

УДК 519.718

М.М. РЕДКОВСЬКА*, О.В. ФЕДУХІН*

АТРИБУТИВНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ГАРАНТОЗДАТНОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З УРАХУВАННЯМ ДСТУ ISO/IEC 25051:2016

*Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, м. Київ, Україна

Анотація. Стаття присвячена розробці атрибутивної моделі гарантоздатного програмного забезпечення (ПЗ), визначення метрик гарантоздатного ПЗ та розробки об'єктно незалежного універсального підходу до оцінки атрибутів та метрик гарантоздатного ПЗ. Атрибутивна модель гарантоздатного ПЗ (АМППЗ) зроблена за аналогією атрибутивної моделі гарантоздатності комп'ютерних систем (КС) і розширена спеціальними атрибутами і метриками відповідно до вимог ДСТУ ISO/IEC 25051:2016 Інженерія систем і програмних засобів. Вимоги до якості систем і програмних засобів та її оцінювання (SQuaRE). Вимоги до якості готового для застосування програмного продукту (RUSP) та інструкції щодо його тестування (ISO/IEC 25051:2014, IDT). Визначені основні атрибути моделі: функціональна придатність, рівень продуктивності, сумісність, доступність використання, надійність, безпека, зручність супроводу, мобільність, ефективність, продуктивність, задоволеність, відсутність ризиків, покриття, надлишковість, самоконтроль. Розроблено об'єктно незалежний універсальний підхід до оцінки гарантоздатності ПЗ за визначеними атрибутами, метриками та критеріями. Комплексна оцінка рівня гарантоздатності ПЗ здійснюється за АМППЗ у вигляді лінійного функціонала, що містить оцінки всіх атрибутів моделі. Розглянута кількісна оцінка рівня гарантоздатності ПЗ на прикладі Лабораторної інформаційної системи (ЛІС), яка автоматизує роботу медичних лабораторій. Наведений приклад ПЗ має загальну оцінку, яка відповідно до шкали оцінок має задовільний рівень гарантоздатності. Атрибутивна модель гарантоздатного ПЗ, оцінка рівнів гарантоздатності можуть бути використані фахівцями в галузі гарантоздатності у різних областях застосування.

Ключові слова: гарантоздатне програмне забезпечення, атрибути гарантоздатного ПЗ, оцінка рівня гарантоздатності ПЗ.

Abstract. The article is devoted to the development of an attributive model of dependable software, defining its metrics, and development of an object-independent universal approach to assessment attributes and dependable software metrics. The attributive model of dependable software (AMDS) is designed by analogy with the attributive model for dependable computer systems (CS) and expanded with special attributes and metrics according to the ДСТУ ISO/IEC 25051:2016 Systems and software engineering. Requirements for the quality of systems and software tools and their evaluation (SQuaRE). Requirements for the quality of ready-to-use software product (RUSP) and instructions for its testing (ISO/IEC 25051:2014, IDT). The main attributes of the model have been defined. These are functional suitability, performance level, compatibility, availability of use, reliability, security, ease of support, mobility, efficiency, productivity, satisfaction, the lack of risks, coverage, redundancy, and self-control. An object-independent multi-purpose approach to the evaluation of software attributes and metrics has been developed. A quantitative assessment of the level of software dependability has been considered using the example of the Laboratory Information System (LIS) which automates the work of medical laboratories. The given example of the software has an overall rating that, according to the rating scale, has a satisfactory level of dependability. The attributive model of dependable software and the assessment of dependability levels can be used by specialists in the field of system dependability in various fields of application.

Keywords: dependable software, dependable software attributes, assessment of the software dependability level.

1. Вступ

Гарантоздатне програмне забезпечення (ГПЗ) – безвідмовне та безпечне ПЗ з гарантованим достовірним функціонуванням. За аналогією з атрибутивною моделлю гарантоздатності комп'ютерних систем (АМГ КС) [1] та атрибутивною моделлю гарантоздатності ПЗ (АМГПЗ) [2] розроблено атрибутивну модель з урахуванням вимог до ПЗ загального призначення відповідно до ДСТУ ISO/IEC 25051:2016 Інженерія систем і програмних засобів. Вимоги до якості систем і програмних засобів та її оцінювання (SQuaRE). Вимоги до якості готового для застосування програмного продукту (RUSP) та інструкції щодо його тестування (ISO/IEC 25051:2014, IDT) [3], розширено спеціальними атрибутами й метриками, яким має відповідати ПЗ комп'ютерних систем.

2. Аналіз джерел інформації

Різні аспекти гарантоздатності, принципи побудови та реалізації гарантоздатних КС як надійних та безпечних систем детально досліджувалися протягом останніх більш ніж трьох десятиліть. Першоджерелом можна вважати спеціальний випуск журналу «IEEE Trans. On Computers» у 1986 р. за редакцією Avizienis A. та Laprie J.-C. [4]. У роботі було сформульовано принцип «dependable computing» (гарантоздатних обчислень) як обчислень, стійких до відмови апаратних і програмних засобів, тобто до відмов, обумовлених також проявом їх дефектів, внесених при розробці і не виявлених під час тестування.

Через 18 років Avizienis A., Laprie J.-C., Raudell B. і Landweher C. у [5] узагальнили результати і зафіксували підсумки розвитку гарантоздатних (як надійних та безпечних) обчислень, визначивши досить повну та збалансовану систему понять. На той час термін «dependability» як гарантоздатність («розширена» надійність) було вже визначено у тому чи іншому вигляді у низці стандартів, технічних звітів і монографій.

У вітчизняній літературі запровадили та стандартизували термін «гарантоздатність» у роботах Харченка В.С. [6–9], де проведено аналіз комплексу проблем, пов'язаних із розвитком теорії та практики гарантоздатних КС. Уточнено основні поняття та структуру явища гарантоздатності. Сформульовано базові парадигми та принципи забезпечення гарантоздатності КС. Проаналізовано найважливіші завдання, пов'язані з розробкою гарантоздатних КС (ГКС).

