

УДК 519.718

П.Д. СЕСПЕДЕС ГАРСІЯ*, Н.В. СЕСПЕДЕС ГАРСІЯ*

АТРИБУТИВНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ГАРАНТОЗДАТНОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

*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 (АМГПЗ) розроблена за аналогією атрибутивної моделі гарантоздатності комп'ютерних систем (КС) і розширена спеціальними атрибутами й метриками ПЗ критичного призначення. У різних галузях народного господарства розроблено свої галузеві стандарти зі створення безпечного ПЗ, на які можна розширювати та уточнювати запропоновану АМГПЗ й орієнтуватися при визначенні атрибутів, метрик, критеріїв оцінки ПЗ. В АМГПЗ визначені основні атрибути: функціональність, безвідмовність, зручність використання, ефективність, супроводжуваність, портативність, надмірність, самоконтроль. Розроблено об'єктно незалежний універсальний підхід до оцінки гарантоздатності ПЗ за визначеними атрибутами, метриками та критеріями. Комплексна оцінка рівня гарантоздатності ПЗ здійснюється за АМГПЗ у вигляді лінійного функціонала, що містить оцінки всіх атрибутів моделі. Розроблено процедуру порівняльної оцінки рівня гарантоздатності ПЗ шляхом аналізу запропонованої АМГПЗ, яка представлена у вигляді узагальненої оцінки рівня гарантоздатності програмного забезпечення, за допомогою якої проводиться порівняльний аналіз рівня гарантоздатності різних варіантів ПЗ. Атрибутивна модель гарантоздатного ПЗ, комплексна та порівняльна оцінки рівней гарантоздатності можуть бути використані фахівцями з гарантоздатності у різних галузях застосування.

Ключові слова: гарантоздатне програмне забезпечення, атрибути гарантоздатного ПЗ, функціональність, безвідмовність, зручність використання, ефективність, супроводжуваність, портативність, надлишковість, самоконтроль, оцінка рівня гарантоздатності ПЗ.

Abstract. The article is dedicated to the development of an attributive model of the dependable software, defining the metrics for dependable software, and the development of an object-independent universal approach to attributes assessment and dependable software metrics. The attributive model of the dependable software (AMDS) is designed by analogy with the attributive model for dependable computer systems (CS) and expanded by special attributes and metrics of CS software for critical purposes. Different areas of the national economy have developed their own industry standards for the creation of safe software which can be expanded and refined with the proposed AMDS and guided when defining attributes, metrics, and criteria for software assessment. In the AMDS, there are defined the following basic attributes: functionality, dependability, usability, efficiency, maintainability, portability, redundancy, self-control. An objectively-independent universal approach to the assessment of the software dependability by certain attributes, metrics, and criteria has been developed. A comprehensive assessment of the software dependability level is carried out according to AMDS in the form of linear functionality which contains assessments for all attributes of the model. There has also been developed a procedure for comparative assessment of the software dependability level using the analysis of the offered AMDS which is presented in the form of a generalized software dependability level assessment by which a comparative analysis of the dependability level of software various kinds is carried out. The attributive model of the dependable software, comprehensive and comparative assessment of the dependability level can be used by reliability specialists in various fields of application.

Keywords: dependable software, dependable software attributes, functionality, reliability, usability, efficiency, maintainability, portability, redundancy, self-control, 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] розроблено атрибутивну модель гарантоздатності ПЗ (АМГПЗ) [2] з урахуванням вимог до ПЗ загального призначення (ISO/IEC 9126 [3]) та розширено спеціальними атрибутами й метриками, яким має відповідати ПЗ комп'ютерних систем критичного призначення [2]. У різних галузях народного господарства розроблено свої галузеві стандарти зі створення безпечного ПЗ, на які можна розширювати та уточнювати пропоновану АМГПЗ і орієнтуватися при визначенні атрибутів, метрик, критеріїв оцінки ПЗ [4–10].

