

УДК 621.317.1

О. М. Величко, д.т.н., **О. В. Грабовський**, к.т.н., **Т. Б. Гордієнко**, д.т.н.

Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СПІРАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

У статті подано порівняльний аналіз різних методів проектування, тестування і випробувань програмного забезпечення (ПЗ) різноманітного призначення. Для більш детального аналізу щодо застосування для проектування ПЗ обрано спіральну модель, здійснено аналіз її переваг і недоліків. Представлено удосконалену спіральну модель розроблення ПЗ, яка може бути застосована для розроблення ПЗ засобів вимірювальної техніки (ЗВТ). Деталізовано етап спіральної моделі, який стосується випробувань ПЗ, з урахуванням всіх специфічних складових випробування ПЗ як вбудованого у ЗВТ, так і встановленого на універсальних комп'ютерах. Визначено послідовність перевірки складових ПЗ ЗВТ з урахуванням вимог документів і рекомендацій міжнародних та регіональних метрологічних організацій.

Ключові слова: програмні засоби, спіральна модель, оцінювання якості, засіб вимірювальної техніки, випробування

О. Н. Величко, д.т.н., **О. В. Грабовский**, к.т.н., **Т. Б. Гордиенко**, д.т.н.

Одесская государственная академия технического регулирования и качества, г. Одесса

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПИРАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

В статье представлен сравнительный анализ различных методов проектирования, тестирования и испытаний программного обеспечения (ПО) различного назначения. Для более детального анализа по применению для проектирования ПО избрана спиральная модель, осуществлен анализ ее преимуществ и недостатков. Представлена усовершенствованная спиральная модель разработки ПО, которая может быть использована для разработки ПО средств измерительной техники (СИТ). Детализирован этап спиральной модели, касающийся испытаний ПО, с учетом всех специфических составляющих испытания ПО, как встроенного в СИТ, так и установленного на универсальных компьютерах. Определена последовательность проверки составляющих ПО СИТ с учетом требований документов и рекомендаций международных и региональных метрологических организаций.

Ключевые слова: программное средство, спиральная модель, оценка качества, средство измерительной техники, испытания программных средств.

O. M. Velychko, DSc, **O. V. Hrabovskyi**, PhD, **T. B. Gordiyenko**, DSc

Odesa State Academy of Technical Regulation and Quality, Odesa

FEATURES OF APPLICATION OF SPIRAL MODEL FOR TESTING OF MEASURING INSTRUMENTS SOFTWARE

The article presents a comparative analysis of different methods of designing, testing and testing of software for various purposes. For a more detailed analysis of the application for software design, a spiral model was selected and its advantages and disadvantages were analyzed. Although the spiral model has a complicated structure to compare it with other models, its use is appropriate for the development of software for measuring instruments (MI), which can be attributed to middle- and high-risk software. Proper use of the spiral model contributes to the avoidance of deliberate damage to the software, that is increases the level of software protection.

The modified spiral model of software development that can be applied to software development of MI is presented. It is established that only the stages of conceptual definition of the software development

project, conceptual prototype of the software and definition of general requirements for the software, as well as the stages of set for testing, module design, coding, module testing, acceptance and passing tests have their specific features for the MI software. When developing software for measuring instruments, you must take into account the testing features of the software modules, memory, storage devices and data transfer devices. The stage of the spiral model related to the software test is detailed, taking into account all the specific components of the software test, both built in MI and installed on universal computers. The necessity to set the level of division of software into legislatively significant and other parts is taken into account.

For the testing tasks of the MI software, the sequence of verification of the software components is defined, such as the verification of the readability of the MI software, the verification of storage devices and the verification of data transfer devices, taking into account the requirements of documents and recommendations of international and regional metrology organizations. It has been established that acceptance tests of the MI software cannot be completed without eliminating the discrepancies found by the developer.

Keywords: *software, spiral model, software estimation, measuring instrument, software testing.*

[DOI 10.32684/2412-5288-2019-2-15-42-49](https://doi.org/10.32684/2412-5288-2019-2-15-42-49)

Вступ

Сучасні методи проектування, тестування і випробувань програмного забезпечення (ПЗ) різноманітного призначення набувають все більшої складності. Це пов'язано з відповідним зростанням складності і обсягів застосовуваного ПЗ. Все це вимагає удосконалення існуючих методів випробування ПЗ [1, 2].

