

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу **Шкарупила Вадима Вікторовича**

«Методи і засоби контролю артефактів процесу проєктування 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 дисертаційної роботи.

Дисертаційну роботу **Шкарупила В.В.** присвячено вирішенню актуальної науково-технічної проблеми, яка полягає в покращенні передбачуваність роботи систем критичного призначення за рахунок забезпечення контролю артефактів процесу проєктування програмно-алгоритмічної складової систем критичного призначення стосовно їх несуперечності, що є вагомим критерієм у частині досягнення заданого рівня функційної безпечності під час розроблення цих систем. Останні при цьому містять і програмну, і апаратну складові. Рівень складності програмної частини є зростаючим. Дана складність визначається також і алгоритмічним навантаженням, яке потребує ґрунтового забезпечення несуперечливості алгоритмічних складових систем критичного призначення.

Здобувачем у дисертації опрацьовано проблему контролю подань алгоритмічної складової у частині їх несуперечливості, виконуваного при розробленні систем критичного призначення. Згадані подання у тексті дисертації автором позиціонуються як «артефакти». Згідно тексту дисертації, дану проблему було вирішено шляхом досягнення мети, яка полягає у підвищенні ефективності контролю артефактів у процесі розроблення системи.

Контроль алгоритмічних складових здобувачем виконується шляхом розроблення і використання формальних методів і засобів. Їх рекомендовано застосовувати вже на етапі проєктування компонентів розроблюваної програмної складової, у тому числі як засоби самоконтролю розробників. Такий крок є необхідним та зрозумілим, адже своєчасність виявлення помилок

прийнятих проєктних рішень, обумовлених також і впливом людського чинника, є вирішальним аспектом, який впливає на результуючі показники функційної безпечності розроблюваної комп'ютерної системи.

Отже, ґрунтуючись на вище наведеному, тема дисертаційної роботи є *актуальною*.

Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації відповідає напрямам науково-дослідної діяльності Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. Роботу виконано у відповідності до таких НДР: 0121U110615 «Розроблення методів та засобів верифікації артефактів процесу проєктування систем критичного призначення» (конкурсна тематика, 2021 – 2022 рр.); 0120U102683 «Розроблення спеціалізованих комп'ютерних технологій моделювання та опрацювання оперативної інформації в задачах енергетики» (2020 – 2024 рр.).

Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій. Ступінь обґрунтованості результатів не викликає сумнівів, здобутки викладено із належною аргументацією, із наданням посилань на відповідні джерела. Наукові положення, висновки, рекомендації підкріплено отриманими результатами експериментальних досліджень. Строгість викладення матеріалу забезпечується використанням математичного апарату та засобів формалізації. Матеріал представлено із дотриманням логічної послідовності.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій базується на слідуванні принципам проведення наукових досліджень, принципам академічної доброчесності, опублікуванні отриманих результатів у вітчизняних і закордонних фахових виданнях, апробації отриманих результатів на численних конференціях і семінарах. Достовірність та практична значимість отриманих у роботі положень та висновків підтверджується копіями документів розміщеними у додатках.

Наукова новизна результатів дисертації. У відповідності до наданих текстів реферату і дисертації, наукова новизна роботи полягає в наступному:

1. *Вперше розроблено метод синтезу формальних специфікацій для подань створюваної програмно-алгоритмічної складової комп'ютерних систем критичного призначення, що, на відміну від альтернативних рішень, за рахунок застосування запропонованих правил перетворення конструкцій у складі формалізованих подань, дозволив охоплювати під час проєктування вказаної складової досліджувані артефакти аналітичної і практичної реалізації рівнях.*

2. *Вперше розроблено метод контролю відповідності формальних специфікацій первинним артефактам, що дозволило, на відміну від альтернативних рішень, проводити вказаний контроль, керуючись просторовими показниками стосовно систем переходів як графів, що будуються у процесі формальної верифікації під час проєктування програмно-алгоритмічного забезпечення, а саме: за показниками глибини обходу простору станів та загальної кількості станів.*

3. *Вперше розроблено метод контролю показника нефункціональних характеристик створюваного програмно-алгоритмічного забезпечення систем критичного призначення, який, на відміну від альтернативних рішень, за рахунок реалізації здобувачем дуального механізму опрацювання складових названого показника, дозволяє проводити вказаний контроль вже на етапі проєктування у складі етапів процесу розроблення: шляхом здійснення імітаційного дискретно-подійного моделювання. Дуальність полягає у можливості використання і оціночних, і фактичних значень складових даного показника.*

4. *Набув подальшого розвитку метод формальної верифікації TLC, за рахунок поєднання методів обходу у ширину і у глибину теорії графів за ітераційного проведення верифікації на основі формальних специфікацій, що дозволило зменшити часові витрати на проходження процесу верифікації.*

5. *Вперше розроблено модель формалізованого представлення програмно-алгоритмічного забезпечення систем критичного призначення, які на відміну від альтернативних рішень, за рахунок використання правила композиції Гоара,*

досягають скорочення кількості рядків коду одержуваних у відповідності до моделі формальних специфікацій.

