряду Фібоначчі

У четвертому розділі проведена оцінка результатів кваліметрії ПЗ ЗВТ. Якість ПЗ найзручніше оцінювати з використанням певної моделі якості. Стандарт ISO/IEC 9126-1:2001 пропонує використовувати для опису внутрішнього та зовнішнього атрибутів якості ПЗ багаторівневу модель. На верхньому рівні виділено 6 основних характеристик якості ПЗ. Кожна характеристика описується за допомогою кількох вхідних у неї атрибутів. Для кожного атрибута визначається набір метрик, що дозволяють його оцінити.

У науковій літературі наведено дерево властивостей ПЗ, яке відображає тільки номенклатуру показників якості без наведення значень їх числових характеристик.

Більш зручною для візуального сприймання є запропонована та розроблена структурна модель «дерева якості» ПЗ (рис. 8), в якому висота «гілок» відповідає числовому значенню якісного показника.

На рис. 8 наглядно видно кількість метрик у кожному з критеріїв та кількість критеріїв у факторі з відповідними числовими характеристиками для кожної з «гілок дерева», що є основою для формування структури «дерева якості». Наведено повне «дерево якості» з узагальненим показником якості в основі (4-й рівень), який дорівнює $Q_3 = 0,785$ (для програми перевірки побутових лічильників газу) (рис. 8).

Позначення на рис. 8 у відповідності з рівнями, наступне:

4-й рівень – узагальнений показник якості:

3-й рівень (назви факторів): 1 надійність, 2 супроводжуваність, 3 зручність використання, 4 ефективність, 5 універсальність, 6 функціональність.

2-й рівень – критерії: надійності (Н1.1 – стійкість функціонування та Н1.2 – роботоздатність); супроводжуваності (С2.1 – структурність, С2.2 – простота конструкції, С2.3 – наглядність, С2.5 – повнота документації); зручності використання (З3.1 – легкість засвоєння, З3.2 – доступність програмних документів, З3.3 – зручність експлуатації і обслуговування); ефективності (Е4.1 – рівень автоматизації, Е4.2 – тимчасова ефективність, Е4.3 – ресурсоємність); універсальності (Г5.1 – гнучкість, Г5.2 – мобільність, Г5.3 – модифікованість); функціональності (Ф6.1 – повнота реалізації, Ф6.2 – узгодженість, Ф6.3 – логічна коректність Ф6.4 – перевіреність, Ф6.5 – захищеність).

1-й рівень метрики оціночного елемента для кожного з критеріїв: Н01 – засоби відновлення при помилках на вході, Н02 – засоби відновлення при збоях обладнання, Н03 – реалізація управління засобами відновлення, Н04 – функціонування в заданих режимах, Н05 – забезпечення обробки заданого об'єму інформації, С02 – складність архітектури проекту, С04 – експертиза прийнятої системної ідентифікації, С05 – використання основних логічних структур, С06 – дотримання принципу низхідного програмування, С07 – коментарі обґрунтування декомпозиції програм при кодуванні, С08 – коментарі логіки програм проекту, С09 – оформлення тексту програми, С10 – простота кодування, С15 – повнота документації фази проектування, С16 – повнота документації фази реалізації, С17 – повнота документації фази тестування, С18 – повнота документації фази виготовлення, 301 – освоєння роботи програмного засобу, 302 – документація для освоєння, 303 – повнота користувацької документації, 304 – точність користувацької документації, 305 – зручність користувацької документації, 306 – технічне виконання користувацької документації, 307 – прослідковуваність варіантів користувацької документації, 308 – експлуатація, 309 – керування меню, 310 –

функція HELP, 311 – керування даними, 312 – робочі процедури, E01 – функціональна автоматизація, E02 – автоматизація інтерфейсів, E03 – автоматизація