Однією із сфер діяльності створеного у США Інституту якості ПЗ (Software Quality Institute, SQI) [3] є впровадження різноманітних методів оцінювання якості ПЗ. Широке використання для розроблення та випробування ПЗ знайшли такі основні моделі: каскадна з її різновидами, V-модель, інкрементна та еволюційна. Ці моделі можна застосувати також і для оцінювання якості ПЗ.

Міжнародна стандартизація з питань розроблення та випробування ПЗ базується на таких основних стандартах: ISO/IEC 25010 [4], у якому представлені моделі якості ПЗ; ISO/IEC 15939 [5], у якому розглянуті моделі вимірювання характеристик ПЗ; ISO/IEC 12207 [6], де представлена каскадна модель розроблення ПЗ; ISO/IEC TR 15271 [7], у якому розглянуте застосування однієї з модифікацій каскадної моделі, орієнтованої на колективне розроблення ПЗ.

В той же час, актуальним є питання вибір та застосування найбільш оптимальної моделі розроблення та випробування ПЗ, зокрема ПЗ для засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), кількість, різноманітність і складність якого останнім часом значно зростає [8, 9].

Аналіз публікацій та досліджень

Розроблена у 1970-х рр. класична каскадна модель дозволила вперше формалізувати послідовність етапів розроблення ПЗ та його випробування, однак реалізувати її у такому вигляді доволі важко. Зважаючи на це з'явилися певні удо-

сконалення базової моделі, які мали деякі варіанти її реалізації, зокрема із реалізацією зворотних зв'язків між окремими її стадіями. До основних переваг цієї моделі та її удосконалених варіантів можна віднести простоту планування та контролю виконання всіх етапів розроблення ПЗ, в тому числі етапу випробування ПЗ, а до основних їх недоліків – недостатнє залучення замовника (користувача) ПЗ до етапів розроблення ПЗ [1, 10].

Останнім часом доволі широко застосовується V-модель, яка спрямована на забезпечення планування випробування ПЗ вже на ранніх стадіях його розроблення. Ця модель призначена для визначення базової процедури розроблення та випробування ПЗ та відомі її застосування до розроблення та випробування ПЗ ЗВТ [11]. Розроблена низка удосконалених варіантів V-моделі для скорочення основних недоліків використаних у ній елементів каскадної моделі. Це, зокрема, стосується використання певних різновидів зворотних зв'язків з метою забезпечення можливості зміни результатів вже виконаних етапів розроблення ПЗ. Удосконаленим варіантом V-моделі стала модель ХТ [12].

Інкрементна модель розроблення ПЗ використовує багаторазове повторення етапів із вже запланованим поліпшенням результату за кожним етапом. Зважаючи на це її специфікою є велика кількість етапів розроблення ПЗ при незначній їх тривалості та невеликих відмінностях з попередніми етапами. До такої моделі також відносять і екстремальне програмування [3, 10]. До основних переваг цієї моделі слід віднести коротку тривалість і стабільність вимог етапів розроблення, певне зниження ризиків, у порівнянні з каскадною моделлю та залучення до процесу розроблення ПЗ користувача, а до основних їх недоліків – необхідність повного встановлення вимог до ПЗ вже на першому етапі розроблення

ПЗ, складність планування і розподілу етапів розроблення ПЗ.

Еволюційна модель розроблення ПЗ як і попередня модель використовує багаторазове повторення етапів, однак у ній вимоги до ПЗ можуть поступово уточнюватися у наступних етапах його розроблення. Це істотно зменшує кількість етапів розроблення ПЗ, однак їх тривалість стає більшою ніж при використанні інкрементної моделі. До основних переваг цієї моделі слід віднести можливість уточнення чи формування нових вимог на етапах розроблення ПЗ і широку участь користувача на етапах розроблення ПЗ, а до основних їх недоліків – складність планування і контролю етапів розроблення ПЗ і необхідність участі користувачів на цих етапах [1, 2].

Постановка завдання

Метою цього дослідження є проведення детального аналізу щодо можливості застосування спіральної моделі до розроблення та випробування ПЗ ЗВТ. За результатами проведеного аналізу має бути розроблена спіральна модель розроблення та випробування ПЗ ЗВТ з деталізацією її етапу, пов'язаного з випробуванням ПЗ ЗВТ.

