

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації *Панаріна Артема Сергійовича* на тему «Методи і засоби забезпечення функційної безпечності інформаційно-керуючих систем АЕС на програмовних платформах з використанням комбінованої диверсності», представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія

На засіданні кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій за участі:

Харченка Вячеслава Сергійовича, д.т.н., професора, завідувача кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Бабешка Євгена Васильовича, к.т.н., доцента, доцента кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Дужого В'ячеслава Ігоровича, к.т.н., доцента, доцента кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Дужої Вікторії Вікторівни, ст. викладача кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Єгорової Євгенії Валентинівни, ст. викладача кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Желтухіна Олександра Васильовича, ст. викладача кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Ілляшенка Олега Олександровича, к.т.н., доцента, доцента кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Карпенка Артема Сергійовича, ст. викладача, PhD, кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Колісник Марини Олександрівни, к.т.н., доцента, доцента кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Куланова Віталія Олександровича, к.т.н., доцента, доцента кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Морозової Ольги Ігорівни, д.т.н., професора, професора кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Орехова Олександра Олександровича, к.т.н., доцента, професора кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Певнєва Вячеслава Яковлевича, д.т.н., доцента, професора кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Піскачова Олександра Івановича, к.т.н., доцента, доцента кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Тецького Артема Григоровича, к.т.н., доцента, доцента кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Узуна Дмитра Дмитровича, к.т.н., доцента, професора кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;

Фесенка Германа Вікторовича, д.т.н., професора, професора кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Фурманова Клайда Константиновича, к.т.н., професора, професора кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Холодної Зої Борисівни, ст. викладача кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Шостака Анатолія Васильовича, к.т.н., доцента, доцента кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Брежнєва Євгена Віталійовича, д.т.н., професора, професора кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Ключнікова Ігоря Миколайовича, д.т.н., доцента, доцента кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Землянка Георгія Андрійовича, PhD, доцента кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Вдовіченка Олександра Олександровича, PhD, доцента кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Корнієнка Дмитра Михайловича, Пономаренка Павла Геннадійовича, Стряпуніна Антона Олександровича, Остапенка Леоніда Юрійовича, Міщука Вадима Вікторовича, Черепакіна Дмитра Анатолійовича, Поліщука Кирила Володимировича, Діденка Івана Ігоровича, Середюка Артема Олександровича – аспірантів кафедри,
а також запрошених: з кафедри інженерії програмного забезпечення ХАІ – кандидата технічних наук, доцента Манжоса Юрія Семеновича; з кафедри математичної інформатики факультету комп'ютерних наук Київського національного університету імені Тараса Шевченка – доктора технічних наук, професора Заславського Володимира Анатолійовича,

відбулася публічна презентація дисертаційної роботи *Панаріна Артема Сергійовича* на тему **«Методи і засоби забезпечення функційної безпечності інформаційно-керуючих систем АЕС на програмовних платформах з використанням комбінованої диверсності»**.

На підставі обговорення змісту презентації дисертаційної роботи ухвалено такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації (результати голосування – одноголосно).

1. Актуальність теми дослідження

Розвиток атомної енергетики, зокрема впровадження нових технологій у системи управління та захисту, зумовлює необхідність підвищення вимог до функційної безпечності та надійності інформаційно-керуючих систем (ІКС) атомних електростанцій (АЕС). В умовах зростання складності архітектур ІКС, а також впровадження програмовних логічних інтегральних схем (FPGA) та систем-на-кристалі (SoC), особливої актуальності набуває використання багатоверсійних підходів, спрямованих на зменшення впливу відмов за загальною причиною (Common Cause Failure, CCF). Одним із перспективних напрямів є впровадження принципу диверсифікації на різних рівнях ІКС – від вибору типу й архітектури інтегральної схеми до методів

розроблення програмного забезпечення. Однак існуючі підходи недостатньо враховують специфіку програмовних платформ, не забезпечують кількісної оцінки диверсності та не мають формалізованих методів верифікації багатоверсійних рішень. Тому розроблення комплексних методів і засобів забезпечення функційної безпечності ІКС АЕС на програмовних платформах з використанням комбінованої диверсності є актуальним науково-прикладним завданням, що має важливе значення для підвищення безпеки атомної енергетики.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційну роботу виконано в Національному аерокосмічному університеті «Харківський авіаційний інститут» відповідно до державних програм та планів НДР, зокрема, програм і замовлень з розроблення та постачання платформних рішень для інформаційно-керуючих систем енергоблоків Запорізької, Рівненської, Хмельницької та Південноукраїнської атомних електростанцій України, зокрема в системах аварійного захисту та суміжних системах, реалізованих на програмовних платформах ПАТ «НВП «Радій».