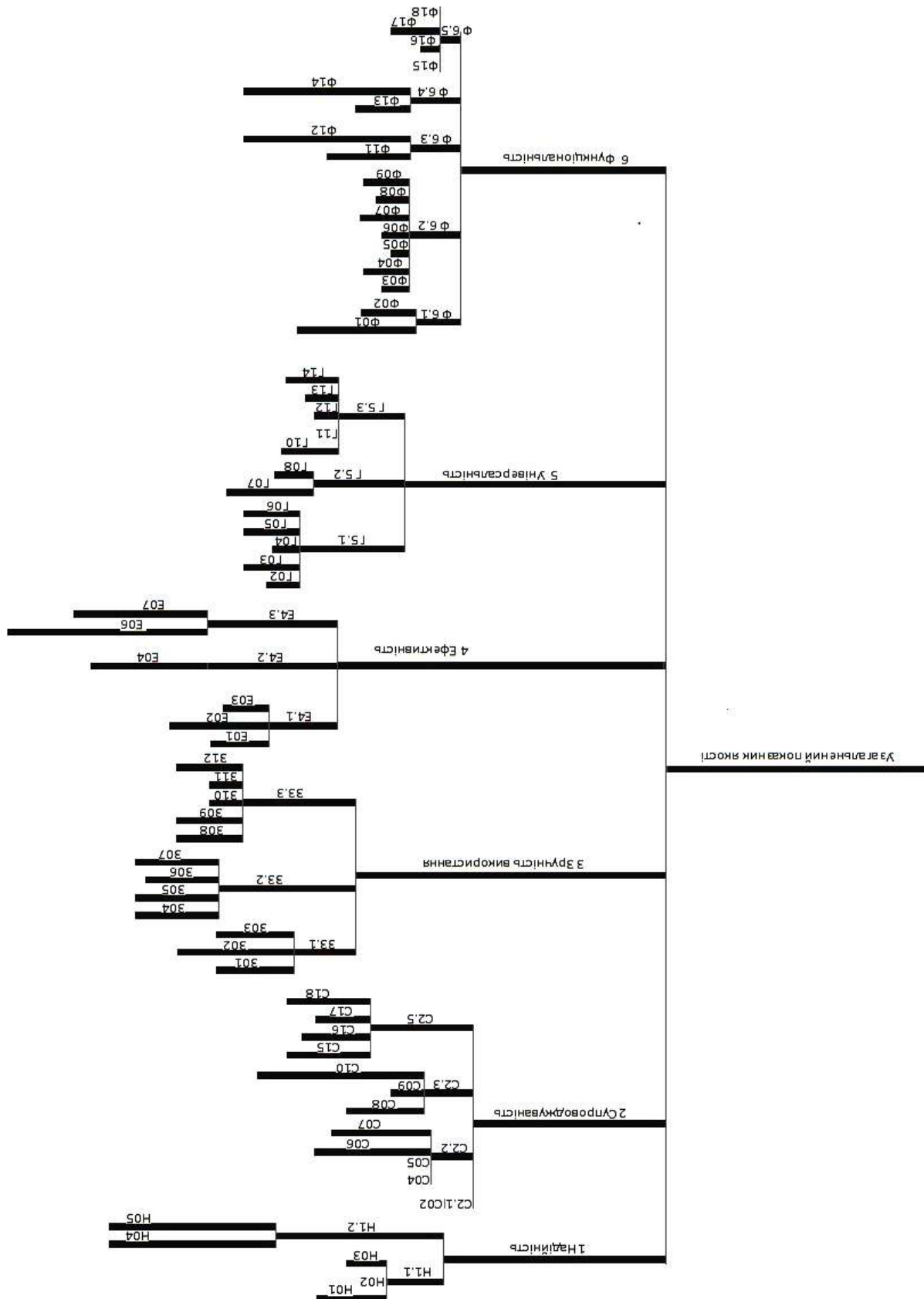


Рисунок 8 – Повне «дерево якості»

контролю, E04 – ефективність виконання, E06 – стаціонарна ресурсоемність, E07 – динамічна ресурсоемність, G02 – простота архітектури проекту, G03 – складність архітектури проекту, G04 – складність структури коду програм, G05 – застосування

стандартних протоколів зв'язку, Г06 – застосування стандартних інтерфейсних програм, Г07 – залежність від використовуваного комплексу технічних засобів, Г08 – залежність від базового програмного забезпечення, Г10 – простота кодування, Г11 – кількість коментарів, Г12 – якість коментарів, Г13 – використання описаних засобів мови, Г14 – незалежність модулів, Ф01 – повнота реалізації розробника, Ф02 – повнота програмної документації, Ф03 – несуперечність документації розробника, Ф04 – несуперечність програми, Ф05 – однотипність інтерфейсів між модулями і користувачами, Ф06 – однотипність кодування, Ф07 – відповідність документації стандартам, Ф08 – відповідність програмних засобів стандартам програмування, Ф09 – відповідність програмного засобу документації, Ф11 – реалізація всіх рішень, Ф12 – відсутність явних помилок і достатність реквізитів, Ф13 – повнота динамічного тестування, Ф14 – повнота статичного тестування, Ф15 – аутентифікація елементів систем обробки даних, Ф16 – керування доступом, Ф17 – протоколювання звернень, Ф18 – криптографічний захист.

