

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Харківського аерокосмічного університету
«Харківський авіаційний інститут»
доктору технічних наук, професору
Фесенку Герману Вікторовичу

ВІДГУК
ОФІЦІЙНОГО РЕЦЕНЗЕНТА

кандидата технічних наук,
доцента кафедри інженерії програмного забезпечення
Національного аерокосмічного університету
«Харківський авіаційний інститут»
МАНЖОСА Юрія Семеновича
на дисертаційну роботу Панаріна Артема Сергійовича
«Методи і засоби забезпечення функційної безпечності інформаційно-керуючих
систем АЕС на програмовних платформах з використанням комбінованої
диверсності», представлену на здобуття ступеня доктора філософії
у галузі знань 12 «Інформаційні технології»
за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»

Актуальність теми дослідження. Забезпечення функційної безпечності інформаційно-керуючих систем (ІКС), важливих для безпеки атомних електростанцій, залишається одним з пріоритетних завдань атомної галузі, оскільки саме коректна робота систем аварійного захисту реактора визначає межу між проектною аварією та її некерованим розвитком. Перехід ІКС АЕС на програмовні платформи (FPGA, SoC) розширює функціональні можливості систем безпеки, проте одночасно актуалізує проблему відмов за загальною причиною (ВЗЗП) — випадків, коли єдина конструктивна, технологічна або програмна вада одночасно вражає кілька формально незалежних каналів багатoversійної системи.

Дисертант обрав як предмет дослідження принцип диверсності, ефективність застосування якого прямо залежить від наявності інструментів обґрунтованого вибору її конкретних видів, а не лише від декларативного дотримання рекомендацій нормативних документів. Робота претендує на подолання розриву між описовими класифікаціями диверсності (NUREG-6303, NUREG-7007) і практикою проектування, пропонуючи формалізовані моделі вибору диверсних рішень та метод підтвердження їх коректності засобами модельно-базованої верифікації. Тема дисертації є актуальною для вітчизняної атомної енергетики, зважаючи на практику модернізації ІКС АЕС на платформах вітчизняного виробництва Radiy та RadICS.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій. Наукові положення дисертації спираються на коректно застосований математичний апарат теорії множин і графів для побудови розширеної класифікації диверсності та її формалізованих моделей, а також теорії надійності — для оцінки ймовірності безвідмовної та безпечної роботи двоверсійної системи аварійного захисту. Побудова графової моделі диверсності, у якій вершини відповідають видам диверсності, а ребра — метрикам ефективності й відносної вартості, є логічним і послідовним переходом від класифікаційної схеми до інструменту підтримки прийняття проєктних рішень.

Метод вибору видів диверсності реалізовано у вигляді модифікації алгоритму Дейкстри для пошуку раціональних шляхів і комбінацій шляхів у графовій моделі, що дозволяє алгоритмічно опрацьовувати розширену класифікацію з понад 60 підвидами диверсності та формувати обґрунтовані рекомендації навіть при подальшому розширенні класифікатора новими видами диверсності.

Достовірність результатів третього розділу підтверджена детальним моделюванням кортежу тактування трьох каналів до і після застосування раціональних фазових зсувів, яке демонструє зниження пікової кількості одночасних перемикань з 25 до 22.

Експериментальна перевірка методу модельно-базованої верифікації у четвертому розділі виконана на прикладі порівняння еталонної реалізації soft-процесора Nios (розробленої в середовищі Nios IDE/Quartus II) з диверсною моделлю, побудованою засобами ForSyDe з подальшим синтезом у VHDL. Розрахований інтегральний коефіцієнт диверсності $K_d = 0,9$ та збіг часових діаграм у ModelSim на трьох рівнях опису (алгоритмічний, функціональний та апаратний) є переконливим підтвердженням коректності методу.