Методи дослідження

Спіральна модель, яка запропонована у 1988 р. [1, 13], є класичним прикладом застосування еволюційної моделі. Спіральна модель розроблення ПЗ втілює в собі переваги відповідної каскадної моделі. В ній передбачено розробку ПЗ при використанні методу прототипування або швидкої розробки додатків. Кожен цикл (ітерація) цієї моделі є набором певних операцій (етапів), якому відповідає така ж кількість етапів каскадної моделі. З кожною ітерацією по спіралі, тобто просуванням від центру до периферії, створюються все більш вдосконалені версії ПЗ.

Основними ітераціями розроблення спіральної моделі з розроблення ПЗ, які називаються квадрантами, є такі:

- 1) визначення цілей, альтернативних варіантів та обмежень (*аналіз вимог до ПЗ*);
- 2) оцінка альтернативних варіантів, ідентифікація і дозвіл ризиків (*проекткування ПЗ*);
- 3) розробка продукту наступного рівня (*конструювання ПЗ*);
- 4) планування наступної фази (*оцінювання ПЗ замовником*).

До кожного квадранту спіральної моделі входять як цільові, так і допоміжні дії.

У першому квадранті визначаються:

основні цілі, такі як робоча характеристика, виконувані функції, можливість внесення змін, вирішальні фактори досягнення успіхів, апаратний і програмний інтерфейс ПЗ;

альтернативні способи щодо конструювання

ПЗ, повторного використання ПЗ, купівлі, субпідрядників тощо;

обмеження щодо застосування альтернативних варіантів, таких як витрати, графік виконання розробки ПЗ, інтерфейс ПЗ, обмеження, пов'язані із середовищем тощо;

створення документації щодо підтвердження ризиків, пов'язаних з недоліком досвіду в цій сфері діяльності, застосуванням нових технологій, жорсткими графіками розроблення ПЗ, погано організованими процесами розроблення тощо.

У другому квадранті:

оцінюються альтернативні варіанти щодо цілей і обмежень щодо ПЗ;

визначаються і дозволяються ризики щодо їх менеджменту, методики економічно вигідного вибору джерел дозволу, оцінка інших пов'язаних з ризиком ситуацій, зокрема через продовження чи припинення робіт з розроблення ПЗ тощо.

У третьому квадранті реалізуються:

типові дії, що можуть включати створення проекту та його критичний аналіз, розробку та перевірку коду ПЗ, тестування та компоновку ПЗ;

оцінювання замовником першої версії ПЗ та повернення у початковий стан з метою врахування зауважень і побажань замовника;

врахування зауважень і побажань замовника при розробленні наступних версій ПЗ;

зменшення ступеня внесених змін до ПЗ з кожною новою його версією з метою отримання функціональної системи.

У четвертому квадранті розробляються плани:

- проекту в цілому;
- менеджменту конфігурації ПЗ,
- випробування ПЗ;
- встановлення ПЗ.

У всіх квадрантах спіральної моделі відсутня задана кількість циклів, тому їх кількість потрібно вибирати у разі потреби, а ітерації можна адаптувати під певний проект розроблення ПЗ.

Для кожної ітерації слід:

- визначити цілі, альтернативні варіанти і обмеження;
- встановити і дозволити ризики;
- дати оцінку альтернативних варіантів;
- розробити результативні дані для ітерації та підтвердити їх правильність;
- спланувати наступну ітерацію, якщо потрібно її виконання, та вибрати метод її здійснення.

Оскільки спіральна модель була розроблена з більшою ретельністю, ніж інші моделі, в розробці за принципом спіралі особливу увагу приділено оцінці альтернативних варіантів і оцінці ризиків. Здійснюваний в кінці кожної фази кри-

тичний аналіз забезпечує перехід до наступної фази. В разі необхідності визначається потреба у повторному виконанні кожної фази.

На кожному кроці руху по спіралі моделі розглядається один або кілька головних факторів ризику, починаючи з найвищого. Типові ризики можуть включати в себе невірно трактовані вимоги користувача, потенційні проблеми, пов'язані з експлуатацією ПЗ, проблеми у базовій технології створення ПЗ тощо.