Основні напрями досліджень в області гарантоздатності комп'ютерних систем визначені також у статті Федухіна О.В., Мудли Б.Г. [10], а у статті Федухіна О.В. [11] розглянуті вже питання використання атрибутивної моделі гарантоздатності для кількісної оцінки досягнутого рівня гарантоздатності розроблюваних КС. Рекомендації щодо побудови моделі якості програмного забезпечення у відповідності з міжнародним стандартом ISO/IEC 9126-(1:4) розглянуті у статті Чумакової Т.Я., Циганенка С.М. [12]. Вперше розробка атрибутивної моделі гарантоздатного забезпечення (ГПЗ), визначення метрик ГПЗ та розробка універсального підходу до оцінки атрибутів і метрик у відповідності з рекомендаціями ДСТУ ISO/IEC 9126 [13] здійснено у статті Сеспедес Гарсія П.Д., Сеспедес Гарсія Н.В. [14].

3. Постановка завдання дослідження

Метою дослідження є розробка атрибутивної моделі ГПЗ, визначення метрик ГПЗ, розробка комплексної та порівняльної оцінок атрибутів та метрик ГПЗ з урахуванням вимог до ПЗ загального призначення (ДСТУ ISO/IEC 25051:2016 Інженерія систем і програмних засобів). Вимоги до якості систем і програмних засобів та її оцінювання (SQuaRE). Вимоги до якості готового для застосування програмного продукту (RUSP) та інструкції щодо його тестування (ISO/IEC 25051:2014, IDT).

4. Основна частина досліджень

4.1. Атрибути, метрики, визначення метрик ГПЗ

Атрибути ГПЗ є:

- | | |
|-------------------------------|--------------------------|
| 1) функціональна придатність; | 9) ефективність; |
| 2) рівень продуктивності; | 10) продуктивність; |
| 3) сумісність; | 11) задоволеність; |
| 4) доступність використання; | 12) відсутність ризиків; |
| 5) надійність; | 13) покриття; |
| 6) безпека; | 14) надлишковість; |
| 7) зручність супроводу; | 15) самоконтроль. |
| 8) мобільність; | |

Розглянемо кожен атрибут ГПЗ окремо, виділимо і визначимо його метрики, а також дамо визначення кожної метрики.

1. Функціональна придатність (*functional suitability*) – ступінь, в якому продукт або система забезпечують виконання функцій відповідно до заявлених при використанні в зазначених умовах. Метрики функціональної придатності:

- функціональна повнота (*functional completeness*) – ступінь покриття сукупністю функцій всіх певних завдань та цілей користувача;
- функціональна коректність (*functional correctness*) – ступінь забезпечення продуктом або системою необхідного ступеня точності коректних результатів;
- функціональна доцільність (*functional appropriateness*) – ступінь функціонального спрощення виконання певних завдань та досягнення цілей.

2. Рівень продуктивності (*performance efficiency*) – продуктивність щодо суми використаних за певних умов ресурсів. Метрики рівня продуктивності:

- тимчасові характеристики (*time behaviour*) – ступінь відповідності вимогам щодо часу відгуку, часу обробки та показників пропускнуої спроможності продукту або системи;
- використання ресурсів (*resource utilization*) – ступінь задоволення вимог щодо споживання обсягів та видів ресурсів продуктом або системою при виконанні їх функцій;
- потенційні можливості (*capacity*) – ступінь відповідності вимогам граничних значень параметрів продукту.

3. Сумісність (*compatibility*) – здатність продукту, системи або компонента обмінюватися інформацією з іншими продуктами, системами або компонентами та/або виконувати необхідні функції при спільному використанні цих самих апаратних засобів. Метрики сумісності:

- співіснування (*co-existence*) – здатність продукту спільно функціонувати з іншими незалежними продуктами у спільному середовищі з розподіленням спільних ресурсів і без негативного впливу на будь-який продукт;
- функціональна сумісність (*interoperability*) – здатність двох або більше систем, продуктів або компонентів обмінюватися інформацією та використовувати таку інформацію.

4. Доступність використання (*usability*) – ступінь, в якому продукт чи система можуть бути використані певними користувачами для досягнення конкретних цілей з ефективністю, результативністю та задоволеністю в заданому контексті використання. Метрики зручності використання:

- визначення придатності (*appropriateness reconcilability*) – можливість користувачів зрозуміти, чи підходить продукт чи система для їх потреб, чи можливо порівняти з функціональною доцільністю (*functional appropriateness*);
- досліджуваність (*learnability*) – можливість використання продукту або системи певними користувачами для досягнення конкретних цілей навчання для експлуатації

продукту або системи з ефективністю, результативністю, свободою від ризику та відповідно до вимог у зазначеному контексті використання;

- керуваність (operability) – наявність у продукті або системі атрибутів, які забезпечують просте керування та контроль;
- захищеність від помилки користувача (user error protection) – рівень системного захисту користувачів від помилок;
- естетика інтерфейсу користувача (user interface aesthetics) – ступінь «приємності» та «задоволеності» користувача інтерфейсом взаємодії з користувачем;
- доступність (accessibility) – можливість використання продукту або системи для досягнення певної мети у вказаному контексті використання широким колом людей із різними можливостями.

5. Надійність (reliability) – ступінь виконання системою, продуктом або компонентом певних функцій за зазначених протягом встановленого періоду часу. Метрики надійності:

- завершеність (maturity) – ступінь відповідності системи, продукту чи компонента при нормальній роботі вимогам надійності;
- готовність (availability) – ступінь працездатності та доступності системи, продукту або компонента;
- відмовостійкість (fault tolerance) – здатність системи, продукту або компонента працювати, як призначено, не зважаючи на наявність дефектів програмного забезпечення або апаратних засобів;
- відновлюваність (recoverability) – здатність продукту або системи відновити дані та необхідний стан системи у разі переривання або збою.

6. Безпека (security) – ступінь захищеності інформації та даних, що забезпечуються продуктом або системою шляхом обмеження доступу людей, інших продуктів або систем до даних відповідно до типів та рівнів авторизації. Метрики захисту захищеності:

- конфіденційність (confidentiality) – забезпечення продуктом або системою обмеження доступу до даних лише для тих, кому доступ дозволено;
- цілісність (integrity) – ступінь запобігання системі, продукту або компоненту несанкціонованого доступу, або модифікації комп'ютерних програм, або даних;
- невідкинутість (non-repudiation) – ступінь, з яким може бути доведено факт події або дії таким чином, що цей факт може бути відкинута будь-коли пізніше;
- відстежуваність (accountability) – ступінь, до якого дії об'єкта можуть бути простежені однозначно;
- справжність (authenticity) – ступінь достовірності тотожності об'єкта чи ресурсу необхідного об'єкта чи ресурсу.