3. Наукова новизна отриманих результатів

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

1. **Вперше запропоновано** метод модельно-базованого тестування систем програмовної логіки, який на відміну від відомих, ґрунтується на порівнянні версій, отриманих з використанням мови програмування Haskell та її конвертованої моделі у VHDL-код, а також еталонного проєкту, розробленого за технологією SoC, що надає змогу зменшити ризики залишкових прихованих дефектів.

2. **Удосконалено** метод вибору видів диверсності з урахуванням багаторівневої ієрархії видів версійної надмірності, включно з внутрішньою диверсністю каналів, а також відповідні метрики диверсності і складності, що дозволяє підвищити функційну безпечність і обґрунтувати структуру та процеси створення двохверсійних систем аварійного захисту реакторів АЕС.

3. **Удосконалено** методи програмно-апаратної диверсності, які базуються на процедурах функційно-просторової диверсифікації засобів шинної організації, контролю цілісності даних, налаштувань проєкту та синхронізації з керованими зсувами, що забезпечує підвищення енергоефективності та/або безпечності завдяки зменшенню ризиків завад та відмов спільних логічних елементів версій.

4. **Отримало подальшого розвитку графова модель** опису різних програмно-апаратних версій для інформаційно-керуючих систем на програмовних платформах, з використанням деталізованого класифікатора видів диверсності, а саме: процесорних ядер, інтерфейсів, засобів синхронізації, технологічних процесів і обладнання, що дозволяє оцінювати метрики диверсності і складності залежно від множини видів і підвидів версійної надмірності.

4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи

Теоретичне значення результатів полягає в розробленні графової та матричної моделей диверсності, методу вибору видів диверсності на основі експертного оцінювання та оптимізаційних алгоритмів, а також методу модельно-базованої верифікації систем програмовної логіки, що інтегрує формальне моделювання (ForSyDe, VHDL) з аналізом сценаріїв відмов. Це створює науково-методичну основу для кількісного оцінювання та забезпечення виконання вимог до функційної безпечності багатоверсійних систем на програмовних платформах.

Практичне значення отриманих результатів полягає в їх застосуванні під час проєктування та модернізації систем безпеки АЕС на базі платформ Radiy, RadICS та аналогічних рішень, де необхідно забезпечити високі вимоги до функційної безпечності та відмовостійкості. Розроблені моделі, методи та рекомендації можуть використовуватись для систематизації та вибору диверсних стратегій, побудови технологічних процесів верифікації, підготовки нормативних і методичних документів, а також у навчальному процесі при підготовці фахівців з комп'ютерної інженерії та ядерної безпеки.

5. Апробація/використання результатів дисертації

Основні результати роботи представлені на міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференціях, семінарах і круглих столах, зокрема: "Dependable Systems, Services and Technologies" (м. Кропивницький, 2010; м. Севастополь, 2012; м. Київ, 2018); "Conference on Dependability of Computer Systems DepCoS-RELCOMEX" (м. Брунов, Польща, 2017, 2023); "Information and Digital Technologies" (м. Жиліна, Словаччина, 2017); "International Conference on Nuclear Engineering" (м. Лондон, Англія, 2018); "IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems" (м. Бухарест, Румунія, 2017); наукових семінарах кафедри 503 ХАІ та НВП «Радій».

Розроблені методи програмно-апаратної диверсності та модельно-базованої верифікації впроваджено у практику проєктування інформаційно-керуючих систем АЕС на платформах Radiy та RadICS (акти впровадження додаються). Матеріали дисертації використовуються в навчальному процесі Національного аерокосмічного університету «ХАІ» при підготовці фахівців з комп'ютерної інженерії (акт впровадження від 10 березня 2026 р.).

6. Дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертація А. С. Панаріна є оригінальною роботою, виконана здобувачем самостійно й доброчесно. Усі наукові результати, наведені в дисертації, отримані автором особисто. Ідеї, постановка задач, розроблення моделей, алгоритмів і методів оцінки різнорідності, а також програмно-апаратних рішень реалізовані автором самостійно. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело. Текст рукопису дисертаційної роботи не містить ознак академічного шахрайства.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

За результатами досліджень опубліковано 16 наукових публікацій, у тому числі:

- 8 статей у наукових фахових виданнях України (категорії «А» та «Б»);
- 1 стаття у періодичному виданні Springer (Scopus, Q4);
- 3 колективні монографії (1 – з індексацією в Scopus);
- 4 публікації у просідінгах міжнародних конференцій, що індексуються в Scopus.

Основні публікації:

1. Скляр В. В., Харченко В. С., Панарин А. С., Сандер И. Применение концепции Model-Based Testing для верификации систем на базе IP-ядер. *Радіoeлектронні і комп'ютерні системи*. 2010. № 5. С. 237–241. (категорія «А», Scopus Q2). Здобувачем виконано аналіз методів тестування та реалізацію експериментальних моделей.

2. Panarin A., Sklyar V., Kharchenko V., Kovalenko A., Babeshko E. Modeling of industrial FPGA-based controllers with ForSyDe. *2017 International Conference on Information and Digital Technologies (IDT)*. IEEE, 2017. P. 164–168. (Scopus). Здобувачем особисто розроблено моделі контролерів у середовищі ForSyDe та проведено їх верифікацію.

3. Babeshko I., Duzhiy V., Panarin A., Illiashenko O., Siora A. et al. Diversity for NPP I&C Systems Safety and Cyber Security. *Cyber Security and Safety of Nuclear Power Plant Instrumentation and Control Systems*. IGI Global, 2020. P. 239–288. (монографія, Scopus). Здобувачем підготовлено розділи щодо класифікації видів диверсності та методів їх оцінювання.

4. Panarin A., Kharchenko V., Zemlianko H. Advanced classifier for expert assessment of diversity and cost of NPP information and control systems. *Measuring Equipment and Metrology*. 2025. Vol. 86, № 4. P. 52–64. (категорія «Б»). Здобувачем розроблено розширений класифікатор та проведено експертне оцінювання.

5. Бабешко Є., Панарін А. Методи та засоби диверсної синхронізації та реалізації електронних проєктів для систем безпеки АЕС на FPGA платформах. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2026. Т. 1. С. 32–38. (категорія «Б»). Здобувачем запропоновано метод диверсної синхронізації та проведено експериментальне моделювання.

Усі публікації відображають основні результати дисертації, особистий внесок здобувача є визначальним.

7. Висновок наукового керівника

Виконання індивідуального навчального плану, індивідуального плану наукової роботи, досягнення результатів навчання за відповідною освітньо-науковою програмою та написання дисертації Панаріним Артемом Сергійовичем вважаю успішним. Дисертаційна робота є результатом самостійного дослідження, завершеною науковою працею, яка містить наукову новизну. Вона виконана на високому науковому рівні та відповідає

всім установленим вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, й може бути рекомендована до захисту, а її автор Панарін Артем Сергійович – до присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія.

Отже, вважаємо, що дисертаційна робота Панаріна Артема Сергійовича на тему «Методи і засоби забезпечення функційної безпечності інформаційно-керуючих систем АЕС на програмовних платформах з використанням комбінованої диверсності», представлена на здобуття ступеня доктора філософії, відповідає вимогам Порядку присудження наукового ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44). Відтак, вона може бути представлена до захисту в разовій спеціалізованій раді для присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія.

Головуючий на засіданні

к.т.н., професор, заступник завідувача кафедри
кібербезпеки та інтелектуальних
інформаційних технологій
Національного аерокосмічного університету
«Харківський авіаційний інститут»

Клайд ФУРМАНОВ