

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Одарущенка Олега Миколайовича, що виконана на тему: «Методи і засоби забезпечення надійності та функційної безпечності програмно-технічних комплексів з урахуванням фізичних і проєктних дефектів компонентів», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

### **Актуальність теми дисертації**

Постійний розвиток галузей економіки, науки й техніки характеризується ростом рівня їх технічної оснащеності та значимості складних технічних комплексів критичного використання (ТККВ). До таких комплексів відносяться складі інформаційно-керуючі системи (ІКС) та їх ядро програмно-технічні комплекси (ПТК) задіяні в енергетиці, транспорті і зв'язку, авіації та космонавтиці, нафтогазовій, хімічній, металургійній та інших галузях промислові. Надійна довготривала робота таких систем є одними із найважливіших умов національних та міжнародних стандартів. Безпека виробничих процесів, нормується властивістю функційна безпечність (ФБ), яка забезпечується процесами зниження ризиків виникнення і розвинення аварійних ситуацій на небезпечних виробництвах. Одним із сучасних підходів до забезпечення та оцінювання ФБ ПТК ІКС є підхід, заснований на встановленні рівнів інтегрованості безпеки (Safety Integrity Level - SIL). Даний підхід детально описаний в серії стандартів МЕК 61508. Наприклад, системи захистів АЕС, а також нафтогазових комплексів повинні відповідати рівню, для якого інтенсивність відмови ІКС в режимі постійної роботи повинна складати не більше  $10^{-7}$  1/рік. Тільки таке значення дозволить забезпечити заявлений рівень ризику. Зрозуміло, що такі високі показники вимагають реалізації комплексу технічних і організаційних заходів щодо забезпечення і оцінювання надійності і ФБ. Підтвердження відповідності ПТК ІКС вимогам по надійності і ФБ, як правило, здійснюється при виконанні їх сертифікації.

Відзначимо, що впровадження інформаційних систем та супутніх інформаційних технологій для ТККВ носять двоякий характер. З одного боку, динамічно розширюється набір і можливості ПТК ІКС, що призводить до підвищення ефективності технологічних процесів, поліпшення якості продукції, зниження ресурсоемності виробництва, а з іншого, - зростають ризики, які супроводжують процес підвищення залежності функціональності, надійності і безпеки ІКС від якості проєктних рішень, одержуваних з використанням цих технологій. Дані ризики вимагають розроблення методів

комплексного оцінювання взаємного впливу апаратних і відповідно програмних компонент на надійність та ФБ ПТК ІКС та відповідно розроблення і запровадження заходів забезпечення рівнів цих властивостей, які вимагаються стандартами.

Тобто можливо зробити висновок, про те, що автором коректно встановлено існуюче протиріччя у невідповідності між розширенням множини причин порушення працездатності програмно-технічних комплексів ІКС ТККВ в наслідок прояву фізичних і проєктних дефектів їх апаратних, програмних і програмовних компонентів, зміною параметрів потоків їх відмов і відновлень, з одного боку, і рівнем розвитку концептуальних засад, сучасних методів і засобів оцінювання та забезпечення надійності та функційної безпечності, які не враховують повну множину причин і характеристик відмов і порушень ПТК ІКС, – з іншого боку. Доведено, що подолати це протиріччя можливо шляхом вирішення актуальної науково-прикладної проблеми комплексного оцінювання і забезпечення надійності і функційної безпечності програмно-технічних комплексів інформаційно-керуючих систем критичного застосування в процесі розроблення, верифікації, валідації та використання за призначенням з урахуванням відмов, обумовлених проєктними, фізичними дефектами і вразливістю програмних і апаратних засобів (включаючи відмови з загальної причини), а також зміни параметрів потоків їх відмов і відновлень.