7. Зручність супроводу (maintainability) – результативність та ефективність, з якими продукт чи система можуть бути модифіковані передбачуваними спеціалістами з обслуговування. Метрики супроводжуваності, модифікованості:

- модульність (modularity) – ступінь представлення системи або комп'ютерної програми у вигляді окремих блоків таким чином, щоб зміна одного компонента мала мінімальний вплив на інші компоненти;
- можливість багатократного використання (reusability) – ступінь, у якому актив може бути використаний у кількох системах або у створенні інших активів;
- аналізованість (analyzability) – ступінь простоти оцінки впливу змін однієї або більше частин на продукт, або систему, або простоти діагностики продукту для виявлення нестач і причин відмов, або простоти ідентифікації частин, що підлягають зміні;
- модифікованість (modifiability) – ступінь простоти ефективної та раціональної зміни продукту або системи без додавання дефектів та зниження якості продукту;

• тестованість (testability) – ступінь простоти ефективного та раціонального визначення для системи, продукту або компонента критеріїв тестування, а також простоти виконання тестування з метою визначення відповідності цим критеріям.

8. Мобільність (portability) – ступінь простоти ефективного та раціонального перенесення системи, продукту або компонента з одного середовища (апаратних засобів, програмного забезпечення, операційних умов або умов використання) в інше. Метрики мобільності:

• адаптованість (adaptability) – ступінь простоти ефективною та раціональною адаптації для відмінних або вдосконалених апаратних засобів, програмного забезпечення, інших операційних середовищ або умов використання;

• встановлюваність (installability) – ступінь простоти ефективною та раціональною, успішною установки та/або видалення продукту або системи в заданому середовищі;

• взаємозамінність (replaceability) – здатність продукту замінити інший конкретний програмний продукт для досягнення тих же цілей у тих самих умовах.

9. Ефективність (effectiveness) – ПЗ повинен працювати у відповідності з функціями забезпечення ефективності, які вказані в описі продукту та документації. Метрики ефективності:

• точність досягнення цілей;

• повнота досягнення цілей.

10. Продуктивність (efficiency) – зв'язок, точність та повнота досягнення користувачем цілей із ресурсами, які використовувалися. Метрики продуктивності:

• зв'язок точності та повноти досягнення цілей.

11. Вдоволеність (usefulness) – здатність продукту або системи вдовольняти вимоги користувача в заданому контексті використання. Метрики вдоволеності:

• повноцінність (usefulness) – ступінь вдоволеності користувача досягненням цілей, включаючи результати використання та наслідки використання;

• довіра (trust) – ступінь упевненості користувача в тому, що продукт або система будуть виконувати свої функції так, як це передбачувалося;

• задоволення (pleasure) – ступінь задоволення користувача від вдоволення персональних вимог;

• комфорт (comfort) – ступінь задоволеності користувача фізичним комфортом.

12. Відсутність ризиків (freedom from risk) – здатність продукту чи системи пом'якшувати потенційний ризик для економічного становища, життя, здоров'я чи довкілля). Метрики відсутності ризиків:

• пом'якшення негативних наслідків економічного ризику (economic risk mitigation) – (здатність продукту або системи пом'якшувати потенційний ризик для фінансового стану та ефективної роботи або інших ресурсів у передбачуваних умовах використання);

• пом'якшення негативних ризиків для здоров'я та безпеки (health and safety risk mitigation) – здатність продукту чи системи пом'якшувати потенційний ризик для людей у передбачуваних умовах використання;

• пом'якшення негативних наслідків екологічного ризику (environmental risk mitigation) – здатність продукту чи системи пом'якшувати потенційний ризик для майна чи довкілля у передбачуваних умовах використання.

13. Покриття (context coverage) – ступінь, у якому продукт чи система можуть бути використані з ефективністю, результативністю, свободою від ризику та відповідно до вимог, як у спочатку визначених умовах використання, так і в умовах, що виходять за специфікації. Метрики покриття:

- повнота контексту (context completeness) – ступінь, в якому продукт або система можуть бути використані з ефективністю, результативністю, свободою від ризику та відповідно до вимог за всіх зазначених умов використання;

- гнучкість (flexibility) – ступінь, в якому продукт або система можуть бути використані з ефективністю, результативністю, свободою від ризику та відповідно до вимог в умовах, що виходять за рамки, спочатку визначених у вимогах.

14. Надлишковість (redundancy) – здатність ПЗ підтримувати працездатність функціонування двома та більше методами (способами). Метрики надлишковості:

- тимчасова надлишковість – (наявність можливості відновлення обчислювального процесу, наявність допоміжних технічних/програмних компонентів, необхідних для ПЗ під час його функціонування);

- інформаційна надлишковість – наявність додаткових обсягів інформації (сигналів) про працездатність ПЗ;

- структурна надлишковість – багатoversійність, n -versійність із контролем збігу (перевірки) результатів (наявність у ПЗ кількох версій виконання заявлених функцій (обчислень) із контролем збігу (перевірки) результатів).

15. Самоконтроль (self-control) – здатність аналізувати функціонування ПЗ на всіх етапах використання за призначенням засобами внутрішнього контролю. Метрики самоконтролю:

- самовідновлюваність – здатність ПЗ відновлювати функціонування після збоїв;

- самоперевірюваність – здатність ПЗ до самоаналізу функціонування та тестування несправностей засобами внутрішнього контролю;

- попередження помилок – здатність ПЗ аналізувати вхідні (проміжні, результуючі) дані та аналізувати їх на предмет некоректності з подальшим оповіщенням;

- стійкість до помилок – здатність ПЗ зберігати працездатність при виникненні помилок;

- робастність – стійкість ПЗ до помилок під час виконання заявлених функцій, а також здатність зберігати працездатний стан під час роботи з неприпустимими чи хибними даними;

- самоприспосованість – ступінь пристосування ПЗ до різних технічних систем без проведення додаткових дій користувачем, крім заздалегідь обумовлених у документації.

5. Кількісна оцінка рівня гарантоздатності ПЗ

Розробимо об'єктно незалежний універсальний підхід до оцінки атрибутів та метрик ПЗ [2] (табл. 1–15). Кожному атрибуту відповідає свій набір метрик, а кожній метриці відповідає набір критеріїв, завдяки яким відбувається оцінка метрик ПЗ. Після обчислення оцінок метрик проводиться оцінка кожного атрибута. Існує правило: сума вагових коефіцієнтів метрик у конкретному атрибуті та сума вагових коефіцієнтів критеріїв у конкретній метриці дорівнює 1. Загальна оцінка критерію формується із усередненої оцінки підкритеріїв. Комплексна оцінка рівня гарантоздатності ПЗ здійснюється за АМГ ПЗ у вигляді лінійного функціонала, що містить оцінки всіх атрибутів моделі.

