

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора МЕЖУЄВА Віталія Івановича на дисертаційну роботу ШКАРУПИЛА Вадима Вікторовича “Методи і засоби контролю артефактів процесу проектування програмно-алгоритмічного забезпечення систем критичного призначення”, подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 “комп’ютерні системи та компоненти”.

Актуальність теми дисертації. У наші дні численні процеси виробничої і невиробничої діяльності людини, серед яких і критичні, уможливлені завдяки передбачуваному функціонуванню комп’ютерних систем та відповідних компонентів у якості засобів, на основі яких такі процеси реалізуються.

Здобувачем у межах дисертаційної роботи охоплено програмну складову комп’ютерних систем, алгоритмічна частина якої розглядається як чинник, що впливає на передбачуваність протікання процесів, наслідки від виникнення непередбачених подій у межах яких можуть бути охарактеризовані як критичні. При цьому при представленні отриманих результатів досліджень автором розглянуто сценарії енергетики, аерокосмічної галузі.

У тексті дисертації, а також у рефераті, автором широко використовується словосполучення «програмно-алгоритмічна складова» (ПАС). Можна припустити, що це було зроблено із наголосом на специфіку представлених у межах роботи результатів досліджень.

Здобувачем поставлено за мету підвищення ефективності контролю артефактів у процесі розроблення ПАС систем критичного призначення на етапі проектування. Досягнення цієї мети було присвячено вирішенню важливої науково-технічної проблеми забезпечення контролю артефактів процесу проектування ПАС систем критичного призначення стосовно несуперечності артефактів.

У контексті зазначених вирішуваної проблеми і сформульованої мети не викликає сумнівів, що передбачуваність функціонування розроблюваної комп’ютерної системи істотним чином залежить від несуперечливості відповідної ПАС, що особливо важливо у площині критичних стосовно функційної безпечності галузей, серед яких, у тому числі, галузь енергетики,

аерокосмічна галузь. У межах дисертації автором представлено розроблені формальні методи і засоби як засоби контролю артефактів процесу проектування ПАС за показником несуперечливості ПАС, а також розвиток поширеного формального методу верифікації. Через це представлена тема дисертації може розглядатися як така, що є актуальною.

Ступінь обґрунтованості наукових положень та достовірність отриманих результатів. Отримані здобувачем і представлені у роботі результати, сформульовані положення, висновки є вичерпними і обґрунтованими. Ступінь обґрунтованості при цьому є таким, що дозволяє цілісно сприймати відповідне контекстне навантаження, висловлене автором. Обґрунтування проведено, у тому числі, і шляхом застосування загальновідомих засобів, прийомів, практик, наприклад методу підстановки, і шляхом надання посилань на відомі науково-технічні публікації за окресленою тематикою.

Викладення результатів роботи є таким, що дозволяє характеризувати їх як достовірні. Цьому сприяють, зокрема, наведені здобувачем отримані результати проведених досліджень, які узгоджуються із відомими результатами, наприклад стосовно експоненційного характеру зростання простору станів систем переходів, часових витрат. Теоретична складова роботи є концептуально узгодженою із експериментальною, що також сприяє достовірності отриманих результатів. Крім цього, у автора вагома частка публікацій індексується у базах Scopus та Web of Science, є також і публікації у виданнях категорії А, що є аргументом на користь достовірності результатів.

Отже, можна узагальнити, що ступінь обґрунтованості наукових положень та достовірність отриманих результатів є достатніми.

Наукова новизна дисертаційної роботи. Наукова новизна представлена здобувачем шістьма пунктами, серед яких: три методи, дві моделі і один розвиток методу. Пункти наукової новизни стосуються опрацювання показників функціональних і нефункціональних характеристик. Опрацюванню показника функціональних характеристик присвячено чотири позиції, нефункціональних – дві. Як показник функціональних характеристик здобувачем розглянуто несуперечливість ПАС, як показник нефункціональних характеристик – часові витрати, пов'язані із виконанням дій, формалізованих у межах ПАС.