Тому тема дисертаційних досліджень: «Методи і засоби забезпечення надійності та функційної безпечності програмно-технічних комплексів з урахуванням фізичних і проєктних дефектів компонентів» є актуальною.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації**

В першому розділі дисертації виконано аналіз причин, наслідків відмов та факторів впливу ІКС на надійність та функційну безпечність авіаційних, ракетно-космічних комплексів та систем промислової автоматизації і зокрема на програмно-технічні комплекси інформаційно-керуючих систем АЕС. За результатами аналізу встановлено, що для авіаційних та ракетно-космічних комплексів зберігається значна доля відмов пов'язаних із відмовами їх систем керування. Левова доля відмов таких систем керування виникає в результаті відмов програмного забезпечення. Для систем промислової автоматизації встановлено, що на сьогодні, найбільш впливовими факторами залишаються: відмови технічних засобів ПТК ІКС; відмови програмного забезпечення; відмови периферійних пристроїв; зовнішні впливи та помилки персоналу. Тому, сучасні ПТК ІКС зберігають набір «дефіцитів безпеки», які

визначаються: недостатньою надійністю технічних засобів; недостатнім рівнем діагностики апаратного та програмного забезпечення; неповним задоволенням вимог до сейсмостійкості; різноманітністю елементної бази та технічних рішень для різних ІКС (в межах одного енергоблоку) тощо. Виконано аналіз вимог національних та міжнародних стандартів до надійності та функційної безпечності ПТК ІКС критичного застосування. Встановлено, що існуюча нормативна база вимагає встановлення всеохоплюючих засобів для забезпечення надійності та функційної безпечності ПТК ІКС критичного застосування, що потребує виконання аналізу, розроблення нових моделей, методів, технологій оцінювання і забезпечення вказаних властивостей на всіх етапах життєвого циклу систем досліджуваного класу. Важливим є встановлений факт, що існуючі стандарти не дають рекомендацій щодо комплексного оцінювання систем з урахуванням того, що сучасні обчислювальні системи інтегрують апаратні і програмні засоби, які в ході роботи мають взаємний вплив. На прикладі базового стандарту ІЕС 61508 доведено, що стандарт (стандарти) не вільні великої кількості недоліків: неточних визначень, методологічних невизначеностей або некоректних рекомендацій тощо, що потребує розроблення рекомендацій щодо вдосконалення нормативної бази, що надалі позитивно впливатиме на процеси розроблення і тестування систем досліджуваного класу.

Виконано огляд базових теорій оцінювання та забезпечення надійності та функційної безпечності, що дозволило обґрунтовано сформулювати наступні висновки: незважаючи на розвиток обчислювальної техніки і відповідно зростання впливу програмного забезпечення на рівень надійності і ФБ цієї техніки продовжує окремий розвиток теорія надійності технічних систем і відповідно науково-методичний апарат оцінювання надійності і ФБ систем на основі врахування надійнісних характеристик виключно апаратних компонент; теорія надійності програмного забезпечення, отримує розвиток, як окремий напрямок, з урахуванням надійнісних характеристик виключно програмних складових надійності та функційної безпечності без урахування того, що сучасні системи є інтегрованими програмно-апаратними системами, тобто на даний час фактичною відсутнє врахування впливу надійності окремих компонент апаратних засобів на кінцевий результат роботи програми і навпаки. Встановлено аналітичний зв'язок між показниками надійності і функційної безпечності, що дозволяє використовувати спільні методи їх оцінювання. Обґрунтовано послідовність досліджень, яку декомпозовано на сім етапів, в ході виконання яких послідовно розв'язано часткові завдання, науково-прикладну проблему та отримано сім наукових результатів.