На рис. 9 зображено «Дерево вимірюваних характеристик якості» програмного забезпечення засобів вимірювальної техніки.

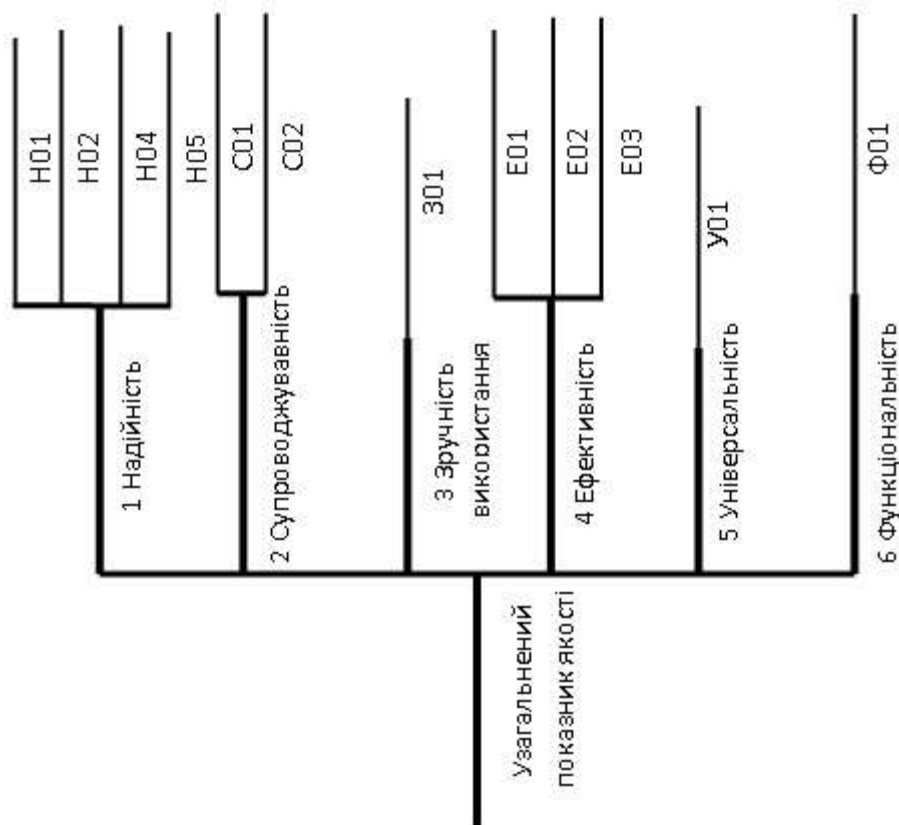


Рисунок 9 – «Дерево вимірюваних характеристик якості» програмного забезпечення засобів вимірювальної техніки

Позначення на рис. 9 згідно структури «дерева» вимірюваних якісних характеристик програмного забезпечення засобів вимірювальної техніки наступне: 1-й рівень – оціночний елемент програмного забезпечення засобів вимірювальної техніки: Н01 – оцінка граничних результатів вимірювання вхідних даних на належність до промахів, Н02 – показник стійкості до спотворюючих дій, Н03 – ймовірність безвідмовної роботи, Н04 – оцінка по тривалості перетворення вхідного набору даних у вихідний.

2-й рівень – фактор якості, відповідно до ISO/IEC 9126-1:2001 їх налічується 6, а саме: 1 – надійність, 2 – супроводжуваність, 3 – зручність використання, 4 – ефективність, 5 – універсальність, 6 – функціональність.

3-й рівень – це узагальнений показник якості, який визначається згідно формули (8).

Розроблена структура «дерева вимірюваних характеристик якості» ПЗ ЗВТ дозволяє здійснювати аналіз складових вимірювальних показників якості ПЗ та провести візуальну оцінку цих складових.