Здобувач пов'язав винесені на захист наукові здобутки у межах відповідного підходу, викладеного у другому розділі, у тому числі у формі UML-діаграми, яка наявна також і в рефераті.

У представлених здобутках автор ставить наголос на методи і моделі стосовно опрацювання процесів одержання формалізованих подань ПАС, також іменованих у межах роботи як артефакти. Дещо при цьому тематично різниться наступний винесений на захист науковий результат: розвиток відомого метода формальної верифікації TLC Леслі Лемпорта. Автором відзначається, що наукова новизна проведеного ним розвитку полягає у комбінованому використанні методів обходу у глибину і у ширину теорії графів за ітеративного підходу до організації процесу формальної верифікації.

Решта п'ять пунктів новизни мають, загалом, подібне концептуальне навантаження. При цьому безпосередньо пов'язаними між собою є два наступні винесені на захист методи: розроблені метод синтезу формальних специфікацій і метод контролю відповідності цих специфікацій первинним артефактам. У якості первинних артефактів здобувач розглядає UML-діаграми і блок-схеми алгоритмів. Метод контролю відповідності представляється автором як такий, який має бути застосованим на заключному кроці розробленого методу синтезу формальних специфікацій.

У якості відмінної риси розробленого методу синтезу формальних специфікацій автором обґрунтовується запропонований механізм співставлення конструкцій охоплюваних площин розгляду (аналітичної і реалізації) досліджуваних артефактів розробником, який ґрунтується на застосуванні запропонованих здобувачем правил виконання відповідних перетворень. Разом із цим, як наукова новизна згаданого вище методу контролю відповідності автором позиціонується опосередкована перевірка відповідності результуючих формальних специфікацій первинним артефактам: на основі таких показників як глибина обходу простору станів системи переходів і загальна кількість станів системи переходів.

Озвучені вище два методи і розвиток методу призначені для контролю артефактів за показником функціональних характеристик. Цьому присвячено також відповідну розроблену здобувачем модель подання ПАС, де у якості наукової новизни виокремлюється використання аксіоми

композиції Гоара як засобу скорочення кількості рядків формальних специфікацій.

Контролю при проектуванні ПАС також і показника нефункціональних характеристик відведено представлений здобувачем метод і модель. За новизну у складі методу контролю автором відзначено підтримку дуального характеру опрацювання досліджуваного показника: за рахунок допустимості використання і оціночних, і фактичних значень складових останнього. При цьому як новизну винесеної на захист моделі, у відповідності до якої реалізовано названий метод, відзначено використання концепцій атомарної і складеної моделей математичного апарату DEVS у відповідності до ієрархічного підходу.

Практичне значення одержаних результатів, відомості щодо впровадження. Практичне значення результатів дисертації Шкарупила В.В. полягає у тому, що вони являють собою комплекс пов'язаних методів і засобів, які дозволяють проводити контроль розроблюваної ПАС за показниками функціональних і нефункціональних характеристик вже на етапі проектування ПАС.

Здобувачем було зауважено, що, замість розглянутих часових витрат, у якості показника нефункціональних характеристик аналогічним чином можуть бути опрацьовані, наприклад, матеріальні витрати.

Практичне значення результатів дисертації проявляється, зокрема, у відповідності до сформульованої мети дисертаційного дослідження, яка полягає у підвищенні ефективності процесу контролю. І таким проявом є, наприклад, скорочення результуючих часових витрат, супутніх процесу формальної верифікації методом перевірки на моделі у випадку, якщо у якості останнього застосовується винесений на захист розвиток відомого методу TLC.

Аналізуючи останній підрозділ заключного розділу дисертації, а також відповідні підтверджуючі копії документів, представлені у додатках, можна дійти висновку, що практичне значення результатів дисертаційного дослідження є вагомим. Такому враженню сприяє, серед інших, і копія акту впровадження результатів у робочий процес ТОВ "НВП "ХАРТРОН-ЮКОМ", напрям діяльності якого є орієнтованим на розроблення, у тому числі, програмно-алгоритмічної складової систем критичного призначення, що функціонують згідно сценаріїв аерокосмічної галузі.