Для всіх показників (атрибутів, метрик, критеріїв та підкритеріїв) приймається єдина шкала оцінки від 0 до 1. У процесі оцінки якості ПЗ на кожному рівні (крім рівня підкритерія) проводиться розрахунок показників якості ПЗ, тобто визначення кількісних значень абсолютних показників P_{ij} , де j – порядковий номер показника даного рівня для i -го показника вищестоящого рівня та базового значення $P_{ij}^{баз}$.

Кожний показник якості 2-го і 3-го рівнів (метрик та критеріїв) характеризується двома числовими параметрами – кількісним значенням і ваговим коефіцієнтом (V_{ij} , де j – порядковий номер показника даного рівня для i -го показника вищестоящого рівня).

Метод отримання вагових коефіцієнтів – експертний. Сума вагових коефіцієнтів показників рівня (m), які відносяться до i -го показника вищого рівня ($m-1$), є величина постійна. Сума вагових коефіцієнтів приймається рівною одиниці.

$$\sum_{j=1}^n V_{ij} = Const = 1,$$

де $j = 1 \div n$ – порядковий номер показника рівня (m);

n – число показників рівня (m), які відносяться до i -го показника вищого рівня ($m-1$).

Загальна оцінка якості ПЗ в цілому формується експертами за набором отриманих значень оцінок атрибутів K_i^A , де i – порядковий номер атрибута. Значення оцінок підкритеріїв (OK) визначаються експертним методом шляхом встановлення конкретного значення.

Визначення усередненої оцінки K_{kq} кожного підкритерію за декількома його значеннями K_e здійснюється за формулою

$$K_{kq} = \frac{\sum_{e=1}^t K_e}{t},$$

де $e = 1 \div t$ – порядковий номер OK ;

t – число значень підкритерію (OK);

k – порядковий номер критерію;

q – порядковий номер OK .

Результуюча оцінка k -ого критерію j -ої метрики визначається за формулою

$$P_{jk}^K = \frac{\sum_{q=1}^Q K_{kq}}{Q},$$

де $q = 1 \div Q$ – порядковий номер OK в k -ому критерію;

Q – число OK в k -ому критерію.

Абсолютна оцінка j -ої метрики i -го атрибута якості визначається за формулою

$$P_{ij} = \sum_{k=1}^n (P_{jk}^K \times V_{jk}^K),$$

де $k = 1 \div n$ – порядковий номер критерію в j -й метриці;

n – число критеріїв в j -й метриці;

V_{jk}^K – ваговий коефіцієнт k -ого критерію в j -й метриці.

Відносна оцінка j -ої метрики i -го атрибута якості визначається за формулою

$$M_{ij} = \frac{P_{ij}}{P_{ij}^{\text{баз}}},$$

де $P_{ij}^{баз}$ – базова оцінка j -ої метрики i -го атрибута.

Примітка. У випадку відсутності базових значень (оцінок) показників якості існуючого аналога чи розрахункового програмного продукту, який приймають за еталонний зразок, значення $P_{ij}^{баз}$ приймається рівним за 1.

Значення оцінки i -го атрибута якості (K_i^A) визначається за формулою

$$K_i^A = \sum_{j=1}^n (M_{ij} \times V_{ij}^M),$$

де $j = 1 \div n$ – порядковий номер метрики в i -ому атрибуті;

n – число метрик в i -ому атрибуті;

V_{ij}^M – ваговий коефіцієнт j -ої метрики в i -ому атрибуті.

Значення загальної оцінки гарантоздатності програмного забезпечення (K^A) визначається за формулою

$$K^A = \sum_{i=1}^n K_i^A,$$

де $i = 1 \div n$ – порядковий номер атрибута в наборі атрибутів;

n – число атрибутів у наборі атрибутів.

6. Узагальнена атрибутивна оцінка рівня гарантоздатності ПЗ

Приклад. Розглянуте ПЗ – лабораторна інформаційна система (ЛІС), яка автоматизує роботу медичних лабораторій. ЛІС може використовуватися для реєстрації візиту клієнта (пацієнта) та його замовлення з автоматичним маркуванням біоматеріалу в пункті реєстрації; відмітки та здійснення необхідних маніпуляцій клієнту (пацієнту) з можливою заміною типу пробірок із матеріалом; перемаркування зразка в лабораторії при сортуванні чи розборі матеріалу та автоматичного формування вторинних пробірок із подальшою логістикою по відділах виконання; аутсорсингу (сортування і контролю зразків, що відправляються для дослідження в інші лабораторії); автоматичного розподілу роботи між відділами лабораторії чи лаборантами; розрахунку планового часу виконання аналізів і контролю за їх виконанням; інтеграції з медичним устаткуванням та лабораторними аналізаторами; забезпечення ієрархії посад та адміністрування доступу до даних; друку всієї необхідної первинної документації на робочих місцях; повної маркетингової статистики щодо клієнтів (пацієнтів), направляючих лікарів, договірних організацій тощо.

Таблиця 1 – Основні метрики атрибута *Функціональна придатність*

Атрибут, K_i^A	Оцінка атрибута	Метрика, M_{ij}	Коеф. ваги метрики, V_{ij}^M	Оцінка метрики	Коеф. ваги критерію, V_{jk}^K	Загальна оцінка критерію, P_{jk}^K	Найменування критерію/підкритерію	Оцінка критерію, K_e
Функціональна придатність	0,5* 0,66+ 0,3* 0,8+ 0,2* 0,7 =0,71	Функціональна повнота	0,5	0,6*0,8 +0,2* 0,5+0,2* 0,4= 0,66	0,6	0,8/1=0,8	Повнота задекларованих функцій та зв'язків	0,8
				0,2	0,5/1=0,5	Реалізація функції тестування	0,6	

Продовж. табл. 1

					0,2	0,4/1=0,4	Середовище функціонування	0,4
		Функціональна коректність	0,3	$1*0,8=0,8$	1	0,8/1=0,8	Забезпечення продуктом необхідного ступеня точності коректних результатів	0,8
		Функціональна доцільність	0,2	$0,5*0,7+0,5*0,7=0,7$	0,5	0,7/1=0,7	Покриття передбачувальних потреб	0,7
					0,5	0,7/1=0,7	Спрощення виконання завдань	0,7