В другому розділі набула подальшого розвитку методологія оцінювання і забезпечення надійності та ФБ ІКС ТККВ застосування за рахунок опису їх інформаційно-технічного стану, удосконалення принципів зменшення та оцінювання ризиків його порушень внаслідок проєктних і фізичних дефектів і дефектів взаємодії з урахуванням змінності параметрів потоків відмов і відновлень, що забезпечує підвищення точності оцінювання і повне виконання вимог до відповідних показників. Важливо і обґрунтовано, що методологія базується на розвитку парадигми фон Неймана і гіпотезі про можливість побудови надійних і функційно безпечних систем ПТК ІКС із недостатньо надійних програмно-апаратних компонентів, тобто з урахуванням відмов внаслідок їхніх фізичних і проєктних дефектів, а також принципах, які забезпечують її підтвердження. У рамках методології запропоновано наступні принципи: аналізу інформаційно-технічного стану та варіантів його порушення, який відрізняється тим, що оцінювання здійснюється за рахунок впровадження ідеї аналізу та дослідження розширеної сукупності: властивостей (безвідмовності, готовності, функційної безпечності), зовнішніх та внутрішніх інформаційних та технічних впливів на систему і множин станів, в які переходить система після впливу відповідного типу; визначення змінних параметрів відмов за різними ознаками і відновлень компонентів і систем, який відрізняється тим, що оцінювання здійснюється за рахунок впровадження ідеї зняття припущення про не змінність надійнісних параметрів АЗ і ПЗ; комплексування моделей і методів оцінювання апаратних, програмних і програмовних компонент ПТК, який відрізняється тим, що оцінювання здійснюється за рахунок впровадження ідеї послідовного поєднання математичних моделей, використання їх переваг для забезпечення значень показників надійності та ФБ; процесно-продуктивної диверсності при створенні систем, який відрізняється тим, що для забезпечення значень показників надійності та функційної безпечності ПТК ІКС підвищення повноти та достовірності верифікації і валідації програмного забезпечення і ПТК ІКС в цілому застосовуються диверсні, незалежні процеси і засоби проєктування та тестування. Обґрунтовано «горизонтальні» та «вертикальні» зв'язки між складовими методології, а саме розробленими математичними моделями та методами. Відзначено, що запропонована методологія базується на основних принципах системного підходу, що дозволяє вирішити проблему комплексного оцінювання і забезпечення надійності і ФБ ПТК ІКС.

В третьому розділі на основі аналізу практик тестування, рефакторингу і супроводу програмного забезпечення доведено, що існує фактор внесення вторинних дефектів, який має вплив на надійність ПЗ і має бути врахований.

Тому обґрунтовано виконано обрання ймовірнісних моделей надійності ПЗ і їх модифікація з метою врахування означеного фактору. Модифіковано функції ризику наступних МНПЗ: Джелінського-Моранди; простої експоненційної; Шика-Уолвертона; моделі Муси, моделі Ліпова, що стало отриманням другого наукового результату. Наведено послідовність оцінювання інтенсивності прояву дефектів проєктування ПЗ.

В четвертому розділі розроблено метод оцінювання надійності та ФБ ПТК зі структурно-версійною надмірністю, який на відміну від відомих враховує різні сценарії зміни параметрів потоків відмов і відновлень програмних, програмовних і апаратних засобів, що забезпечує підвищення точності розрахунку функції готовності та імовірності відмов за загальною причиною. Метод є частиною запропонованої методології, в його основу покладено: принципи розроблення багатофрагментних марковських моделей, які відображають основну ідею про доцільність оцінювання показників надійності і функційної безпечності із урахуванням зміни надійнісних параметрів апаратної і програмної компонент ПТК в часі; систематизація змінних параметрів; узагальнена модель прояву та усунення дефектів проєктування ПЗ та дефектів взаємодії; загальна модель прояву дефектів та вразливостей; сценарії зміни параметрів; систематизація багатофрагментних моделей. Це дозволило розробити комплекс багатофрагментних моделей оцінювання надійності і функційної безпечності ПТК для базових архітектур їх побудови. Аналіз комплексу розроблених багатофрагментних марковських моделей обґрунтовано дозволив отримати класифікацію цих моделей за основними ознаками. Дослідження результатів моделювання із використанням комплексу розроблених багатофрагментних марковських моделей дозволили одержати нову інформацію про надійність і функційну безпечність існуючих і перспективних ПТК, що дозволяє особі, що приймає рішення приймати вчасні рішення щодо розробки та експлуатації систем досліджуваного класу.