У додатках подані дерево властивостей, протокол дослідження якісних показників, дерево вимірюваних характеристик, програма і методика випробувань програмного продукту ПЗ 407368.00001-01 «Програма перевірки побутових лічильників газу» та акти впровадження результатів дисертації.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання досліджень отримані нові науково обґрунтовані теоретичні і експериментальні результати, що в сукупності є значним досягненням для вирішення науково-прикладної задачі у галузі кваліметрії – оцінки якості програмного забезпечення засобів вимірювань шляхом розроблення нових та вдосконалення існуючих методів визначення якісних показників ПП, що має важливе значення при здійсненні сертифікації ПЗ.

На основі проведених аналізу та досліджень отримані такі нові наукові та прикладні результати:

1. Розроблено модель кваліметричної шкали ПП на основі ряду Фібоначчі з числовими поділками 1; 0,618; 0,382; 0,236; 0,146; 0, що у порівнянні із рівномірною інтервальною шкалою, та шкалою, побудованою на основі функції Харрінгтона, краще описує співвідношення кількісних оцінок (СКВ: 1,18; 2,15; і 1,55 відповідно) у випадку апроксимації лінійною функцією.

2. Розроблені нові принципи побудови «Дерев якості» та «Дерев вимірювальних характеристик якості», відмінністю яких від існуючих методів побудови дерев властивостей є відповідність довжини їх «гілок» числовим значенням характеристик якісних показників, що дає змогу візуально оцінити рівень якості оціночних елементів, метрик, критеріїв, факторів, узагальненого показника якості.

3. Удосконалено ієрархічну структуру показників якості ПП, наведених у національних і міжнародних нормативних документах, та розроблені методи визначення цих показників, що дозволяє адаптувати ці нормативні документи для сертифікації програмних продуктів.

4. Розвинені методи оцінки якісних показників програмного забезпечення шляхом формування узагальненого показника якості в умовах невизначеності, що дає можливість здійснювати порівняння однотипних ПП. Експериментально визначено узагальнений показник якості для 407368.00001-01 «Програма перевірки побутових лічильників газу», який становить $Q=0,785$.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ

ПРАЦІ, В ЯКИХ ОПУБЛІКОВАНІ ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Андрейко В.М. Кваліметрія програмного забезпечення засобів вимірювань: Монографія / В.М. Андрейко. – Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2016. – 120 с.
2. Кузь М.В. Дослідження ефективності стандартизації програмних засобів повірочних установок лічильників газу/ М.В. Кузь, В.М. Андрейко, М.В. Руденко // Наукові вісті Галицької Академії. – 2010.- №2. – С. 26-30.
3. Козленко Н. И. Определение измерительных характеристик программного обеспечения электронных корректоров объема газа / Н. И. Козленко, Н. В. Кузь, С. А. Войтык, В. Н. Андрейко // Мир измерений. – 2015. – №2. С. 14-17.
4. Кузь М.В. Методологія формування узагальненого критерію якості програмного забезпечення в умовах невизначеності. / М.В. Кузь, Я.Т. Соловко, В.М. Андрейко. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2015. – №5. С. 104-107.
5. Андрейко В.Н. Метрическое «дерево качества» программных средств / В.Н. Андрейко // Оралдың ғылым жаршысы. – 2015. – №23(154). – С. 78-83. (Закордонна – Казахстан).
6. Кузь М.В. Кваліметричні шкали програмних продуктів. / М.В.Кузь, В.М.Андрейко // Методи та прилади контролю якості. 2016. – №1(36). – С. 54-62.
7. Віткін Л.М. Методика визначення якісних показників програмного забезпечення засобів вимірювальної техніки / Л.М. Віткін, М.В. Кузь, В.М. Андрейко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2017. – №1 (57). – с. 109-113.