Атрибути гарантоздатного програмного забезпечення:

1. Функціональність.
2. Безвідмовність.
3. Зручність використання.
4. Ефективність.
5. Супроводжуваність.
6. Портативність.
7. Надлишковість.
8. Самоконтроль.

Мета даної статті – розробка атрибутивної моделі гарантоздатного програмного забезпечення (ПЗ), визначення метрик гарантоздатного ПЗ, розробка комплексної та порівняльної оцінки атрибутів і метрик гарантоздатного ПЗ.

2. Атрибути, метрики, визначення метрик гарантоздатного програмного забезпечення

Розглянемо кожен атрибут гарантоздатного ПЗ окремо, виділимо і визначимо його метрики. Також дамо визначення кожної метрики.

1. *Функціональність* – відповідність функціональних можливостей ПЗ вимогам специфікації. Метрики функціональності:

- функціональна повнота (відповідність набору функцій ПЗ заявленим специфікаціям);
- точність (властивість заявлених функцій забезпечувати правильні результати);
- здатність до взаємодії (здатність до взаємодії із програмним забезпеченням та технічними засобами);
- узгодженість (сумісність ПЗ із апаратною частиною);
- інтегрованість (здатність до інтеграції в рамках одного апаратно-програмного сімейства пристроїв).

2. *Безвідмовність* – здатність ПЗ зберігати працездатність функціонування у встановлених умовах за певний період. Метрики безвідмовності:

- завершеність (цілісність коду ПЗ відповідно до вимог ТУ);
- відновлюваність (можливість відновлення цілісності даних та необхідного рівня працездатності ПЗ після збоїв (відмов));
- стійкість до відмов (здатність ПЗ зберігати працездатність після відмов);
- стійкість до аномалій (здатність до відновлення при помилках на вході, при збоях обладнання);
- точність (здатність ПЗ забезпечувати точність і достовірність результатів);
- реактивність (здатність ПЗ забезпечувати своєчасне перетворення вхідних даних у вихідні).

3. *Зручність використання* (практичність) – здатність ПЗ відповідати індивідуальним вимогам виконання. Метрики зручності використання:

- освоюваність (наявність повноти, точності, дохідливості документації користувача);
- індивідуалізація (наявність спеціальних вимог до ПЗ);
- простота підготовки до роботи (наявність у ПЗ простоти встановлення, введення даних та експлуатації ПЗ);
- простота використання (зручність, функціональність і простота роботи з інтерфейсом користувача);
- аналізованість результатів (аналіз та управління вихідними (результуючими) даними).

4. *Ефективність* – здатність ПЗ зберігати працездатність функціонування при заданих ресурсах та у встановлених умовах. Метрики ефективності:

- зайнятість ресурсів (вимоги до обсягів постійної та оперативної пам'яті, технічного, системного та супроводжувачого ПЗ);
- використання ресурсів (продуктивність ПЗ, обсяги обчислювальних ресурсів технічного пристрою, необхідних при виконанні програми).

5. *Супроводжуваність* (обслуговуваність) – здатність ПЗ підлягати проведенню конкретних змін (перевірки, модифікацій тощо). Метрики супроводжуваності:

- підтримуваність (супровідність ПЗ);
- аналізованість (здатність ПЗ підлягати аналізу усі вузли);
- змінність (здатність ПЗ зберігати працездатність після внесення змін, оновлень);
- контролепридатність (приспосованість до діагностування та проведення контролю заданими засобами, наявність і функціонування систем контролю);
- тестування (здатність ПЗ підлягати тестуванню всі вузли);
- оновлюваність (здатність ПЗ підлягати модернізації зі збереженням виконання всіх функцій).