Належне використання спіральної моделі або одного з її варіантів сприяє уникненню невідомого пошкодження ПЗ, тобто підвищується рівень захисту ПЗ. Проведення великого обсягу аналізу та оцінки ризиків на кінцевих фазах спіральної моделі можна спостерігати етапи процесу, що нагадують відому каскадну модель. Кодування ПЗ у спіральній моделі виконується значно пізніше, ніж в інших моделях. Це пов'язано з мінімізацією ризиків за допомогою здійснення послідовного уточнення вимог користувача.

При використанні спіральної моделі розроблення ПЗ, для чого вона у достатній мірі підходить, виявляються такі основні переваги:

користувачі ПЗ можуть оцінити його на ранніх етапах розроблення та брати участь у аналізі ризиків на різних витках спіралі;

великі за обсягом роботи з розроблення ПЗ можуть розбиватися на певні частини з великим ступенем ризику з метою можливого припинення робіт та зменшення витрат на його розроблення;

удосконалення управління розробленням ПЗ зважаючи на можливість виконання необхідного аналізу на різних витках спіралі;

підвищення продуктивності розроблення ПЗ зважаючи на можливість аналізу та уточнення поставлених завдань;

потенційне зменшення витрат на розроблення ПЗ за рахунок аналізу ризиків на різних витках спіралі;

скорочення термінів розроблення ПЗ за рахунок існування переваг інкрементної моделі;

можливість гнучкого проектування ПЗ за рахунок існування переваг каскадної моделі;

забезпечення необхідної якості ПЗ шляхом використання зворотного зв'язку користувача та розробника ПЗ тощо.

Спіральної моделі розроблення ПЗ властиві також і такі основні недоліки:

можлива висока вартість розроблення ПЗ зважаючи на багаторазовий аналіз ризиків, хоча ця розробка може мати низький ступінь ризику;

можлива велика тривалість розроблення ПЗ за рахунок виникнення необхідності нових ітерацій (нових витків спіралі);

існування підвищених вимог щодо знань за-

мовника розроблення ПЗ для оцінювання різноманітних ризиків тощо.

Розробники ПЗ можуть бути впевнені у доцільності застосування спіральної моделі у випадку, коли:

недоцільне виконання довготривалого проекту через потенційні зміни, які можуть відбутися за рахунок врахування певних економічних пріоритетів;

виконуються тривалі та великі проекти з розроблення ПЗ, які можуть викликати певні труднощі як у розробника, так і замовника;

замовники чи користувачі ПЗ не впевнені в своїх потребах і ця невизначеність впливає на час розроблення ПЗ;

замовник розроблення ПЗ не може одразу знайти всі необхідні кошти чи кошти на певні додаткові ітерації (витки спіралі);

застосовуються нові технології чи об'єктно-орієнтовані принципи з необхідністю тестування базової концепції реалізації ПЗ;

виконання розроблення ПЗ пов'язане із середнім і високим ступенями ризику та вимоги до ПЗ занадто складні;

очікуються суттєві зміни чи необхідне розроблення ПЗ із новими функціями;

важливо підрахувати витрати, пов'язані з проведенням аналізу ризиків;

необхідна демонстрація якості та досягнення цілей за короткий період часу;

при розробленні ПЗ вимагається великий обсяг обчислень для забезпечення прийняття необхідних рішень тощо.

SQI розроблений свій варіант спіральної моделі, який включає такі компоненти [3]:

1) *планування*: аналіз вимог і планування, засноване на оцінках замовника;

2) *аналіз ризиків*: аналіз ризиків, заснованих на початкових вимогах, аналіз ризиків, заснований на оцінках замовника;

3) *розроблення*: прийняття рішення щодо продовження розроблення, розроблення початкового прототипу, прототипів наступних рівнів, кінцевого продукту;

4) *оцінювання замовником*: оцінювання результатів замовником.

4. Результати досліджень

Аналіз можливостей застосування спіральної моделі дозволив реалізувати таку модель щодо розроблення ПЗ ЗВТ. На рис. 1 наведена базова спіральна модель розроблення ПЗ.