Підтвердженнями важливості одержаних результатів роботи у галузі енергетики виступають, наприклад, лист підтримки від Громадської спілки "Міжнародна рада з великих електроенергетичних систем СІГРЕ в Україні", а також лист підтримки від Державного підприємства "Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки".

Іншим прикладом підтвердження вагомості отриманих результатів при розробленні систем критичного призначення є лист підтримки від Державного центру кіберзахисту Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України.

Доповненнями виступають також листи підтвердження впровадження у навчальний процес: навчально-наукового інституту енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", а також кафедри комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки факультету інформаційних технологій Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Оцінка структури та змісту дисертації, її завершеності. Дисертація складається з анотації, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел (189 бібліографічних найменувань) та 9 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 369 сторінок, у тому числі 255 сторінок основного тексту, включно із 27 таблицями і 38 рисунками.

В анотації у реферативній формі зведено основні наукові положення та отримані результати. Також наведено список публікацій здобувача за темою дисертації. Анотацію викладено українською і англійською мовами.

У вступі представлено наступну інформацію: обґрунтування актуальності обраної теми; формулювання мети і вирішуваних у відповідності до мети задач; об'єкт і предмет дослідження; наукова новизна і практичне значення отриманих результатів; відомості стосовно впровадження отриманих результатів; дані стосовно особистого внеску здобувача у наукових працях, опублікованих у співавторстві; відомості щодо проведеної апробації результатів.

У першому розділі «Аналіз методів та засобів контролю артефактів процесу проектування» здобувачем проведено аналіз предметної області. Розглянуто існуючі стандарти, що регламентують шляхи досягнення функційної безпечності розроблюваних систем. Викладено власну

інтерпретацію поняття «артефакт», яке є одним із центральних у роботі. Представлено ієрархічне подання складових процесу верифікації і валідації. Проаналізовано відомі підходи, методи, моделі, математичні, виразні засоби у частині формалізованого опрацювання артефактів процесу розроблення систем критичного призначення. Наголошено на важливості проведення такого опрацювання вже на етапі проектування у складі етапів процесу розроблення ПАС. При цьому автором висловлено тезу стосовно доцільності слідування принципам багатовимірної верифікації, згідно якої опрацюванню підлягають показники і функціональних, і нефункціональних характеристик у частині їх контролю у процесі розроблення.

У другому розділі «Розроблення моделі подання програмно-алгоритмічної складової» представлено запропонований здобувачем підхід і розроблена модель подання ПАС як складова підходу. Підхід висвітлено як засіб, що поєднує представлені до захисту наукові здобутки у формі комплексного рішення. Модель подання ПАС представлено як шаблон або прототип, у відповідності до якого рекомендовано одержувати уніфіковані артефакти у вигляді формальних специфікацій. Здобувачем у межах розділу у формі аналітичних виразів і графічних конструкцій представлено концептуальну складову розробленої моделі. При цьому опрацьовано обидва виокремлені концептуальні рівні у межах моделі: рівень аналітичний і рівень реалізації. Відзначено щодо дієвості використання аксіоми композиції Гоара для підвищення ефективності представлення артефактів як формальних специфікацій за показником зниження кількості рядків коду специфікацій.

У третьому розділі «Розроблення методу синтезу формальних специфікацій» розглянуто запропонований метод отримання формальних специфікацій для артефактів, представлених у вигляді блок-схем алгоритмів і UML-діаграм. У межах розділу автором видозмінено класичну постановку задачі формальної верифікації. Як допоміжний засіб, у розділі викладено також розроблений метод контролю відповідності формальних специфікацій стосовно первинних артефактів (блок-схем алгоритмів і UML-діаграм). Здобувачем цей метод представлено як такий, що має бути застосований на завершальному кроці розробленого методу синтезу формальних специфікацій. Метод розглянуто, базуючись на розробленій моделі, представленій у другому розділі. При дослідженні методу також

деталізовано результати дослідження названої моделі. Наведено результати оцінювання просторових і обчислювальних витрат. Розглянуто граничні випадки. Запропоновано і перевірено функції оцінювання просторових витрат для граничного випадку із поданням паралелізму на основі моделі чергування. Деталізовано результати досліджень стосовно другого розділу.