6. *Портативність* – здатність ПЗ бути перенесеним з одного технічного засобу до іншого. Метрики портативності:

- адаптивність (адаптованість до зміни ОС, зміни апаратних засобів; ступінь тяжкості дій підготовки програми до використання на сторонньому апаратному та програмному середовищі);
- зручність установки (здатність ПЗ бути встановленим на будь-якому технічному засобі, заявленому в ТУ);
- замінність (простота застосування поточного (конкретного) ПЗ замість іншого умовного ПЗ у технічному середовищі того ж умовного ПЗ);
- сумісність (сумісність з іншим ПЗ, включаючи обмін даними (з текстовими, графічними редакторами, БД тощо)).

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

- тимчасова надлишковість (наявність можливості відновлення обчислювального процесу, а саме, наявність допоміжних технічних/програмних компонентів, необхідних для ПЗ під час його функціонування);
- інформаційна надлишковість (наявність додаткових обсягів інформації (сигналів) про працездатність ПЗ);
- структурна надлишковість (багатоверсійність, n-версійність) із контролем збігу (перевірки) результатів) (наявність у ПЗ кількох версій виконання заявлених функцій (обчислень) із контролем збігу (перевірки) результатів).

8. *Самоконтроль* – 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).

3. Атрибутивна оцінка рівня гарантоздатності програмного забезпечення

Розроблено об'єктно незалежний універсальний підхід до оцінки атрибутів та метрик ПЗ (табл. 1–8). Кожному атрибуту відповідає свій набір метрик, а кожній метриці відповідає набір критеріїв, завдяки яким відбувається оцінка метрик ПЗ. Набір критеріїв можна змінювати залежно від призначення та специфіки функціонування конкретного ПЗ і він може бути розширений набором галузевих вимог. Після обчислення оцінок метрик проводиться оцінка кожного атрибута. Прийнято правило: сума вагових коефіцієнтів метрик у конкретному атрибуті та сума вагових коефіцієнтів критеріїв у конкретній метриці дорівнює 1. Загальна оцінка критерію формується з усередненої оцінки підкритеріїв. Комплексна оцінка рівня гарантоздатності ПЗ здійснюється за АМГ ПЗ у вигляді лінійного функціонала, що містить оцінки всіх атрибутів моделі.

Атрибутивна оцінка ПЗ обчислюється за формулою

$$\dot{A} = \sum_{k=1}^n A_k, \quad (1)$$

де n – кількість атрибутів.

Оцінка кожного атрибута $A_1, A_2 \dots A_n$ обчислюється за універсальною формулою (2):

$$A_k = \sum_{i=1}^{M_i} KM_i \cdot \sum_{j=1}^{Kp_j} KK_{ij} \cdot O_{ij}, \quad (2)$$

де

$$O_{ij} = \sum_{m=1}^{P_{ij}} O_{\varepsilon_m} / P_{ij}, \quad (3)$$

де M_i – кількість метрик у конкретному атрибуті;

KM_i – коефіцієнт ваги метрики;

Kp_j – кількість критеріїв у метриці;

KK_{ij} – коефіцієнт ваги критерію у метриці;

O_{ij} – оцінка критерію метрики;

P_{ij} – кількість підкритеріїв у критерії;

O_{ε_m} – оцінка підкритерію у критерії.