В п'ятому розділі уперше розроблено моделі оцінювання готовності та ФБ ПТК на самодіагностовних платформах, які на відміну від відомих враховують помилки контролю та змінність параметрів системи, що забезпечує підвищення точності оцінки готовності і функційної безпечності, можливість обґрунтування вимог до засобів. Дані моделі відображають переваги технології програмовних логічних інтегральних схем (ПЛІС), які за результатами аналізу є найбільш ефективними для реалізації програмно-технічними комплексами функцій захисту, блокування, управління й регулювання, що відповідають вимогам державних і міжнародних нормативно-технічних документів з безпеки. Автором обґрунтовано, що основна перевага використання технології ПЛІС полягає в тому, що вона ще

на етапі проектування системи дозволяє закладати алгоритми самодіагностування, які далі будуть виконуватись окремими підсистемами контролю та діагностування, як апаратної так і програмної компонент. Дане твердження доведено результатами класифікації підсистем контролю й діагностування перспективної самодіагностовної програмованої платформи RadICS побудованої із використанням технології ПЛІС.

В шостому розділі наведено особливо цікаві результати, а саме методи верифікації і валідації програмовних платформ і програмно-технічних комплексів на їх основі, які на відміну від відомих, базуються на комплексуванні процедур аналізу видів, наслідків і критичності відмов та ін'єктування фізичних і проєктних дефектів, що забезпечує перевірку виконання вимог стандартів і підвищення функційної безпечності за рахунок збільшення імовірності виявлення прихованих дефектів. До цих методів відносяться: метод засіву апаратних дефектів, який відрізняється від відомих процедурою оптимізації таблиць покриття, що забезпечує достатнє тестове покриття та зменшує затрати часу на виконання тестування; метод засіву програмних дефектів, який базується на техніці FMEA і відрізняється від відомих процедурою оптимізації таблиць покриття, що забезпечує необхідний рівень тестового покриття і зменшує затрати часу на виконання тестування. Автором представлено результуючий оцінювання та забезпечення функційної безпечності при розробленні та ліцензуванні модулів і платформ для інформаційно-керуючих систем на програмовних логічних інтегральних схемах, який на відміну від відомих ураховує фізичні та проєктні дефекти, а також змінність параметрів відмов і відновлень, і гарантує виконання вимог міжнародних стандартів до рівня функційної безпечності SIL3. Всі результати досліджень отримано на виконання вимог державних та міжнародних стандартів, які встановлено до процесів розроблення, тестування ПТК ІКС критичного застосування.

### **Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації**

Достовірність нових наукових положень і висновків дисертаційної роботи підтверджується:

- збігом з результатами, отриманими з використанням відомих моделей і методів теорії надійності; обґрунтованістю припущень, прийнятих при розробленні моделей і методів, виходячи з досвіду експлуатації ПТК ІКС;
- працездатністю та ефективністю апаратних рішень та інструментальних засобів, отриманих із застосуванням запропонованих методів і моделей, підтвердженою на низці підприємств;

- результатами практичного використання розроблених моделей, методів та інструментальних засобів при створенні, сертифікації та експлуатації ПТК на програмовних платформах та ІКС різного призначення.

### **Новизна наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації**

Автором отримані такі нові наукові результати:

Уперше розроблено:

- метод оцінювання надійності та функційної безпечності програмно-технічних комплексів зі структурно-версійною надмірністю, який на відміну від відомих враховує різні сценарії зміни параметрів потоків відмов і відновлень програмних, програмовних і апаратних засобів, що забезпечує підвищення точності розрахунку функції готовності та імовірності відмов за загальною причиною;

- моделі оцінювання готовності та функційної безпечності програмно-технічних комплексів на самодіагностовних платформах, які на відміну від відомих враховують помилки контролю та змінність параметрів системи, що забезпечує підвищення точності оцінки готовності і функційної безпечності, можливість обґрунтування вимог до засобів контролю й діагностування та формування рекомендацій щодо їх виконання;

- методи верифікації і валідації програмовних платформ і програмно-технічних комплексів на їх основі, які на відміну від відомих, базуються на комплексуванні процедур аналізу видів, наслідків і критичності відмов та ін'єктування фізичних і проєктних дефектів, що забезпечує перевірку виконання вимог стандартів і підвищення функційної безпечності за рахунок збільшення імовірності виявлення прихованих дефектів;

- метод оцінювання та забезпечення функційної безпечності при розробленні та ліцензуванні модулів і платформ для інформаційно-керуючих систем на програмовних логічних інтегральних схемах, який на відміну від відомих враховує фізичні та проєктні дефекти, а також змінність параметрів відмов і відновлень, і гарантує виконання вимог міжнародних стандартів до рівня функційної безпечності SIL3.