6. *Вперше розроблено модель, у якій, на відміну від альтернативних рішень, за рахунок проведення стратифікації формалізованих подань і оперування при цьому конструкціями «атомарної» і «складеної» моделей математичного апарату DEVS, було реалізовано механізм накопичення значення досліджуваного показника нефункціональних характеристик розроблюваного програмно-алгоритмічного забезпечення систем критичного призначення вже на етапі проектування у складі етапів процесу розроблення.*

Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих працях. Основні результати дисертації опубліковано здобувачем у 68 наукових працях, у тому числі: 6 робіт – колективні монографії, розділи монографій, серед яких 1 працю проіндексовано у базі SCOPUS; 22 статті у фахових періодичних виданнях, з яких 3 публікації представлено у виданнях категорії А, а 7 статей є такими, які індексуються у базах SCOPUS і Web of Science.

Основні положення і результати **дисертаційної роботи пройшли апробацію результатів** 40 міжнародних конференцій науково-практичного напрямку, у тому числі 7 матеріалів конференцій проіндексовано у базі SCOPUS. На конференціях результати дослідження отримали позитивну оцінку. З огляду на це апробація результатів дисертаційної роботи є достатньою.

Як узагальнення вважаю, що рівень публікацій (на підставі індексації праць у базах SCOPUS та Web of Science, а також наявності статей у фахових виданнях категорії А), а також відповідні кількісні показники є достатніми.

Винесені на захист результати опубліковано у повній мірі.

Значущість дисертаційної роботи для науки і практики. Значущість представлених результатів дисертації для науки полягає у запропонованих здобувачем методах та моделях, призначених до використання у процесі розроблення комп'ютерних систем, у тому числі систем критичного

призначення. Ці здобутки надають подальшого розвитку теоретичним основам застосування формальних методів і засобів.

Значущість результатів дисертації для практики полягає у тому, що розроблені та розвинуті автором методи і моделі забезпечують можливість здійснювати контроль створюваних у процесі розроблення програмно-алгоритмічного забезпечення діаграм і блок-схем алгоритмів на етапі проєктування, що було продемонстровано здобувачем у тексті дисертації на прикладах критичних сценаріїв енергетики і аерокосмічної галузі.

Підтвердженням практичної значущості роботи є представлені у додатках документи, а саме: акт впровадження результатів у робочий процес ТОВ «НВП «ХАРТРОН-ЮКОМ», лист підтримки від Державного підприємства «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», Громадської спілки «Міжнародна рада з великих електроенергетичних систем СІГРЕ в Україні», Державного центру кіберзахисту Державної служби спец. зв'язку та захисту інформації України, лист підтвердження впровадження у навчальний процес навчально-наукового інституту енергозбереження та енергоменеджменту НТУ України "КПІ імені Ігоря Сікорського", лист підтвердження впровадження у навчальний процес кафедри комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки факультету інформаційних технологій Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Структура та зміст дисертації. Дисертацію викладено на 369 сторінках, з яких основний зміст роботи становить 255 сторінок. Представлена робота включає анотацію, вступ, шість розділів, висновки, список використаних джерел із 189 найменувань, а також 9 додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми дисертації, сформульовано проблему, мету, вирішувані задачі, представлено об'єкт і предмет дослідження, наукову новизну і практичну цінність отриманих і винесених на захист результатів, відображено зв'язок роботи з науковими програмами та планами, зазначено особистий внесок здобувача, наведено апробації роботи та публікації її результатів у наукових виданнях, описано

структуру дисертації, а також підкреслено особистий внесок здобувача у публікаціях за співавторством.

У першому розділі здобувачем проаналізовано стандарти, у яких рекомендовано використовувати формальні методи у процесі розроблення. Особливу увагу автором приділено розглядові прикладів критичних сценаріїв, за яких використання формальних методів і відповідного математичного апарату супроводжувалось значимим корисним ефектом. Представлено проведену класифікацію формальних методів і засобів. Викладено засади щодо важливості розроблення і використання комплексного підходу до проведення контролю артефактів процесу розроблення.

Другий розділ містить опис розроблених автором моделі і підходу до її реалізації. Модель при цьому виноситься на розгляд як науковий здобуток, а підхід – як засіб, за допомогою якого усі винесені на захист здобутки поєднуються між собою. У викладенні моделі автором наголошено на застосуванні правила композиції Гоара у якості засобу скорочення кількості рядків коду формальних специфікацій. Представлений підхід подано графічно, у формі діаграми. Автор при описі моделі застосовує різні засоби формалізації: засоби структури Кріпке, формалізм TLA+ тощо.