Таблиця 1 – Основні метрики атрибута *Функціональність*

Атрибут, (A_k)	Оцінка атрибута	Метрика, (M_i)	Коеф. ваги метрики, (KM_i)	Оцінка метрики	Коеф. ваги критерію, (KK_{ij})	Загальна оцінка критерію, (O_{ij})	Найменування критерію/підкритерію, (Kp_i/P_{ij})	Оцінка критерію, (O_{Σ_m})	
Функціональність	0,5*0,54 +0,2*0,8 +0,1*0,4 +0,1*0,9 +0,1*0,7 =0,63	Функціо- нальна повнота	0,5	0,6*0,6+0,2*0,5+ 0,1*0,4+0,1*0,4= 0,54	0,6	(1+0,8+0)/3= =0,6	Виконання функції ПЗ № 1 зі специфікації	1	
							Виконання функції ПЗ № 2 зі специфікації	0,8	
							Виконання функції ПЗ n зі специфікації	0	
							Повнота задекларованих функцій та зв'язків	0,5	
							Реалізація функції тесту- вання	0,4	
							Серед функціонування	0,3	
		Точність	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	Точність виконання функції ПЗ № 1	0,8
								Точність виконання функції ПЗ № 2	0,8
								Точність виконання функції ПЗ № n	0,8
		Здатність до взаємо- дії	0,1	0,5*0,4+0,5*0,4= 0,4	0,5	0,5	0,4/1=0,4	Здатність до взаємодії із програмним забезпеченням	0,4
								Здатність до взаємодії з те- хнічними засобами	0,4
		Узгод- женість	0,1	0,9*1=0,9	1	1	0,9/1=0,9	Дотримання вимог, що ви- суються до ПЗ	0,9
		Інтегрова- ність	0,1	0,7*1=0,7	1	1	0,7/1=0,7	Здатність інтегрованості ПЗ	0,7

Таблиця 2 – Основні метрики атрибута *Безвідмовність*

Атрибут, (A_k)	Оцінка атрибута	Метрика, (M_i)	Коеф. ваги метрики, (KM_i)	Оцінка метрики	Коеф. ваги критерію, (KK_{ij})	Загальна оцінка критерію, (O_{ij})	Найменування критерію/підкритерію, (Kp_i/P_{ij})	Оцінка критерію, (O_{Σ})
Безвідмовність	0,4*0,76 +0,05* *0,95+ +0,3* *0,76+ +0,1* *0,65+ +0,3* *0,81+ +0,05* *0,55= =0,915	Заверше- ність	0,4	0,6*0,8+0,4*0,7= =0,76	0,6	0,8/1=0,8	Ступінь відповідності ПЗ вимогам, зазначеним у тех- нічному документі	0,8
					0,4	0,7/1=0,7	Наявність процедур для пе- ревірки на дотримання за- значеним технічним вимо- гам	0,7
		Відновлю- ваність	0,05	0,5*0,9+0,5*1= =0,95	0,5	0,9/1=0,9	Наявність засобів, що за- безпечують виконання про- грами у скороченому обсязі у разі помилок та перешкод	0,9
					0,5	1/1=1	Наявність автоматичного резервування для збере- ження поточного стану процесу	1
		Стійкість до відмов	0,3	0,4*0,7+0,6*0,8= =0,76	0,4	0,7/1=0,7	Наявність вимог до ПЗ що- до відновлення процесу ви- конання у разі збою ОС, комп'ютерних компонентів, зовнішніх пристроїв	0,7
					0,6	0,8/1=0,8	Наявність засобів віднов- лення процесу у разі збоїв обладнання	0,8
		Стійкість до анома- лій	0,1	0,5*0,7+0,5*0,6= =0,65	0,5	0,7/1=0,7	Наявність вимог до ПЗ що- до стійкості функціонуван- ня за наявності помилок у вхідних даних	0,7

Продовж. табл. 2

					0,5	0,6/1=0,6	Наявність системи контролю повноти та коректності вхідних даних	0,6	
		Точність	0,3	$0,3*0,8+0,4*0,9$ $+$ $+0,3*0,7=0,81$	0,3	0,8/1=0,8	Вибір відповідної математичної моделі	0,8	
						0,4	0,9/1=0,9	Вибір відповідних математичних методів	0,9
						0,3	0,7/1=0,7	Наявність тестів із теоретично вірними значеннями результатів обчислень	0,7
					Реактивність	0,05	$0,5*0,6+0,5*0,5$ $=$ $=0,55$	0,5	0,6/1=0,6
			0,5	0,5/1=0,5				Рівень автоматизації – кількість та повнота функцій проведення розрахунків із використанням ПЗ	0,5