Удосконалено:

- ймовірнісні моделі оцінювання надійності (безвідмовності) програмних засобів шляхом урахування вторинних дефектів, які вносяться за результатами тестування і супроводу, та аналізу різних сценаріїв їх внесення, що забезпечує підвищення точності оцінювання кількісних показників.

Набули подальшого розвитку:

- методологія оцінювання і забезпечення надійності та функційної безпечності програмно-технічних комплексів інформаційно-керуючих систем критичного застосування за рахунок опису їх інформаційно-технічного стану, удосконалення принципів зменшення та оцінювання ризиків його порушень внаслідок проектних і фізичних дефектів і дефектів взаємодії з урахуванням змінності параметрів потоків відмов і відновлень, що забезпечує підвищення точності оцінювання і повне виконання вимог до відповідних показників;

- метод забезпечення функційної безпечності програмно-технічних комплексів на програмовних платформах шляхом використання різних варіантів версійної надмірності (диверсності), що зменшує ризики відмов за загальною причиною.

### **Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, в опублікованих працях**

Усі основні результати дисертаційної роботи досить повно відображені у 68 друкованих працях, до складу яких входять: 5 монографій;

2 навчальних посібника; настанова Національного космічного агентства України; 25 статей у наукових фахових виданнях України та інших держав, з яких 3 індексовано у науково-метричній базі Scopus, отримано свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір.

Положення дисертації доповідались на 30 науково-технічних конференціях і семінарах державного та міжнародного рівнів, відповідно опубліковано 30 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій, з яких 12 індексовано у науково-метричній базі Scopus.

### **Практичне значення наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації**

Одержані нові наукові результати доведено до прикладних інженерних методик, які є частиною систем менеджменту якості підприємств що спеціалізується на розробленні, впровадженні, супроводженні в експлуатації ПТК ІКС ТККВ.

Результати досліджень впроваджено на наступних підприємствах:

1. Публічному акціонерному товаристві «Науково-виробниче підприємство «Радій» (м. Кропивницький) при оцінюванні надійності і функційної безпечності перспективної цифрової інформаційно-управляючої платформи RadICS в процесі її SIL-3 сертифікації на відповідність вимогам стандарту IEC 61508.

2. Товаристві з обмеженою відповідальністю «Науково-виробниче підприємство «Радікс» в ході розроблення процедур і інструкцій системи



менеджменту якості підприємства і виконанні низки проектів (I&C Test Platform for Electricite de France, Франція; I&C system of IEA-R1 Research Reactor Control Console and Nuclear Channels Modernization, Бразилія; Embalse Refurbishment, MCR and SCA Window Annunciators, Аргентина).

3. Державному НВП «Об'єднання «Комунар» СКБ «Полісвіт» при розробленні бортових інформаційно-керуючих систем для літаків АН-70, АН-148, що підвищило значення показників надійності і функційної безпеки з урахуванням різних типів дефектів і відмов програмно-апаратних засобів, ПЛІС і засобів контролю і самодіагностування.

4. Державному підприємстві «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки» в процесі розроблення проектів нормативних документів і методик оцінювання відповідності ІКС АЕС вимогам стандартів, що надало змогу покращити повноту оцінювання і якості відповідних документів.

5. Приватному підприємстві ЛітСофт в ході розроблення технології модельної розробки і тестування апаратного забезпечення (програмовних плат, чіпів, систем електроніки) з використанням комбінації методів машинного навчання та алгебраїчного підходу, що дозволяє звільнитись від суб'єктивності синтезу тестових наборів, підвищити ефективність тестування і відповідно рівень надійності і функційної безпеки.