Використані наступні цифрові позначення етапів:

1 – концептуальне визначення проекту з розроблення ПЗ (*замовник*);

2 – концептуальний прототип ПЗ;

- 3 – визначення загальних вимог до ПЗ (*замовник–виконавець*);
- 4 – планування життєвого циклу ПЗ і виконання вимог замовника;
- 5 – цілі, завдання, варіанти підходів до вирішення завдань та організації процесів;
- 6 – аналіз ризиків;
- 7 – демонстративний прототип ПЗ;
- 8 – імітаційне моделювання;
- 9 – аналіз встановлених вимог до ПЗ;

- 10 – планування розроблення ПЗ;
- 11 – варіанти організації процесів розроблення ПЗ;
- 12 – операційний прототип ПЗ;
- 13 – проектування ПЗ;
- 14 – верифікація і валідація проекту;
- 15 – план інтегрування і випробування ПЗ;
- 16 – варіанти рішення розроблення ПЗ та його модулів;



Рисунок 1 – Базова спіральна модель розроблення ПЗ

- 17 – функціональний (робочий) прототип ПЗ;
- 18 – набори для тестування ПЗ (зчитування ПЗ ЗВТ, запам'ятовуючих пристроїв, пристроїв передачі даних [8, 14–17]);
- 19 – проектування модулів ПЗ (розділення ПЗ ЗВТ на законодавчо значиму та інші частини [9, 14–17]);
- 20 – кодування ПЗ;
- 21 – тестування модулів ПЗ (зчитування ПЗ ЗВТ, запам'ятовуючих пристроїв, пристроїв передачі даних [8, 14–17]);
- 22 – інтеграція і комплексне тестування ПЗ (законодавчо значимої та інших частин ПЗ ЗВТ [9, 14–17]);
- 23 – приймально-здавальні випробування ПЗ (*замовник–виконавець*);

- 24 – впровадження розробленого ПЗ (*замовник*).

Планування розроблення ПЗ ЗВТ розпочинається ще на перших етапах розроблення ПЗ (етапи 1–3). Результатом виконання цих етапів стає визначення замовником і виконавцем загальних вимог до ПЗ з урахуванням особливостей побудови самого ЗВТ, вимог документів і рекомендацій міжнародних та регіональних метрологічних організацій [14–18].

Етапи 4–17 моделі не мають якихось особливостей для ПЗ ЗВТ. Етапи 18, 19, 21 і 22 моделі мають деякі особливості для ПЗ ЗВТ, зокрема щодо наборів і самого тестування модулів ПЗ, а також проектування, інтеграції та комплексного тестування ПЗ з урахуванням законодавчо значимої та інших частин ПЗ ЗВТ.

На 23-му етапі здійснюються приймально-здавальні випробування ПЗ ЗВТ. Цей етап більш детально розглянутий на рис. 2 з урахуванням всіх специфічних складових випробування ПЗ як вбудованого у ЗВТ, так і встановленого на універсальних комп'ютерах. На ньому визначено функції як замовника проекту (встановлення вимог до ПЗ, аналіз виявлених невідповідностей), так і виконавця (розроблення завдання випробувань, проведення випробувань і підготовка

протоколу випробувань ПЗ).

При формуванні завдання випробувань ПЗ ЗВТ повинні враховуватися встановлені загальні вимоги до ПЗ, вбудованого у ЗВТ (Р) чи до ПЗ, встановленого на універсальних комп'ютерах (U) залежно від особливостей побудови самого ЗВТ [8, 9]. Крім того, для ПЗ ЗВТ також необхідно встановити рівень розділення ПЗ (S) на законодавчо значиму та інші частини і врахувати це у завданнях випробувань.



Рисунок 2 – Деталізація етапу здійснення приймально-здавальних випробувань ПЗ ЗВТ

Завдання випробувань ПЗ ЗВТ повинні мати таку послідовність:

- перевірка зчитування (D) ПЗ ЗВТ;
- перевірка запам'ятовуючих пристроїв (L);
- перевірка пристроїв передачі даних (Т).

Після проведення випробувань ПЗ ЗВТ за встановленими завданнями формується відповідний протокол випробувань. В ньому повинні бути відображені всі виявлені невідповідності встановленим вимогам за завданнями, які нада-

ються замовнику. У разі виявлені суттєвих невідповідностей замовник може скорегувати вимоги до ПЗ для наступної ітерації та уточнення завдання випробувань.

За результатами виконання етапу 23 виконавцем розроблення ПЗ формується звіт про випробування частин ПЗ на конкретній ітерації, який надається замовнику проекту.