Таблиця 2 – Основні метрики атрибута *Рівень продуктивності*

Атрибут, K_i^A	Оцінка атрибута	Метрика, M_{ij}	Коеф. ваги метрики, V_{ij}^M	Оцінка метрики	Коеф. ваги критерію, V_{jk}^K	Загальна оцінка критерію, P_{jk}^K	Найменування критерію/ підкритерію	Оцінка критерію, K_e	
<i>Рівень продуктивності</i>	0,3* 0,76+0,4* 0,95+ 0,3* 0,68= 0,812	Тимчасові характеристики	0,3	0,6*0,8+ 0,4* 0,7= 0,76	0,6	0,8/1=0,8	Відповідність вимогам щодо часу відгуку	0,8	
					0,4	0,7/1=0,7	Відповідність вимогам щодо часу обробки	0,7	
	Використання ресурсів	0,4	0,5*0,9+ 0,5*1= 0,95	0,5	0,9/1=0,9	Вимоги щодо споживання обсягів при виконанні функцій	0,9		
				0,5	1/1=1	Види ресурсів при виконанні функцій	1		
	Потенційні можливості	0,3	1*0,68= 0,68	1	(0,8+0,8+ 0,9+0+ 0,9)/5= 0,68	1	Відповідність вимогам граничних параметрів продукту або системи	0,68	
								Кількість елементів, що зберігається	0,8
								Кількість паралельно працюю-	0,8

Продовж. табл. 2

								чих користувачів	
								Емність каналу	0,9
								Пропускна спроможність за транзакціями	0
								Розмір бази даних	0,9

Таблиця 3 – Основні метрики атрибута *Сумісність*

Атрибут, K_i^A	Оцінка атрибута	Метрика, M_{ij}	Коеф. ваги метрики, V_{ij}^M	Оцінка метрики	Коеф. ваги критерію, V_{jk}^K	Загальна оцінка критерію, P_{jk}^K	Найменування критерію/підкритерію	Оцінка критерію, K_e
<i>Сумісність</i>	0,4* 076+0,6* 0,95= 0,874	Співіснування	0,4	0,6*0,8 +0,4* 0,7= 0,76	0,6	0,8/1=0,8	Обмін інформацією з іншими продуктами, системами або компонентами	0,8
					0,4	0,7/1=0,7	Виконання необхідних функцій при спільному використанні	0,7
		Функціональна сумісність	0,6	0,5*0,9 +0,5*1= 0,95	0,5	0,9/1=0,9	Здатність обмінюватися інформацією	0,9
					0,5	1/1=1	Використання інформації	1

Таблиця 4 – Основні метрики атрибута *Доступність використання*

Атрибут, K_i^A	Оцінка атрибута	Метрика, M_{ij}	Коеф. ваги метрики, V_{ij}^M	Оцінка метрики	Коеф. ваги критерію, V_{jk}^K	Загальна оцінка критерію, P_{jk}^K	Найменування критерію/підкритерію	Оцінка критерію, K_e
<i>Доступність використання</i>	0,2* 0,96+ 0,15* 0,75+ 0,15* 0,8+ 0,2* 0,8+ 0,2*	Визначення придатності	0,2	0,6*1+ 0,4*0,9 =0,96	0,6	1/1=1	Придатність продукту до потреб користувача	1
					0,4	0,9/1=0,9	Можливість порівняння з функціональною доцільністю	0,9

Продовж. табл. 4

	$0,8 + 0,1 * 0,8 = 0,8245$	Досліджуваність	0,15	$0,5 * 1 + 0,5 = 0,75$	0,5	1/1=1	Можливість використання продукту користувачем для досягнення цілей навчання	1
					0,5	0,5	Експлуатація продукту з ефективністю, результативністю, свободою від ризику	0,5
		Керованість	0,15	$1 * 0,8 = 0,8$	1	$0,8 / 1 = 0,8$	Наявність атрибутів, які забезпечують просте керування та контроль	0,8
		Захищеність	0,2	$1 * 0,8 = 0,8$	1	$0,8 / 1 = 0,8$	Захист користувача від помилок	0,8
		Естетика інтерфейсу користувача	0,2	$1 * 0,8 = 0,8$	1	$0,8 / 1 = 0,8$	Задоволеність користувача інтерфейсом взаємодії з користувачем	0,8
		Доступність	0,1	$1 * 0,8 = 0,8$	1	$0,8 / 1 = 0,8$	Можливість використання продукту широким колом людей	0,8

Таблиця 5 – Основні метрики атрибута *Надійність*

Атрибут, K_i^A	Оцінка атрибута	Метрика, M_{ij}	Коеф. ваги метрики, V_{ij}^M	Оцінка метрики	Коеф. ваги критерію, V_{jk}^K	Загальна оцінка критерію, P_{jk}^K	Найменування критерію/ підкритерію	Оцінка критерію, K_e
<i>Надійність</i>	$0,3 * 0,9 + 0,3 * 0,9 + 0,2 * 0,9 + 0,2 * 0,8 = 0,88$	Завершеність	0,3	$1 * 0,9 = 0,9$	1	$0,9 / 1 = 0,9$	Вірогідність безвідмовної роботи	0,9
		Готовність	0,3	$0,5 * 0,9 + 0,5 * 0,9 = 0,9$	0,5	$0,9 / 1 = 0,9$	Працездатність продукту або системи	0,9
					0,5	$0,9 / 1 = 0,9$	Доступність продукту або системи	0,9
		Відмовостійкість	0,2	$0,5 * 0,9 + 0,5 * 0,9 = 0,9$	0,5	$0,9 / 1 = 0,9$	Здатність системи працювати, як призначено, не	0,9

Продовж. табл. 5

							зважаючи на дефекти ПЗ	
					0,5	0,9/1=0,9	Здатність системи працювати як призначено, незважаючи на дефекти апаратних засобів	0,9
		Відновлюваність	0,2	1*0,8=0,8	1	0,8/1=0,8	Здатність відновити дані та необхідний стан у разі переривання або збою	0,8