6. Національному аерокосмічному університеті ім. М.Є. Жуковського «ХАІ» при виконанні 5 науково-дослідних робіт в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт МОН України: «Розробка науково-методичних основ й інформаційних технологій оцінки і забезпечення відмовостійкості та безпеки комп'ютеризованих систем аерокосмічних комплексів, інших комплексів критичного застосування; «Теоретичні основи, методи та інструментальні засоби аналізу, розробки та верифікації гарантоздатних інформаційно-управляючих систем для аерокосмічних об'єктів і комплексів критичного застосування»; «Теоретичні основи, методи та технології забезпечення гарантоздатності еволюціонуючих комп'ютеризованих інфраструктур для аерокосмічних і критичних об'єктів»; «Теоретичні основи, методи та інформаційні технології розробки програмно-технічних комплексів критичного застосування в умовах ресурсних обмежень»; Наукові основи, методи і засоби зеленого комп'ютингу і комунікацій, при виконанні міжнародних проектів за програмою Європейського Союзу: «MASTAC» (Msc and PhD Studies in Aerospace Critical Computing, 2006-2009 pp.); «SAFEGUARD» (National Safeware Engineering Network of Centres of Innovative Academia-Industry Handshaking, 2010-2013 pp.); SEREIN» (Modernization of Postgraduate Studies on Security and Resilience for Human and Industry Related Domains, 2013-2016 pp.), а також в

навчальному процесі для розроблення навчального контенту навчальних дисциплін: «Технології забезпечення якості ПТК»; «Технології проектування програмних систем»; «Теорія ризиків та технології управління безпекою ІКС»; «Технології розроблення та забезпечення функційної безпеки ІУС».

### **Зауваження щодо змісту дисертації**

До основних недоліків та зауважень щодо змісту дисертаційної роботи можна віднести такі.

1. В шостому розділі роботи автор наводить ASIC життєвий цикл згідно стандарту IEC 61508. Далі цей життєвий цикл адаптується під розробку та тестування ЦКП RadICS (рис. 6.12). Робота значно б виграла, якщо в розділі була б наведена більш детальна інформація щодо змісту етапів тестування, зокрема тестування електронних проєктів модулів платформи.

2. Автором запропоновано принцип процесно-продуктивної диверсності при створенні систем, який є частиною запропонованої методології. Цей принцип відрізняється тим, що для забезпечення значень показників надійності та ФБ, підвищення повноти та достовірності верифікації і валідації програмного забезпечення та ПТК ІКС в цілому застосовуються диверсні, незалежні процеси і засоби проектування та тестування. Робота покращилася б за умови наведення прикладів застосування незалежних процесів і засобів проектування.

3. В роботі одержано модифіковані функції ризику частини із існуючої множини ймовірнісних моделей надійності програмних засобів. Автор не наводить інформацію за яких умов інші моделі було виключено з розгляду.

4. В роботі наведено варіанти комплексування моделей надійності програмних засобів різних класифікаційних ознак. Виникає додаткове питання, чи є можливість розширити множину варіантів комплексування моделей цього класу?

5. При викладенні особистого внеску здобувача варто було б більш чітко прив'язувати опубліковані праці до пунктів наукової новизни.

6. В дисертаційній роботі було б доцільним більш детально розкрити взаємозв'язки структурних елементів запропонованої методології оцінювання і забезпечення надійності та функційної безпечності ПТК ІКС критичного застосування.

7. В ході ознайомлення із змістом дисертації виникає питання, чи проводяться в ході функціонального (поведінкового) тестування тести на різні вхідні діапазони даних, в тому числі такі що виходять за діапазон дозволених значень? Чи виконується перевірка накопичених помилок, що притаманне критичним проєктам на ПЛІС?

### Загальний висновок

Подана робота повністю відповідає Паспорту спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти та вимогам щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за п.п. 9, 11-14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567 (зі змінами)

Враховуючи високий рівень досліджень, актуальність, новизну, практичну цінність отриманих результатів та відповідність роботи спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти, кафедра кафедри комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» рекомендує дисертаційну роботу Одаруценка Олега Миколайовича «Методи і засоби забезпечення надійності та функційної безпечності програмно-технічних комплексів з урахуванням фізичних і проектних дефектів компонентів» до захисту на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

Офіційний опонент  
професор кафедри «Комп'ютерні інтелектуальні системи та мережі» Одеського національного політехнічного університету  
доктор технічних наук, професор

О. В. Дрозд

Особистий підпис *Дрозд О В*  
засвідчує  
Ст. інсп. *Дрозд О В*



*ім Саврухине*