Виконавець проекту доопрацьовує вимоги до ПЗ для наступної ітерації та погоджує із замо-

вником уточнений варіант завдання на випробування ПЗ. Лише після успішного завершення всіх вказаних перевірок ПЗ ЗВТ, замовник приймає виконану виконавцем роботу і лише тоді можна стверджувати про завершення приймально-здавальних випробувань ПЗ ЗВТ в цілому.

Висновки

Аналіз можливостей застосування базової спіральної моделі розроблення ПЗ і застосування її для ПЗ ЗВТ показав таку доцільність. Запропонована удосконалена спіральна модель розроблення ПЗ ЗВТ, яке можна віднести до ПЗ середнього та високого ризику. Здійснена деталізація етапу приймально-здавальних випробувань ПЗ ЗВТ може бути використана при розробленні ПЗ для конкретного ЗВТ. При цьому враховуються всі специфічні складові тестування та випробування ПЗ для ЗВТ відповідно до спеціальних вимог документів і рекомендацій міжнародних та регіональних метрологічних організацій.

Список використаних джерел

1. Технология разработки программного обеспечения: учеб. пособие / В.В. Бахтизин, Л. А. Глухова. – Минск: БГУИР, 2010. – 267 с.
2. Software Development Methodology Today. Software Development Strategies and Life-Cycle Models [Електронний ресурс]. – 2008. – Режим доступу: <http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=605374&seqNum=2>
3. Software Quality Institute, SQI [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: <https://isqi.org/ua/en/>
4. ДСТУ ISO/IEC 25010:2015 Інженерія програмних засобів і систем. Вимоги щодо якості та оцінювання систем і програмного продукту (SQuaRE). Моделі якості системи та програмних засобів (ISO/IEC 25010:2011, IDT).
5. ДСТУ ISO/IEC 15939:2008 Інженерія систем і програмних засобів. Процес вимірювання (ISO/IEC 15939:2007, IDT).
6. ISO/IEC 12207:2008 Systems and software engineering – Software life cycle processes.
7. ISO/IEC TR 15271:1998, Software Engineering – Software life cycle processes – Guide for ISO/IEC 12207 (Software Life Cycle Processes).
8. Velychko O., Gordiyenko T., Hrabovskyi O. Testing of measurement instrument software on the national level // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling systems. – 2018. – № 2/9 (92). – P. 35–42.
9. Velychko O., Gaman V., Gordiyenko T., Hrabovskyi O. Testing of measurement instrument

software with the purpose of conformity assessment // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling systems. – 2019. – № 1/9 (97). – P. 19–26.

10. Фатрелл Р., Шафер Д., Шафер Л. Управление программными проектами: достижение оптимального качества при минимуме затрат. – М.: Вильямс, 2003. – 1125 с.
11. Величко О. М., Грабовський О. В., Гордієнко Т. Б. Особливості застосування V-моделі при розробленні та оцінюванні якості програмного забезпечення засобів вимірювальної техніки // Збірник наукових праць ОДАТРЯ. – 2019. – Вип. 1 (14). – С. 6–11.
12. Брауде Э. Технология разработки программного обеспечения. – СПб.: Питер, 2004. – 655 с.
13. Boehm B. W. A spiral model of software development and enhancement. IEEE Computer. – 1988. – 21 (5). – P. 61–72.
14. OIML D 31:2008. General Requirements for Software Controlled Measuring Instruments. OIML. Paris, 2008. 53 p.
15. WELMEC 7.1. Informative Document: Development of Software Requirements.
16. WELMEC 7.2. Software Guide (Measuring Instruments Directive 2004/22/EC).
17. WELMEC 2.3. Guide for Examining Software (Non-automatic Weighing Instruments).
18. COOMET R/LM/10:2004. COOMET Recommendation: Software for Measuring Instruments: General Technical Specifications. COOMET. 2004. 10 p.

References

1. Tekhnologiya razrabotki programmogo obespecheniya: ucheb. posobie / V.V. Baxtizin, L. A. Gluxova. – Minsk: BGUIR, 2010. – 267 s.
2. Software Development Methodology Today. Software Development Strategies and Life-Cycle Models [Elektronnyi resurs]. – 2008. – Rezhym dostupu: <http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=605374&seqNum=2>
3. Software Quality Institute, SQI [Elektronnyi resurs]. – 2019. – Rezhym dostupu: <https://isqi.org/ua/en/>
4. DSTU ISO/IEC 25010:2015 Inzheneriia prohramnykh zasobiv i system. Vymohy shchodo yakosti ta otsiniuvannia system i prohramnoho produktu (SQuaRE). Modeli yakosti systemy ta prohramnykh zasobiv (ISO/IEC 25010:2011, IDT).
5. DSTU ISO/IEC 15939:2008 Inzheneriia system i prohramnykh zasobiv. Protse vyviriuvannia (ISO/IEC 15939:2007, IDT).