Таблиця 6 – Основні метрики атрибута *Безпека*

Атрибут, K_i^A	Оцінка атрибута	Метрика, M_{ij}	Коеф. ваги метрики, V_{ij}^M	Оцінка метрики	Коеф. ваги критерію, V_{jk}^K	Загальна оцінка критерію, P_{jk}^K	Найменування критерію/підкритерію	Оцінка критерію, K_e
<i>Безпека</i>	0,2* 0,7+ 0,2* 0,9+ 0,2* 0,9+ 0,2* 0,8+ 0,2* 0,9 =0,84	Конфіденційність	0,2	1*0,7=0,7	1	0,7/1=0,7	Доступ для тих, кому дозволено	0,7
		Цілісність	0,2	1*0,9=0,9	1	0,9/1=0,9	Запобігання системою, продуктом або системою несанкціонованого доступу	0,9
		Непідробність	0,2	1*0,9=0,9	1	0,9/1=0,9	Неможливість відкинути доведений факт події	0,9
		Відстежуваність	0,2	1*0,8=0,8	1	0,8/1=0,8	Дії об'єкта, які однозначно простежувані	0,8
		Справжність	0,2	1*0,9=0,9	1	0,9/1=0,9	Можливість тестування всіх вузлів ПЗ	0,9

Таблиця 7 – Основні метрики атрибута *Зручність супроводу*

Атрибут, K_i^A	Оцінка атрибута	Метрика, M_{ij}	Коеф. ваги метрики, V_{ij}^M	Оцінка метрики	Коеф. ваги критерію, V_{jk}^K	Загальна оцінка критерію, P_{jk}^K	Найменування критерію/ підкритерію	Оцінка критерію, K_e
<i>Зручність супроводу</i>	0,3*0,85+0,1*1+0,2*0,84+0,3*1+0,1*0,8=0,873	Модульність	0,3	0,5*0,8+0,5*0,9=0,85	0,5	0,8/1=0,8	Представлення системи у вигляді окремих блоків	0,8
					0,5	0,9/1=0,9	Мінімальний вплив на зміну одного компонента на інші	0,9
	Можливість багатократного використання	0,1	0,5*1+0,5*1=1	0,5	1/1=1	Використання активу у кількох системах	1	
				0,5	1/1=1	Створення інших активів	1	
	Аналізованість	0,2	0,4*0,9+0,3*0,8+0,3*0,8=0,84	0,4	0,9/1=0,9	Вплив змін однієї або більше частин на продукт або систему	0,9	
				0,3	0,8/1=0,8	Простота діагностики продукту для виявлення нестач та причин відмов	0,8	
				0,3	0,8/1=0,8	Простота ідентифікації частин, що підлягають зміні	0,8	
	Модифікованість	0,3	1*1=1	1	1/1=1	Простота зміни продукту без додавання дефектів та зниження якості продукту	0,9	
	Тестованість	0,1	0,5*0,8+0,5*0,8=0,8	0,5	0,8/1=0,8	Простота критеріїв тестування	0,8	
				0,5	0,8/1=0,8	Простота виконання тестування з метою визна-	0,8	

Продовж. табл. 7

							чення відповідності цим критеріям	
--	--	--	--	--	--	--	-----------------------------------	--

Таблиця 8 – Основні метрики атрибута *Мобільність*

Атрибут, K_i^A	Оцінка атрибута	Метрика, M_{ij}	Коеф. ваги метрики, V_{ij}^M	Оцінка метрики	Коеф. ваги критерію, V_{jk}^K	Загальна оцінка критерію, P_{jk}^K	Найменування критерію/ підкритерію	Оцінка критерію, K_e
<i>Мобільність</i>	$0,4*0,9 + 0,4*0,7 + 0,2*0,8 = 0,8$	Адаптованість	0,4	$0,5*0,9 + 0,5*0,9 = 0,9$	0,5	$0,9/1 = 0,9$	Адаптованість до зміни ОС	0,9
					0,5	$0,9/1 = 0,9$	Адаптованість до зміни апаратних засобів	0,9
		Встановлюваність	0,4	$0,6*0,7 + 0,4*0,7 = 0,7$	0,6	$0,7/1 = 0,7$	Простота успішної установки в заданому середовищі	0,7
					0,4	$0,7/1 = 0,7$	Простота видалення продукту в заданому середовищі	0,7
		Взаємозамінність	0,2	$1*0,8 = 0,8$	1	$0,8/1 = 0,8$	Здатність продукту замінити інший програмний продукт для досягнення тих же цілей у тих самих умовах	0,8

Таблиця 9 – Основні метрики атрибута *Ефективність*

Атрибут, K_i^A	Оцінка атрибута	Метрика, M_{ij}	Коеф. ваги метрики, V_{ij}^M	Оцінка метрики	Коеф. ваги критерію, V_{jk}^K	Загальна оцінка критерію, P_{jk}^K	Найменування критерію/ підкритерію	Оцінка критерію, K_e
<i>Ефективність</i>	$1*0,9 = 0,9$	Точність та повнота досягнення цілей	1	$1*0,9 = 0,9$	1	$0,9/1 = 0,9$	Ефективність оцінюють за рівнем результативності та величиною витрачених ресурсів. Ресурси можуть	0,9

Продовж. табл. 9

							містити розумові чи фізичні зусилля, час, матеріали чи фінансові витрати. Наприклад, ефективність діяльності може бути оцінена як результативність, віднесена до витрачених людиною зусиль, тимчасову ефективність оцінюють як результативність діяльності, поділену на тривалість її виконання, а економічну ефективність оцінюють як результативність, поділену вартість	
--	--	--	--	--	--	--	--	--

Таблиця 10 – Основні метрики атрибута *Продуктивність*

Атрибут, K_i^A	Оцінка атрибута	Метрика, M_{ij}	Коеф. ваги метрики, V_{ij}^M	Оцінка метрики	Коеф. ваги критерію, V_{jk}^K	Загальна оцінка критерію, P_{jk}^K	Найменування критерію/ підкритерію	Оцінка критерію, K_e
<i>Продуктивність</i>	$1 * 0,9 = 0,9$	Зв'язок точності та повноти досягнення цілей	1	$1 * 0,9 = 0,9$	1	$0,9 / 1 = 0,9$	Вимірювання результативності залежить від мети чи підцілі, і навіть точності і повноти виконання завдання, яких може досягти користувач. Наприклад, якщо мета полягає в тому, щоб передрукувати двосторінковий документ у зазначеному форматі, то точність може бути виміряна кількістю зроблених орфографічних по-	0,9