ПРАЦІ, ЯКІ ЗАСВІДЧУЮТЬ АПРОБАЦІЮ МАТЕРІАЛІВ ДИСЕРТАЦІЇ

8. Кузь М.В. Методологія оцінки якісних показників програмного забезпечення засобів вимірювальної техніки / М.В. Кузь, В.М. Андрейко // Прикладні науково-технічні дослідження : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., 5-7 квітня 2017 р., Івано-Франківськ: матеріали конф. – Академія технічних наук України. – 2017. – с. 32-33.
9. Андрейко В.М. «Дерево якості» програмних засобів з числовими характеристиками їх показників якості / В.М. Андрейко // Інтеграція науки і практики як механізм ефективного розвитку сучасного проектування: всеукр. наук.-практ. конф., 26 листопада 2013 р., Івано-Франківськ: матеріали конф. – Івано-Франківськ: Івано-Франківський університет права ім. Короля Данила Галицького. – 2013 – С. 197-200.
10. Кузь М.В. Атестація алгоритмів роботи програмного забезпечення вимірювальних комплексів об'єму газу / М.В. Кузь, В.М. Андрейко // Приладобудування: стан і перспективи: 13-а міжнар. наук.-техн. конф., 23-24 квітня 2014 р., Київ: зб. тез доповідей – Київ: НТУУ «КПІ». – 2014. – С. 219-220.
11. Андрейко В.М. Стандартизація програмного забезпечення засобів вимірювальної техніки / В.М. Андрейко // Наука та освіта ХХІ століття: звітна викладацька та студентська наук.-практ. конф., 30 квітня 2014 р., Івано-Франківськ:

матеріали конф. – Івано-Франківськ: Івано-Франківський університет права імені Короля Данила Галицького. – 2014. – С. 417-418.

12. Кузь М.В. Аналіз вимог до документування програмних продуктів / М.В. Кузь, В.М. Андрейко // Проблеми та перспективи розвитку проектної діяльності: теорія, практика, інновації всеукр. наук.-практ. конф., 12 листопада 2014р. Івано-Франківськ: матеріали конф. – Івано-Франківськ: Івано-Франківський університет права імені Короля Данила Галицького. – 2014. – С. 37-40.

13. Андрейко В.М. Метод визначення узагальненого критерію якості програмного забезпечення / В.М. Андрейко // Наука та освіта ХХІ століття: звітна викладацька та студентська наук.-практ. конф., 7 травня 2015р., Івано-Франківськ: матеріали конф. – Івано-Франківськ: Івано-Франківський університет права імені Короля Данила Галицького. – 2015. – С. 366-368.

14. Кузь М.В. Нормативні вимоги до часових характеристик програмного забезпечення засобів вимірювальної техніки / М.В. Кузь, В.М. Андрейко // Наука та освіта ХХІ століття: звітна викладацька та студентська наук.-практ. конф. 7 травня 2015р., Івано-Франківськ: матеріали конф. – Івано-Франківськ: Івано-Франківський університет права ім. Короля Данила Галицького. – 2015. – С. 376-378.

15. Андрейко В.М. Дослідження адекватності кваліметричних шкал програмних продуктів / В.М. Андрейко // Виклик інформаційного суспільства: проблеми масової комунікації та інформаційних технологій: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., 5-6 травня 2017 р., Івано-Франківськ: матеріали конф. – Івано-Франківський університет права імені Короля Данила Галицького. – 2017. – с. 3-7.

16. Кузь М.В. Удосконалення оціночної шкали показників якості програмного забезпечення / М.В. Кузь, В.М. Андрейко // Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання: матеріали 8-ої міжнар. наук.-техн. конф. пам'яті професора Ігоря Кісіля, 14-16 листопада 2017 р., м. Івано-Франківськ. – 2017. – С. 145-146.

ПУБЛІКАЦІЇ, ЯКІ ДОДАТКОВО ВІДОБРАЖАЮТЬ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ

17. Пат. 101554 С2, МПК (2013.01) G01F 5/00 G01F 25/00. Установа для повірки вимірювальних комплексів газу/ Кузь М.В., Радиш С.В., Андрейко В.М.; заявники і патентовласники Кузь М.В., Радиш С.В., Андрейко В.М. – №а2011 11126. – заявл. 19.09.2011. – опубл. 10.04.2013. – Бюл. № 7. – 4 с.

АНОТАЦІЯ

Андрейко В.М. Розвиток методів оцінки якості програмного забезпечення засобів вимірювальної техніки під час сертифікаційних випробувань. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.02 «Стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення» (15 – Автоматизація та приладобудування). – Приватний вищий навчальний заклад Університет Короля Данила, Івано-Франківськ, 2017, Національний науковий центр «Інститут метрології», Харків, 2017.