У четвертому розділі «Розвиток методу перевірки на моделі» викладено результати проведеного автором розвитку формального методу перевірки на моделі TLC. Цей розвиток подано як такий, що призначений до використання за ітераційної організації процесу формальної верифікації. Для проведення верифікації у відповідності до розробленого розвитку методу здобувачем пропонується при обході простору станів системи переходів, що будується у процесі верифікації, використовувати і метод обходу у ширину теорії графів, і метод обходу у глибину. У представлених автором дослідженнях стосовно розробленого розвитку методу TLC показано, що корисний ефект від його застосування може бути одержаний для випадків, що характеризуються граничними значеннями кількості змінних станів. І ці граничні значення залежать від архітектурної складової окремої формальної специфікації.

У розділі наведено результати досліджень що стосуються складових критичних систем сфери енергетики, космічної галузі. На прикладі артефакту у формі блок-схеми алгоритму для системи, застосовуваної у космічній галузі, показано результати оцінювання корисного ефекту від використання розвитку методу, у порівнянні із базовим методом. При цьому досліджено, у тому числі, швидкодію багатопоточних реалізацій методів обходу у ширину і у глибину у складі запропонованого розвитку методу. Для випадку артефакту із галузі енергетики (UML-діаграма) підтверджено несуперечність цього артефакту.

У п'ятому розділі «Розроблення моделі як стратифікованої архітектури» здобувач представив розроблену модель, яку виклав на основі концептуальної діаграми і аналітичних виразів із використанням засобів математичного апарату DEVS. Для представлення моделі здобувачем проведено класифікацію типів артефактів. При цьому постановка вирішуваної у межах розділу задачі є дещо перевантаженою надлишковими коментарями. Представлення моделі здійснено шляхом аналітичного опису. Окрему увагу приділено опису застосованого підходу до перевірки

адекватності розробленої моделі. Зауважено, однак, що така перевірка у межах дисертаційних досліджень була проведена опосередковано, і викладена у складі дослідницької частини у межах наступного, шостого, розділу. Автор позиціонує розроблену модель як засіб-прототип, згідно якого рекомендовано формувати формалізовані представлення на основі засобів DEVS, які містять також і засоби представлення досліджуваного показника нефункціональних характеристик.

У шостому розділі «Розроблення методу контролю показника нефункціональних характеристик» розглянуто розроблений автором метод, призначений забезпечити контроль досліджуваного показника нефункціональних характеристик при проектуванні програмно-алгоритмічної складової. Метод представлено у відповідності до розробленої моделі, розглянутої у попередньому розділі.

Здобувачем наголошується, що відмінною рисою розробленого методу є забезпечення можливості отримувати результуюче оціночне значення показника нефункціональних характеристик і на основі оціночних значень відповідних складових, і на основі фактичних.

Представлені у межах розділу отримані автором результати проведених досліджень розробленого методу є такими, що надають підстави припустити, що використання оціночних значень складових досліджуваного показника є порівняно ефективнішим шляхом, у частині зниження витрат часу на використання методу.

Окремим підрозділом представлено відомості щодо впровадження результатів досліджень, що стосуються усієї дисертаційної роботи.

Після кожного із розділів дисертації подано висновки. Також викладено загальні висновки за результатами роботи.

Список використаних джерел, що містить 189 елементів, оформлено належним чином.