Продовж. табл. 10

							милок та відхиленень від зазначеного формату, а повнота виконання завдання визначається кількістю надрукованих слів, поділених на загальну кількість слів у вихідному документі	
--	--	--	--	--	--	--	---	--

Таблиця 11 – Основні метрики атрибута *Вдоволеність*

Атрибут, K_i^A	Оцінка атрибута	Метрика, M_{ij}	Коеф. ваги метрики, V_{ij}^M	Оцінка метрики	Коеф. ваги критерію, V_{jk}^K	Загальна оцінка критерію, P_{jk}^K	Найменування критерію/підкритерію	Оцінка критерію, K_e
<i>Вдоволеність</i>	0,3*0,8+0,3*0,7+0,2*0,8+0,2*0,7=0,75	Повноцінність	0,3	0,5*0,8+0,5*0,89=0,8	0,5	0,8/1=0,8	Ступінь задоволеності результатами використання	0,8
					0,5	0,8/1=0,8	Ступінь задоволеності наслідками використання	0,8
		Довіра	0,3	1*0,7=0,7	1	0,7/1=0,7	Ступінь впевненості користувача в тому, що продукт або система будуть виконувати свої функції так, як це передбачалося	0,7
		Задоволення	0,2	1*0,8=0,8	1	0,8/1=0,8	Ступінь задоволення користувача від вдволення персональних вимог	0,8
		Комфорт	0,2	1*0,7=0,7	1	0,7/1=0,7	Ступінь задоволення користувача фізичним комфортом	0,7

Таблиця 12 – Основні метрики атрибута *Відсутність ризиків*

Атрибут, K_i^A	Оцінка атрибута	Метрика, M_{ij}	Коеф. ваги метрики, V_{ij}^M	Оцінка метрики	Коеф. ваги критерію, V_{jk}^K	Загальна оцінка критерію, P_{jk}^K	Найменування критерію/підкритерію	Оцінка критерію, K_e
Відсутність ризиків	0,4*0,7+0,3*0,7+0,3*0,8=0,73	Пом'якшення негативних наслідків економічного становища	0,4	0,5*0,7+0,5*0,7=0,7	0,5	Атрибут, A_k	Здатність пом'якшувати потенційний ризик ефективної роботи	0,7
					0,5	0,9/1=0,9	Здатність пом'якшувати потенційний ризик репутації	0,7
	Пом'якшення негативних наслідків для здоров'я та безпеки	0,3	1*0,7=0,7	1	0,7/1=0,7	Здатність продукту чи системи пом'якшувати потенційний ризик для людей у передбачуваних умовах використання	0,7	
		0,3	1*0,8=0,8	1	0,8/1=0,8	Здатність продукту чи системи пом'якшувати потенційний ризик для майна чи довкілля у передбачуваних умовах використання	0,8	

Таблиця 13 – Основні метрики атрибута *Покриття*

Атрибут, K_i^A	Оцінка атрибута	Метрика, M_{ij}	Коеф. ваги метрики, V_{ij}^M	Оцінка метрики	Коеф. ваги критерію, V_{jk}^K	Загальна оцінка критерію, P_{jk}^K	Найменування критерію/підкритерію	Оцінка критерію, K_e
Покриття	0,6*0,8+0,4*0,7=0,76	Повнота контексту	0,6	0,5*0,8+0,5*0,8=0,8	0,5	Атрибут, A_k	Ступінь, в якому продукт або система можуть бути використані з ефективністю, результативністю, свободою від ризику та відповідно до ви-	0,8

Продовж. табл. 13

							мог за всіх зазначених умов використання	0,8
					0,5	$0,9/1=0,9$	Наявність властивостей продукту, які підтримують використання у всіх намічених контекстах	0,8
		Гнучкість	0,4	$0,6*0,7 + 0,4*0,7 = 0,7$	0,6	$0,7/1=0,7$	Адаптація продукту для додаткових груп користувачів, задач	0,7
					0,4	$0,7/1=0,7$	Ступінь, до якого продукт може бути використаний користувачем непередбаченого типу	0,7

Таблиця 14 – Основні метрики атрибута *Надлишковість*

Атрибут, K_i^A	Оцінка атрибута	Метрика, M_{ij}	Коеф. ваги метрики, V_{ij}^M	Оцінка метрики	Коеф. ваги критерію, V_{jk}^K	Загальна оцінка критерію, P_{jk}^K	Найменування критерію/ підкритерію	Оцінка критерію, K_e
<i>Надлишковість</i>	0,3* 0,9+ 0,3* 0,8+ 0,4* 0,9= 0,87	Тимчасова надлишковість	0,3	$1*0,9=0,9$	1	$0,9/1=0,9$	Наявність можливості використання програмою надмірної продуктивності технічного пристрою (ПК)	0,9
		Інформаційна надлишковість	0,3	$1*0,8=0,8$	1	$0,8/1=0,8$	Наявність додаткових сигналів про працездатність ПЗ	0,8
		Структурна надлишковість (багатоверсійність) із контролем збігу (перевірки) резтів	0,4	$1*0,9=0,9$	1	$0,9/1=0,9$	Наявність програмного забезпечення з декількома версіями виконання заявлених функцій із контролем збігу результатів	0,9

Таблиця 15 – Основні метрики атрибута *Самоконтроль*

Атрибут, K_i^A	Оцінка атрибута	Метрика, M_{ij}	Коеф. ваги метрики, V_{ij}^M	Оцінка метрики	Коеф. ваги критерію, V_{jk}^K	Загальна оцінка критерію, P_{jk}^K	Найменування критерію/підкритерію	Оцінка критерію, K_e	
Самоконтроль	0,2*0,9+ 0,1*0,7+ 0,2*0,8+ 0,2*0,9+ 0,1*0,85+ 0,2*0,9=0,855	Самовідновлюваність	0,2	1*0,9=0,9	1	0,9/1=0,9	Здатність ПЗ відновлювати функціонування після збоїв	0,9	
		Самоперевірюваність	0,1	1*0,7=0,7	1	0,7/1=0,7	Здатність ПЗ до самоаналізу функціонування та тестування несправностей засобами внутрішнього контролю	0,7	
	Попередження помилок	0,2	0,3*0,8+ 0,3*0,8+ 0,4*0,8=0,8	0,3	0,3	0,8/1=0,8	Здатність ПЗ аналізувати вхідні дані на предмет некоректності з подальшим оповіщенням	0,8	
						0,3	0,8/1=0,8	Здатність ПЗ аналізувати проміжні дані щодо некоректності з подальшим оповіщенням	0,8
						0,4	0,8/1=0,8	Здатність ПЗ аналізувати результуючі дані щодо некоректності з подальшим оповіщенням	0,8
	Стійкість до помилок	0,2	1*0,9=0,9	1	0,9/1=0,9	Здатність ПЗ зберігати працездатність при виникненні помилок	0,9		
	Робастність	0,1	0,5*0,8+ 0,5*0,9=0,85	0,5	0,8/1=0,8	Стійкість ПЗ до помилок під час виконання заявлених функцій	0,8		