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню важливої науково-прикладної задачі у галузі кваліметрії – оцінки якості програмного забезпечення засобів вимірювань шляхом розроблення нових та вдосконалення існуючих методів визначення якісних показників ПП, що має важливе значення при здійсненні сертифікації ПЗ.

Для вирішення сформульованої задачі розроблена модель кваліметричної шкали програмних продуктів на основі ряду Фібоначчі; розвинені нормативні та методичні основи оцінки якісних показників програмного забезпечення засобів вимірювань шляхом формування узагальненого показника якості; розроблені графоаналітичні методи побудови «Дерев якості» та «Дерев вимірюваних характеристик якості» з наведенням числових характеристик якісних показників.

Ключові слова: програмне забезпечення, засоби вимірювальної техніки, дерево якості, дерево властивостей, узагальнений показник якості.

АННОТАЦИЯ

Андрейко В.М. Развитие методов оценки качества программного обеспечения средств измерительной техники при сертификационных испытаниях. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.01.02 «Стандартизация, сертификация и метрологическое обеспечение» (15 – Автоматизация и приборостроение). – Частное высшее учебное заведение Університет Короля Данила, Івано-Франковск, 2017, Национальный научный центр «Институт метрологии», Харьков, 2017.

Диссертация посвящена решению важной научно-прикладной задачи в области кваліметрії - оценки качества программного обеспечения средств измерений путем разработки новых и совершенствования существующих методов определения качественных показателей ПП, имеет важное значение при осуществлении сертификации ПО.

Для решения сформулированной задачи разработана модель кваліметрической шкалы программных продуктов на основе ряда Фібоначчі; развиты нормативные и методические основы оценки качественных показателей программного обеспечения средств измерений путем формирования обобщенного показателя качества; разработаны графоаналитические методы построения «Деревьев качества» и «Деревьев измеряемых характеристик качества» с приведением числовых характеристик качественных показателей.

Ключевые слова: программное обеспечение, средства измерительной техники, дерево качества, дерево свойств, обобщенный показатель качества.

ABSTRACT

Andreyko V.M. The development to the methods of measuring instruments software quality estimation. – Qualifying scientific work on the manuscript.

Ph.D. thesis in Engineering Science in specialty 05.01.02 «Standardization, certification and metrological assurance» (15 – Automation and instrumentation). – A private institution of higher education University of King Danylo, Ivano-Frankivsk, 2017, National scientific centre «Institute of Metrology», Kharkiv, 2017.

The dissertation is devoted for solving the important scientific and engineering problem - development of scientific and methodical basis for measuring instrumentation software quality evaluation using new methods development or existing methods improvement for software qualimetry.

Scientific novelty of the obtained results.

A model of the software qualitic scale based on the Fibonacci series was used for the first time to quantify the results of the determination of qualitative indicators, which provides the best characteristics when approximating the linear function, in the comparison with the traditional uniform interval scale and the scale constructed on the basis of the Harrington function.

New principles of the «Quality Tree» and «Tree of Measured Quality Characteristics» were developed for the first time by scaling the length of the «tree branches» in proportion to the numerical characteristics of the software quality indicators, which made it possible to visually assess the quality of the evaluation elements, metrics, criteria, factors and the generalized indicator quality.

The hierarchical structure of the software quality indicators in the national and international normative documents has been improved, and the methods of defining these indicators have been developed, which allows adapting these regulatory documents for software product certification.

The methods of evaluating the software quality indicators of measuring devices were further developed by forming a generalized quality index, which allows comparing similar types of software.

The practical significance of the results obtained is to develop a test procedure for software certification, the introduction into the production activities of the Research Laboratory of Testing Software Programs of the Galician Academy, which provided, starting in 2014, testing of 15 software products; development of the method 407368.00001-01 «The program of verification of domestic gas meters. Program and test method» introduced into the production activities of the IMF «Tempo»; its use has ensured, annually, starting from 2010, the software testing 10 calibration gas meters; the scientific results obtained in the work are introduced into the educational process of the Department of Information Technologies and Software Engineering at King Danylo University in teaching disciplines: «Software and Test Quality», «Software Documentation». New technical solutions for determining the software time parameters of gas volume measuring complexes, which are developed in the dissertation, are protected by the patent of Ukraine for the invention.

Keywords: software, measurements instrumentation, quality tree, feature tree, quality score generalized.