У додатках до рукопису дисертації зведено наступну інформацію: формальні специфікації; фрагменти формальних специфікацій; фрагменти програмних реалізацій; експериментальні дані; UML-діаграма дій як артефакт-подання опрацьованого сценарію предметної області галузі енергетики; копії документальних підтверджень результатів впровадження, значимості результатів; список публікацій здобувача за темою дисертації; відомості про апробацію результатів дисертації.

Повнота опублікування матеріалів дисертації у наукових фахових виданнях. Основні наукові результати дисертації висвітлено у 68 працях, з яких: 6 – монографії, розділи монографій, у тому числі 1 – з індексацією у базі Scopus; 22 – статті у фахових періодичних виданнях, з-поміж яких 7 праць – з індексацією у базах Web of Science і Scopus, при цьому 3 статті є опублікованими у фахових виданнях категорії А; праці апробаційного характеру складають 40 позицій, і серед них 7 публікацій індексуються у базі Scopus.

За результатами аналізу списку праць апробаційного характеру, а також відповідних елементів списку, можна вважати, що дисертаційна робота пройшла достатню апробацію. Серед 40 наукових конференцій і семінарів, на яких було представлено отримані здобувачем результати, є, у тому числі, і такі відомі заходи, як Науково-технічний семінар «Критичні комп'ютерні технології та системи» – КриКТехС-2024/1/186 (м. Харків, 2024 р.); 2021 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (м. Харків, 2021 р.); 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT'2020 (м. Київ, 2020 р.; при цьому здобувачем зазначено у текстах реферату і дисертації, що було отримано сертифікат за кращу доповідь) та інші.

Кількість публікацій, а також їх рівень, дозволяють вважати, що за цими показниками представлена до захисту робота відповідає вимогам до докторських дисертацій.

У працях, опублікованих здобувачем у співавторстві, про що зазначено і у тексті реферату, і у тексті дисертації, відзначено особистий внесок здобувача.

У тексті дисертації є посилання на всі елементи списку використаних джерел, у складі якого зведено і всі публікації за авторством або співавторством здобувача. При цьому випадків плагіату або самоплагіату виявлено не було. На усі праці інших авторів, подані у вигляді елементів списку використаних джерел, є посилання у тексті дисертації. Список при цьому сформовано у порядку згадування джерел в основному тексті дисертації.

Список публікацій автора за темою дисертації представлено в анотації, у вигляді елементів списку використаних джерел, а також у додатках.

Відповідність змісту реферату тексту дисертації. Вважаю, що зміст реферату відповідає текстові дисертації. Особистий внесок здобувача ідентичним чином задекларовано і у тексті реферату, і у тексті дисертації.

Список публікацій здобувача за темою дисертації, наведений у рефераті, є ідентичним до списків, викладених в анотації дисертації і у додатках до тексту дисертаційної роботи.

Запитання та зауваження.

До дисертаційної роботи є такі зауваження і запитання:

1. У вступі, на с. 34, для словосполучення "космічного апарату" надається скорочення "КА", яке потім з'являється лише одноразово, у шостому розділі. Вважаю, що недоречно було виносити це скорочення до переліку скорочень.

2. Вважаю, що у першому, аналітичному, розділі дисертації питанням аналізу концептуальної складової і понятійного апарату приділено забагато уваги. При цьому класифікація шляхів реалізації процесу верифікації і валідації, представлена на рисунку 1.2 (с. 64), є дискусійною. Більший акцент мав би ставитись саме на засобах формалізованого контролю.

3. Із змісту таблиці 1.2, представленої на с. 94, незрозуміло, які із перелічених засобів призначені до застосування на етапі проектування у складі етапів процесу розроблення, оскільки саме на цьому етапі фокусуються здобутки дисертаційної роботи, винесені на захист.

4. У другому розділі, для представлення розробленої моделі, здобувач використовує математичний апарат теорії множин. При цьому для формалізації висловлювань залучаються представлення булевих значень. Виникає питання, чи адекватним чином така концептуалізація відповідає досліджуваним властивостям артефактів.