Наукова новизна одержаних результатів. На думку опонента, найбільш вагомими новими науковими результатами дисертації є такі: вперше запропоновано розширену чотирирівневу класифікацію видів і підвидів диверсності для програмовних платформних рішень ІКС АЕС, доведено до формалізованих графової та матричної моделей; вперше запропоновано метод модельно-базованої верифікації систем програмної логіки, що поєднує формальне моделювання поведінки з апаратною реалізацією компонентів верифікації у складі FPGA-проєкту; удосконалено метод вибору видів диверсності на основі поєднання експертного оцінювання метрик з алгоритмічним пошуком раціональних комбінацій у графовій моделі; удосконалено методи реалізації програмно-апаратної диверсності — диверсну синхронізацію каналів та структурно-просторову диверсність матриць логічних елементів і таймінгів. Наведене формулювання новизни в цілому узгоджується з

викладом автора у вступі та висновках дисертації; відмінності мають переважно термінологічний характер.

Практичне значення одержаних результатів. Практична цінність дисертації полягає в доведенні теоретичних напрацювань до методичних рекомендацій з вибору стратегій диверсності, програмних засобів автоматизованого аналізу графової моделі диверсності та апаратних прототипів двOVERсійних модулів. Розроблені методичні рекомендації дозволяють проєктувальнику послідовно переходити від вимог безпечності конкретної системи до обґрунтованого набору видів диверсності, не покладаючись при цьому виключно на власний досвід чи типові рішення, запозичені з аналогічних проєктів. Програмні засоби автоматизованого аналізу графової моделі диверсності суттєво скорочують час підготовки проєктних рішень порівняно з ручним перебором варіантів комбінування видів диверсності, а розроблені апаратні прототипи двOVERсійних модулів із реалізованими методами диверсної синхронізації та контролю цілісності демонструють технічну реалізованість запропонованого підходу не лише на рівні моделей, а й на рівні працездатних апаратних макетів. Практичне освоєння цих результатів засвідчено трьома актами впровадження, кожен з яких відображає самостійний напрям використання. Така структура впровадження — освітня, науково-виробнича та нормативно-методична — свідчить про завершеність практичного циклу дослідження: від методики й інструментарію до їх реального використання суб'єктами галузі.

Повнота викладення результатів у наукових публікаціях автора. Основні наукові положення дисертації опубліковано у 16 наукових працях: 8 статтях у наукових фахових виданнях України (категорія «Б»), 1 статті у виданні Springer з індексацією у Scopus (квартиль Q4), 3 колективних монографіях (одна з яких індексується у Scopus) та 4 публікаціях у працях міжнародних конференцій, що індексуються у Scopus. Названі публікації та участь автора в провідних тематичних форумах — «Dependable Systems, Services and Technologies», «DepCoS-RELCOMEX», «Information and Digital Technologies», «International Conference on Nuclear Engineering», «IDAACS» — переконливо свідчать про визнання отриманих результатів фаховою спільнотою ще до захисту дисертації.

Дискусійні положення та зауваження до роботи. Результати моделювання диверсної синхронізації наведено лише для одного «монокластерного» випадку з трьома каналами; мультікластерні конфігурації згадуються текстом, але без кількісних результатів. Варто показати хоча б один приклад мультікластерного розведення каналів. Запропоновано використовувати для справжньої незалежності версій FPGA різних виробників

(Xilinx, Intel/Altera) з різними середовищами розробки, але в експериментальній частині обидві версії зрештою синтезуються й компілюються одним інструментальним ланцюжком (Quartus) Автор пропонує множину метрик диверсності, які враховують, схоже, тільки парні відмінності. Однак, при побудові 3х версійних систем цього може бути недостатньо для отримання точної оцінки і вибору оптимального/раціонального варіанту

Висновок. Дисертаційна робота Панаріна Артема Сергійовича «Методи і засоби забезпечення функційної безпечності інформаційно-керуючих систем АЕС на програмовних платформах з використанням комбінованої диверсності» є завершеним, самостійно виконаним науковим дослідженням, яке відповідає паспорту спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» та вирішує актуальне науково-технічне завдання підвищення функційної безпечності багатoversійних інформаційно-керуючих систем атомних електростанцій на програмовних платформах засобами комбінованої диверсності.

За актуальністю, рівнем наукової новизни, ступенем обґрунтованості наукових положень, практичним значенням і повнотою висвітлення результатів у наукових публікаціях дисертація відповідає вимогам пп. 6–9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44, а її автор, Панарін Артем Сергійович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія».

Рецензент:

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інженерії програмного забезпечення
Національного аерокосмічного університету
«Харківський авіаційний інститут»

31 серпня 2026 р.

МАНЖОС Юрій Семенович