Третій розділ присвячено двом розробленим методам, один з яких – це метод синтезу формальних специфікацій, другий – метод контролю відповідності одержуваних специфікацій первинним артефактам. Автором конструкції, що подаються на вхід методу синтезу, названо первинними артефактами. Як досліджуваний показник функціональних характеристик здобувачем опрацьовано несуперечливість програмно-алгоритмічної складової. У межах розділу також висвітлено результати досліджень розробленої моделі, представленої у другому розділі, підкреслено і проаналізовано корисний ефект, який отримується за її використання.

У четвертому розділі здобувач представив проведений розвиток відомого формального методу перевірки на моделі TLC. Дослідження проведено у частині оцінювання обчислювальних і просторових витрат,

супутніх процесу формальної верифікації: на основі базового методу і проведеного розвитку методу. Автором показано, що корисний ефект було досягнуто у частині обчислювальних витрат. При цьому було зауважено, що цей ефект залежить від кількості ітерацій, кількості змінних, архітектурної складової формальної специфікації. У розділі значну увагу приділено дослідженню впливу мультипоточності, що є адекватним кроком здобувача у напрямі врахування особливостей актуальних комп'ютерних систем, які використовуються у контексті дисертаційних досліджень у якості програмно-апаратної обчислювальної платформи. Серед подань критичних сценаріїв, які опрацьовано у дисертації є блок-схема алгоритму роботи підсистеми у складі системи керування орієнтацією космічного апарату, несуперечливість якої, було підтверджено в висновках автора.

П'ятий розділ дисертації присвячено описові розробленої моделі. Модель, яка розглядається в розділі на відміну від розглянутої у другому розділі моделі, забезпечує контроль артефактів розроблюваного програмно-алгоритмічного забезпечення за досліджуваним показником нефункціональних характеристик. У якості такого показника у межах розділу висвітлюються часові витрати. Здобувачем при цьому зазначено, що аналогічним чином, засобами розробленої моделі, можуть бути опрацьовані і матеріальні витрати. У межах розділу автором також представлено розроблений і застосований підхід до контролю адекватності запропонованої моделі.

У *шостому розділі* представлено розроблений метод, який базується на моделі, описаній у п'ятому розділі. Автором відзначено, що характерною ознакою запропонованого методу є забезпечення розробника можливістю використання у процесі дослідження показника нефункціональних характеристик як фактичних, так і оціночних значень складових. Відповідний контроль показника здобувач пропонує здійснювати під час проєктування програмно-алгоритмічного забезпечення. Представлені дослідження стосуються штучного сценарію є показовими, адже створюють підстави для розгляду оціночних значень, які істотним чином сприяють скороченню витрат

часу на застосування розробленого методу. Увагу у розділі приділено також висвітленню аспектів впровадження отриманих результатів.

Всі елементи списку праць здобувача за темою дисертації, які також подано окремо в анотації і у додатках(Додаток К) наявні серед 189 посилань списку використаних джерел.

Додатки містять, окрім згаданого переліку посилань, також програмний код застосунків, використаних автором у якості допоміжних засобів під час проведення досліджень. У додатках також представлено досліджені формальні специфікації, фрагменти формальних специфікацій, допоміжні результати проведених досліджень. Окремої уваги при цьому заслуговує UML-діаграма дій як артефакт, на основі якого було досліджено сценарій галузі енергетики. Додатки також містять копії документів, які засвідчують практичну значущість отриманих і винесених на захист результатів дисертаційного дослідження.

Відповідність тексту дисертації паспорту спеціальності. Текст дисертації відповідає паспорту спеціальності 05.13.05 - комп'ютерні системи та компоненти.

Відповідність досягається за такими напрямками досліджень: методи й засоби забезпечення ефективності, надійності, контролю, діагностики, визначення параметрів, відлагодження, випробування, а також проєктування високоефективних, надійних, придатних для контролю та діагностики комп'ютерних систем та мереж, їх пристроїв та компонентів; теоретичні засади, методологічні, алгоритмічні та програмно-апаратні засоби опрацювання інформації, представленої формалізованими знаннями та природомовними об'єктами; розробка та дослідження методів та технологій автоматизованого проєктування технічних та програмних засобів комп'ютерних систем і мереж, мов опису, моделей та структурно-алгоритмічної організації систем та мереж для різних ієрархічних рівнів їх подання, створення інтелектуалізованих систем аналізу і синтезу апаратних та програмних засобів комп'ютерних та інформаційно-вимірювальних систем, комп'ютерних мереж та їх компонентів.