6. ISO/IEC 12207:2008 Systems and software engineering – Software life cycle processes.
7. ISO/IEC TR 15271:1998, Software Engineering – Software life cycle processes – Guide for ISO/IEC 12207 (Software Life Cycle Processes).
8. Velychko O., Gordiyenko T., Hrabovskyi O. Testing of measurement instrument software on the national level // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling systems. – 2018. – № 2/9 (92). – P. 35–42.
9. Velychko O., Gaman V., Gordiyenko T., Hrabovskyi O. Testing of measurement instrument software with the purpose of conformity assessment // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling systems. – 2019. – № 1/9 (97). – Pp. 19–26.
10. Fatrell R., Shafer D., Shafer L. Upravlenie programmnyimi proektami: dostizhenie optimal'nogo kachestva pri minimume zatrat. – M.: Vil'yams, 2003. – 1125 s.
11. Velychko O. M., Hrabovskyi O. V., Gordiyenko T. B. Osoblyvosti zastosuvannya V-modeli pry rozroblenni ta otsiniuvanni yakosti prohramnoho zabezpechennia zasobiv vymiriuvalnoi tekhniky // Zbirnik naukovih prac' Odes'koї derzavnoї akademii tehničnogo reguluvannâ ta âkosti. – 2019. – Vyp. 1 (14). – S. 6 – 11.
12. Braude E'. Tekhnologiya razrabotki programmnoho obespecheniya. – SPb.: Piter, 2004. – 655 s.
13. Boehm B. W. A spiral model of software development and enhancement. IEEE Computer. – 1988. – 21 (5). – P. 61–72.
14. OIML D 31:2008. General Requirements for Software Controlled Measuring Instruments. OIML. Paris, 2008. 53 p.
15. WELMEC 7.1. Informative Document: Development of Software Requirements.
16. WELMEC 7.2. Software Guide (Measuring Instruments Directive 2004/22/EC).
17. WELMEC 2.3. Guide for Examining Software (Non-automatic Weighing Instruments).
18. COOMET R/LM/10:2004. COOMET Recommendation: Software for Measuring Instruments: General Technical Specifications. COOMET. 2004. 10 p.

Надійшла до редакції 17.09.2019

УДК 004.932

В. А. Машенко¹, к.ф.-м.н., **П. В. Кіндрат²**, к.ю.н.

¹Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

²Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ АМПЛІТУДИ РЕЗОНАНСНИХ КОЛИВАНЬ ЗАКРІПЛЕНОГО ПОЛІМЕРНОГО СТРИЖНЯ НА ОСНОВІ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ТА АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕННЯ

В статті представлені структура інформаційно-виміральної системи та алгоритм керування апаратними засобами для визначення амплітуди резонансних коливань вільного кінця закріпленого полімерного стрижня. Запропонована послідовність операцій цифрової обробки зображення для визначення лінійних розмірів області бінарного зображення, що відповідає амплітуді коливань зразка. Алгоритм керування апаратними засобами та алгоритм цифрової обробки зображення реалізований в системі MATLAB з використанням можливостей графічного середовища користувача. На основі отриманих результатів показана можливість побудови резонансної кривої відносної амплітуди коливань зразка від частоти його збудження.

Ключові слова: покращення зображення, поріг яскравості пікселя, виділення меж, бінаризація, функції системи MATLAB, алгоритм визначення амплітуди коливань.

В. А. Машенко, к.ф.-м.н., **П. В. Кіндрат**, к.ю.н.

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АМПЛИТУДЫ РЕЗОНАНСНЫХ КОЛЕБАНИЙ ЗАКРЕПЛЕННОГО ПОЛИМЕРНОГО СТЕРЖНЯ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЯ

В статье представлены структура информационно-измерительной системы и алгоритм управления аппаратными средствами для определения амплитуды резонансных колебаний свободного конца закрепленного полимерного стержня. Предложена последовательность операций цифровой обра-