5. У третьому розділі, де представлено розроблені метод синтезу формальних специфікацій, і допоміжний метод контролю їх відповідності, експериментальна складова стосується відносної частки зменшення кількості рядків формальних специфікацій як показника ефективності. Це, однак, є показником корисного ефекту від застосування правила композиції Гоара, що стосується моделі, викладеної у другому розділі. Незрозуміло при цьому, що є показником корисного ефекту від застосування розроблених методів.

6. У четвертому розділі, у таблиці 4.16 на с. 230, наводяться результати оцінювання корисного ефекту від реалізації мультипоточності, і при цьому зазначається конфігурація обчислювальної системи, на якій вони були отримані. Вважаю, що, для узагальнення відповідних отриманих результатів, дослідження варто було б провести і на альтернативних обчислювальних системах.

7. У четвертому розділі, в експериментальній складовій стосовно сценарію предметної області галузі енергетики, на с. 234, зауважено, що відповідну формальну специфікацію було одержано на основі розроблених і представлених у другому і третьому розділах моделі і методів. При цьому кількісні оцінки відповідного корисного ефекту не зазначено.

8. Вважаю, що у п'ятому розділі, де представлено розроблену модель як ієрархічну архітектуру, описові аспектів відтворення архітектурної складової формальних специфікацій, несуперечливість яких було попередньо підтверджено, приділено недостатню увагу.

9. Експериментальні дослідження, представлені у шостому розділі, є такими, що стосуються синтетичного сценарію, за якого програмна частина реалізована як вебсервіс. Здобувачеві варто було б розглянути і предметно-орієнтовані сценарії у межах розділу.

Відзначу, що дані зауваження є дискусійного характеру, і не ставлять під сумнів наукові результати дисертаційної роботи, винесені на захист.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Шкарупила Вадима Вікторовича “Методи і засоби контролю артефактів процесу проектування програмно-алгоритмічного забезпечення систем критичного призначення” спрямована на вирішення важливої науково-технічної проблеми забезпечення контролю артефактів процесу проектування програмно-алгоритмічної складової систем критичного призначення стосовно несуперечності артефактів. Для цього здобувачем було розроблено нові метод синтезу формалізованих представлень, метод контролю відповідності цих представлень первинним артефактам, метод контролю досліджуваного показника нефункціональних характеристик програмно-алгоритмічної складової при проектуванні, розвиток методу перевірки на моделі TLC, а також дві моделі формалізованого подання первинних артефактів, на яких засновано

перелічені вище методи. Такий внесок вважаю вагомим у частині теоретичних і прикладних засад застосування формальних методів і засобів у процесі розроблення систем критичного призначення.

Дисертаційна робота здобувача справляє враження завершеної наукової праці, у якій представлено нові, науково обґрунтовані і достовірні результати. Вважаю, що зміст дисертації відповідає паспорту спеціальності 05.13.05 – “комп’ютерні системи та компоненти”.

Вказані зауваження не ставлять під сумнів достовірність отриманих автором результатів, і не є критичними у загальній позитивній оцінці наукового рівня роботи.

Викладене вище надає підстави стверджувати, що дисертаційна робота Шкарупила В.В. “Методи і засоби контролю артефактів процесу проектування програмно-алгоритмічного забезпечення систем критичного призначення” відповідає вимогам “Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197, а її автор Шкарупило Вадим Вікторович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – “комп’ютерні системи та компоненти”.

Офіційний опонент:

професор Інституту промислового менеджменту
Університету прикладних наук FH JOANNEUM
м. Капфенберг, Австрія

доктор технічних наук, професор

Phone: +43 316 5453 8324

Email: vitaliy.mezhuyev@fh-joanneum.at



Віталій МЕЖУЄВ

I hereby certify that the foregoing signature is genuine:

Prof. Mag. Dr. Martin Tschandl

Head of the Institute of Industrial Management

FH JOANNEUM University of Applied Sciences

Werk-VI-Straße 46, A-8605 Kapfenberg

Phone: +43 .3862.33600-8340

Email: martin.tschandl@fh-joanneum.at