Відповідність реферату текстові дисертації. Зміст реферату відповідає тексту дисертації. Список публікацій реферату відповідає спискам публікацій, наданим в анотації і у додатках до основного тексту дисертації.

Наведений перелік публікацій у рефераті та дисертації містить однаковим авторський внесок у роботах, що опубліковані у співавторстві.

Використання матеріалів кандидатської дисертації у тексті докторської дисертації не виявлено.

Зауваження до дисертаційної роботи. Варто вказати такі зауваження до дисертації:

1. Загальне зауваження до характеру викладення тексту дисертації: у частині коментарів і роз'яснень, здобувачеві варто було їх подавати у більш стислій формі.

2. У розділі 1 стосовно рисунку 1.2, с. 64, вважаю, що охоплення поняття «валідації» є надлишковим, оскільки заважає цілісності сприйняття роботи.

3. Із тексту розділу 2, де здобувачем висвітлено розроблену модель, незрозумілим, тим не менш, лишається питання вибору рівня деталізації формальних специфікацій, які отримуються у відповідності до запропонованої моделі.

4. Розділ 3 здобувачем позиціонується як такий, де розглядається розроблений метод синтезу формальних специфікацій. Разом із цим, дані таблиці 3.1 (с. 148), а також таблиці 3.2 (с. 154), за своїм контекстом, розкривають саме корисний ефект від моделі, якій було присвячено розділ 2. Зважаючи на зауважене, таблицю 3.1, таблицю 3.2, а також супутні коментарі, варто було б представляти саме у другому розділі.

5. У розділі 3, разом із запропонованим методом синтезу формальних специфікацій, представлено також і метод контролю відповідності, охарактеризований здобувачем як допоміжний. Автором зазначено, що цей метод полягає у співставленні систем переходів за показниками глибини обходу простору станів, а також загальної кількості станів. Постає питання, чи

достатнім є вибір саме таких показників, щоб з певною мірою упевненості судити стосовно відповідності результатів методу синтезу вихідним конструкціям.

6. Стосовно розділу 4 вважаю, що вміст таблиці 4.9 (с. 210) є недостатньо репрезентативним. Попри те, що здобувач зауважив, що причиною тому стала нестача наявної оперативної пам'яті обчислювальної системи для проведення досліджень, варто було б розширити вміст таблиці 4.9.

7. Автором на с. 263 (розділ 5) узагальнено, що підтвердження адекватності розробленої моделі згідно представленого підходу розглянуто у наступному, шостому, розділі. Варто вказати, що стосовно цього питання роз'яснення надано на с. 275, у коментарях до рисунку 6.3, але лише по відношенню до представленого випадку.

8. У розділі 6 діаграма, наведена на рисунку 6.5, потребує додаткового роз'яснення у частині змістового навантаження її складових.

9. В роботі автором запропоновано багато оригінальних підходів та ефективних рішень, але не отримано жодного патенту чи авторського свідоцтва.

10. У тексті дисертаційної роботи зустрічаються стилістичні та граматичні помилки.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку отриманих автором результатів, несуть рекомендаційний зміст і є відкритими до обговорення.

Висновки. У цілому, представлена дисертаційна робота здобувача Шкарупила Вадима Вікторовича є завершеною науковою працею, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує поставлену науково-технічну проблему забезпечення контролю артефактів процесу проєктування програмно-алгоритмічної складової систем критичного призначення стосовно їх несуперечності – за заданими показниками функціональних і нефункціональних характеристик. Поставлена мета, на мою думку, відповідає

окресленій проблемі, і є досягнутою. Обсяг і науковий рівень дисертації є достатніми. При цьому вважаю, що вказані вище зауваження до дисертації не зменшують її теоретичної і практичної цінностей.

За змістом, цілісністю, оформленням, науковим і практичним значенням вважаю, що дисертаційна робота «Методи і засоби контролю артефактів процесу проєктування програмно-алгоритмічного забезпечення систем критичного призначення» відповідає вимогам, які висуваються згідно «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 1197 від 17 листопада 2021 року, а її автор, Шкарупило Вадим Вікторович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 - комп'ютерні системи та компоненти.

Офіційний опонент

Завідувач відділу

теоретичної електротехніки та

діагностики електротехнічного обладнання

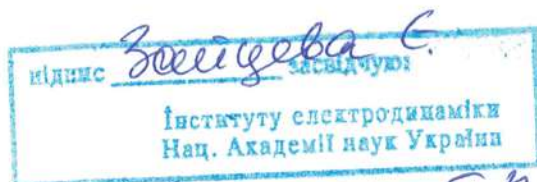
Інституту електродинаміки НАН України

доктор технічних наук,

старший науковий співробітник



Євген ЗАЙЦЕВ



Савосєва Т. А. - [signature]