Таблиця 3 – Основні метрики атрибута *Зручність використання* (практичність)

Атрибут, (A_k)	Оцінка атрибута	Метрика, (M_i)	Коеф. ваги метрики, (KM_i)	Оцінка метрики	Коеф. ваги критерію, (KK_{ij})	Загальна оцінка критерію, (O_{ij})	Найменування критерію/підкритерію, (Kp_i/P_{ij})	Оцінка критерію, (O_{Σ})
Зручність використання (практичність)	$0,2*0,65$ $+0,15*$ $1+0,15*$ $*0,84+$ $+0,3*$ $*0,86+$ $+0,2*$ $*0,75=$	Освоюваність	0,2	$0,3*1+0,2*0,9+$ $+0,3*0,9+0,1*$ $*0,9+0,1*$ $*0,8=0,65$	0,3	1/1=1	Освоєння роботи ПЗ	1
					0,2	0,9/1=0,9	Повнота документації користувача	0,9
					0,3	0,9/1=0,9	Точність документації користувача	0,9
					0,1	0,9/1=0,9	Зрозумілість документації користувача	0,9

Продовж.табл. 3

	=0,814				0,1	0,8/1=0,8	Технічне виконання користувальної документації	0,8
		Індивідуалізація	0,15	$1*1=1$	1	1/1=1	Наявність спеціальних вимог до ПЗ	1
		Простота підготовки до роботи	0,15	$0,3*0,8+0,3*0,8+0,4*0,9=0,84$	0,3	0,8/1=0,8	Простота інсталяції ПЗ	0,8
					0,3	0,8/1=0,8	Управління вхідними даними	0,8
					0,4	0,9/1=0,9	Простота експлуатації ПЗ	0,9
		Простота використання	0,3	$0,4*0,8+0,6*0,9=0,86$	0,4	0,8/1=0,8	Зручність інтерфейсу користувача	0,8
					0,6	0,9/1=0,9	Ефективність інтерфейсу	0,9
		Аналіз результатів	0,2	$0,5*0,8+0,5*0,7=0,75$	0,5	0,8/1=0,8	Можливість аналізу результативних даних	0,8
					0,5	0,7/1=0,7	Управління результуючими даними	0,7

Таблиця 4 – Основні метрики атрибута *Ефективність*

Атрибут, (A_k)	Оцінка атрибута	Метрика, (M_i)	Коеф. ваги метрики, (KM_i)	Оцінка метрики	Коеф. ваги критерію, (KK_{ij})	Загальна оцінка критерію, (O_{ij})	Найменування критерію/підкритерію, (Kp_i/P_{ij})	Оцінка критерію, (O_{Σ})
Ефективність	$0,5*0,81+0,5*0,9=0,855$	Зайнятість ресурсів	0,5	$0,4*0,9+0,3*0,8+0,3*0,7=0,81$	0,4	0,9/1=0,9	Вимоги до обсягів зовнішньої та оперативної пам'яті	0,9
					0,3	0,8/1=0,8	Вимоги до технічних засобів	0,8
					0,3	0,7/1=0,7	Вимоги до системного та спеціального ПЗ	0,7
		Використання ресурсів	0,5	$1*0,9=0,9$	1	0,9/1=0,9	Продуктивність ПЗ	0,9

Таблиця 5 – Основні метрики атрибута *Супроводжуваність* (обслуговуваність)