Продовж. табл. 15

					0,5	0,9/1=0,9	Здатність зберігати працездатний стан під час роботи з неприпустимими чи хибними даними	0,9
		Самоприспосованість	0,2	1*0,9=0,9	1	0,9/1=0,9	Ступінь пристосування ПЗ до різних технічних систем без проведення додаткових дій користувачем	0,9

Загальна оцінку рівня гарантоздатності розглянутого ПЗ:

$$K^A = \sum_{i=1}^n K_i^A = 0,71+0,812+0,874+0,8245+0,88+0,84+0,873+0,8+0,9+0,9+0,75+0,73+0,76+0,87+0,855=12,3785.$$

Висновок: Наведений приклад ПЗ має загальну оцінку 12,3785 та, відповідно до прикладу шкали загальних оцінок, має *задовільний рівень гарантоздатності*.

7. Висновки

На даний момент не існує банку еталонних зразків програмних продуктів (ПП) із затвердженими базовими значеннями показників якості, які слугували б аналогом при оцінюванні якості ПП. Тому на даний час єдиний шлях оцінювання якості ПП – це визначення кількісних значень показників гарантоздатності (якості) ПП та порівняння їх між собою для вибору необхідної версії продукту.

У роботі розроблено процедуру порівняльної оцінки рівня гарантоздатності ПЗ шляхом аналізу запропонованої АМГ ПЗ, представленої у вигляді узагальненої оцінки рівня гарантоздатності програмного забезпечення, за допомогою якої проводиться порівняльний аналіз рівня гарантоздатності різних варіантів ПЗ.

Для АМГ ПЗ, що складається з 15 атрибутів, максимально можлива оцінка рівня гарантоздатності ПЗ дорівнює 15. Пропонується, що програмне забезпечення вважається відповідним вимогам до рівня гарантоздатності, якщо комплексна оцінка рівня гарантоздатності ПЗ лежить у діапазоні значень $8 \div 15$, і невідповідним, якщо загальна оцінка рівня гарантоздатності ПЗ лежить у діапазоні значень $0 \div 8$.

Приклад шкали загальних оцінок рівня гарантоздатності програмного забезпечення:

K^A в діапазоні $0 \div 5$ – Програмне забезпечення має неприпустимий рівень гарантоздатності;

K^A в діапазоні $5 \div 8$ – Програмне забезпечення має незадовільний рівень гарантоздатності;

K^A в діапазоні $8 \div 13$ – Програмне забезпечення має задовільний рівень гарантоздатності;

K^A в діапазоні $13 \div 15$ – Програмне забезпечення має високий рівень гарантоздатності.

Атрибутивна модель гарантоздатного ПЗ важлива в першу чергу на етапі розробки ПЗ, коли актуальним є вибір найбільш оптимального варіанта виконання ПЗ, ця модель

дозволяє отримувати кількісну оцінку рівня гарантоздатності ПЗ, зручну для вибору найбільш якісного варіанта виконання ПЗ.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Федухин А.В., Сеспедес Гарсія Н.В. Атрибути и метрики гарантоспособных компьютерных систем. *Математичні машини і системи*. 2013. № 2. С. 195–201.
2. Сеспедес Гарсія П.Д., Сеспедес Гарсія Н.В. Атрибути и метрики гарантоспособного программного обеспечения. *Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС 2020: тези доп. П'ятнадцятої міжнар. наук.-практ. конф.* Чернігів, 2020. С. 164–167.
3. ДСТУ ISO/IEC 25051:2016. Інженерія систем і програмних засобів. Вимоги до якості систем і програмних засобів та її оцінювання (SQuaRE). Вимоги до якості готового для застосування програмного продукту (RUSP) та інструкції щодо його тестування (ISO/IEC 25051:2014, IDT). URL: <https://www.iso.org/standard/61579.html>.
4. Avizienis A., Laprie J.-C. Dependable Computing: From Concepts to Application. *IEEE Trans. on Computers*. 1986. N 74 (5). P. 629–638.
5. Avizienis A., Laprie J.-C., Randell B., Landwehr C. Basic Concept and Taxonomy of Dependable and Secure Computing. *IEEE Trans. on Dependable and Secure Computing*. 2004. Vol. 1, N 1. P. 11–33.
6. Харченко В.С. От безотказности электронных устройств к гарантоспособности web-систем. *Контрольно-измерительные приборы и автоматика*. 2004. № 9. С. 4–10.
7. Харченко В.С. Эволюция фон-неймановской парадигмы: гарантоспособные системы из негарантоспособных компонент. *Системы обработки информации*. 2004. № 10 (36). С. 11–19.
8. Харченко В.С. Гарантоздатність КС: проблеми та результати. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. 2005. № 7 (23). С. 352–357.
9. Харченко В.С. Гарантоспособность и гарантоспособные системы: элементы методологии. *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи*. 2006. № 5 (17). С. 7–19.
10. Федухін О.В., Мудла Б.Г. Гарантоздатність комп'ютерних систем – мода чи об'єктивна необхідність. *Математичні машини і системи*. 2014. № 4. С. 179–188.
11. Федухін О.В. Експертна оцінка рівня гарантоздатності комп'ютерних систем. *Математичні машини і системи*. 2019. № 2. С. 131–147.
12. Чумакова Т.Я., Циганенко С.М. Побудова моделі якості програмного забезпечення. *Математичні машини і системи*. 2009. № 4. С. 210–218.
13. ISO/IEC 9126. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/ISO/IEC_9126.
14. Сеспедес Гарсія П.Д., Сеспедес Гарсія Н.В. Атрибутивна модель оцінки гарантоздатності програмного забезпечення. *Математичні машини і системи*. 2022. № 1. С. 106–119.

Стаття надійшла до редакції 30.05.2023