Атрибут, (A_k)	Оцінка атрибута	Метрика, (M_i)	Коеф. ваги метрики, (KM_i)	Оцінка метрики	Коеф. ваги критерію, (KK_{ij})	Загальна оцінка критерію, (O_{ij})	Найменування критерію/підкритерію, (Kp_i/P_{ij})	Оцінка критерію, (O_{Σ})
Супроводжуваність (обслуговуваність)	0,15* *0,7+ +0,15* *0,9+ +0,2* *0,9+ +0,2* *0,85+ +0,15* *0,9+ +0,15* *0,93= =0,865	Підтри- муваність	0,15	1*0,7=0,7	1	0,7/1=0,7	Супроводжуваність ПЗ	0,7
		Аналізо- ваність	0,15	1*0,9=0,9	1	0,9/1=0,9	Наявність ПЗ для аналізу всіх вузлів	0,9
		Змінність	0,2	1*0,9=0,9	1	0,9/1=0,9	Збереження працездатності після внесення змін, онов- лення ПЗ	0,9
		Контро- леприда- тність	0,2	0,5*0,8+0,5* *0,9= 0,85	0,5	0,8/1=0,8	Наявність внутрішнього діагностування	0,8
					0,5	0,9/1=0,9	Функціонування системи контролю	0,9
		Тесту- вання	0,15	1*0,9=0,9	1	0,9/1=0,9	Можливість тестування всіх вузлів ПЗ	0,9
		Оновлю- ваність	0,15	0,3*0,9+0,3*1+ +0,4*0,9=0,93	0,3	0,9/1=0,9	Модернізованість ПЗ	0,9
					0,3	1/1=1	Сумісність оновлень	1
					0,4	0,9/1=0,9	Збереження працездатності після оновлення ПЗ	0,9

Таблиця 6 – Основні метрики атрибута *Портативність*

Атрибут, (A_k)	Оцінка атрибута	Метрика, (M_i)	Коеф. ваги метрики, (KM_i)	Оцінка метрики	Коеф. ваги критерію, (KK_{ij})	Загальна оцінка критерію, (O_{ij})	Найменування критерію/підкритерію, (Kp_i/P_{ij})	Оцінка критерію, (O_{Σ_m})
Портативність	0,3* *0,85+ +0,1*1+ +0,3* *0,9+ +0,3*1= =0,925	Адаптивність	0,3	0,5*0,8+ +0,5*0,9=0,85	0,5	0,8/1=0,8	Адаптованість до зміни ОС	0,8
					0,5	0,9/1=0,9	Адаптованість до зміни апаратних засобів	0,9
		Зручність установки	0,1	0,5*1+0,5*1=1	0,5	1/1=1	Установлюваність ПЗ на ПК	1
					0,5	1/1=1	Установлюваність ПЗ на ноутбук	1
		Замінність	0,3	1*0,9=0,9	1	0,9/1=0,9	Модифікованість	0,9
		Сумісність	0,3	1*1=1	1	1/1=1	Сумісність з іншими ПЗ	1

Таблиця 7 – Основні метрики атрибута *Надлишковість*

Атрибут, (A_k)	Оцінка атрибута	Метрика, (M_i)	Коеф. ваги метрики, (KM_i)	Оцінка метрики	Коеф. ваги критерію (KK_{ij})	Загальна оцінка критерію, (O_{ij})	Найменування критерію/підкритерію, (Kp_i/P_{ij})	Оцінка критерію, (O_{Σ_m})
Надлишковість	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

Продовж. табл. 7

		Структурна надлишковавість (багатоверсійність) із контролем збігу (перевірки) результату	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 8 – Основні метрики атрибута *Самоконтроль*

Атрибут, (A_k)	Оцінка атрибута	Метрика, (M_i)	Коеф. ваги метрики, (KM_i)	Оцінка метрики	Коеф. ваги критерію, (KK_{ij})	Загальна оцінка критерію, (O_{ij})	Найменування критерію/підкритерію, (Kp_i/P_{ij})	Оцінка критерію, (O_{Σ})
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	$0,8/1=0,8$	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	0,8

Продовж. табл. 8

						оповіщенням		
				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
					0,5	0,9/1=0,9	Здатність зберігати працездатний стан під час роботи з неприпустимими чи хибними даними	0,9
		Самоприсосованість	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 оцінка рівня гарантоздатності умовного ПЗ:
 $0,63+0,915+0,814+0,855+0,865+0,925+0,87+0,855=6,729$.

4. Узагальнена атрибутивна оцінка рівня гарантоздатності програмного забезпечення

При сучасному рівні розвитку технологій відбувається стрімке удосконалення обчислювальної техніки та інформаційних технологій, що призводить до необхідності постійного вдосконалення ПЗ. Технічно неможливо як аналог вибрати реально існуюче ПЗ того ж функціонального призначення, що і порівнюване, з такими ж основними параметрами, подібною структурою і яке застосовується в аналогічних умовах експлуатації, тому метод порівняння з еталоном практично складно здійснити.

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 8 атрибутів, максимально можлива оцінка рівня гарантоздатності ПЗ дорівнює 8. Програмне забезпечення вважається відповідним вимогам до рівня гарантоздатності, якщо комплексна оцінка рівня гарантоздатності ПЗ лежить у діапазоні значень $6 \div 8$, і невідповідним, якщо загальна оцінка рівня гарантоздатності ПЗ лежить у діапазоні значень $0 \div 6$.

Шкала загальних оцінок рівня гарантоздатності програмного забезпечення:
 $0 \div 4$ – Програмне забезпечення має неприпустимий рівень гарантоздатності;
 $4 \div 6$ – Програмне забезпечення має незадовільний рівень гарантоздатності;
 $6 \div 7$ – Програмне забезпечення має задовільний рівень гарантоздатності;
 $7 \div 8$ – Програмне забезпечення має високий рівень гарантоздатності.

Наведений у статті приклад умовного ПЗ має загальну оцінку 6,729, відповідно шкалі загальних оцінок має задовільний рівень гарантоздатності.

5. Висновки

Постійно зростаючі обчислювальні потужності перекладають все більше і більше функцій на програмне забезпечення, що створює ще більший тиск на забезпечення бездоганної взаємодії апаратного та програмного забезпечення. Атрибутивна модель гарантоздатного ПЗ важлива, в першу чергу, на етапі розробки ПЗ, коли актуальним є вибір найбільш оптимального варіанта виконання ПЗ. У результаті проведеної роботи розроблено атрибутивну модель гарантоздатності ПЗ, дано визначення атрибутам, метрикам, наведено приклади критеріїв оцінки ПЗ. Розроблено процедуру порівняльного аналізу рівня гарантоздатності ПЗ на основі аналітичного опису АМГ. Розроблена АМГПО 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 доповіді П'ятнадцятої міжнар. наук.-практ. конф.* Чернігів, 2020. С. 164–167.
3. ISO/IEC 9126. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/ISO/IEC_9126.
4. Требования к программному обеспечению бортовой аппаратуры и систем при сертификации авиационной техники. URL: <http://kaf401.rloc.ru/TRPO/KT-178B.pdf>.
5. ГОСТ Р ИСО 26262-1-2014. Дорожные транспортные средства. Функциональная безопасность. Ч. 1: Термины и определения. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200112783>.

6. ГОСТ Р МЭК 62304-2013. Изделия медицинские. Программное обеспечение. Процессы жизненного цикла. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200107111>.
7. EN 50128. Railway applications – Communication, signalling and processing systems / IEC 62279. URL: https://www.verifysoft.com/en_EN_50128_Software_for_Railway_Control_and_Protection_Systems.html.
8. ГОСТ Р МЭК 61508-3-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Ч. 3: Требования к программному обеспечению. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200100350>.
9. ГОСТ Р МЭК 60880-2010. Атомные электростанции. Системы контроля и управления, важные для безопасности. Программное обеспечение компьютерных систем, выполняющих функции категории А. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-mek-60880-2010>.
10. ГОСТ Р 51904-2002. Программное обеспечение встроенных систем. Общие требования к разработке и документированию. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200030195>.

Стаття надійшла до редакції 16.12.2021