

## **ВІДГУК**

офіційного опонента **Яцківа Василя Васильовича**  
на дисертаційну роботу  
**Абакумова Артема Ігоровича**  
на тему «**Методи та засоби комбінованого аналізу вторгнень і  
тестування на проникнення для забезпечення кібербезпеки безпілотних  
авіаційних комплексів**»,  
подану на здобуття ступеня доктора філософії  
у галузі знань 12 Інформаційні технології  
за спеціальністю **125 Кібербезпека**

### **Актуальність теми дисертації.**

Актуальність дисертаційної роботи зумовлена зростанням ролі безпілотних авіаційних комплексів у виконанні критично важливих цивільних, промислових, гуманітарних, правоохоронних і військових завдань, а також підвищенням вимог до їх кіберстійкості в умовах інтенсивного розвитку сучасних кіберзагроз. Безпілотні авіаційні комплекси функціонують як складні кіберфізичні системи, що поєднують бортові обчислювальні засоби, навігаційні модулі, канали радіозв'язку, системи телеметрії, керування, оброблення даних і взаємодії з наземною інфраструктурою. Така багатокomпонентна архітектура формує розширену поверхню атаки та створює передумови для реалізації цілеспрямованих впливів на канали керування, навігаційні сигнали, програмне забезпечення, мережеві інтерфейси й контури прийняття рішень.

У зв'язку з цим виникає науково-практична суперечність між необхідністю забезпечення обґрунтованого рівня кібербезпеки безпілотних авіаційних комплексів та недостатньою розробленістю методів і засобів, які б поєднували аналіз вторгнень, тестування на проникнення, моделювання атак і кількісне оцінювання реального рівня захищеності таких систем. Наявні підходи не завжди дозволяють комплексно виявляти взаємозв'язки між окремими вразливостями, оцінювати наслідки їх комбінованої експлуатації та формувати обґрунтовані контрзаходи з урахуванням специфіки функціонування безпілотних авіаційних платформ.

Виходячи з цього, розроблення методів та засобів комбінованого аналізу вторгнень і тестування на проникнення для забезпечення кібербезпеки безпілотних авіаційних комплексів є своєчасним і актуальним науково-прикладним завданням. Його розв'язання спрямоване на підвищення достовірності оцінювання кіберзахищеності безпілотних платформ,

виявлення критичних вразливостей у їх апаратно-програмній та комунікаційній інфраструктурі, а також на формування ефективних заходів протидії сучасним кіберзагрозам.

**Зв'язок з науковими програмами, темами.** Дисертаційна робота виконана у Національному аерокосмічному університеті «Харківський авіаційний інститут» відповідно до державних програм та планів НДР, зокрема: НДР «Наукові засади і методи забезпечення гарантоздатності флотів БПЛА інтелектуальних систем моніторингу потенційно небезпечних і військових об'єктів» (No Д/Р 0121U112172, 2021–2023 рр.); НДР «Методи, програмно-апаратні засоби та технології забезпечення гарантоздатності інтелектуальних систем індустриального інтернету речей» (No Д/Р 0122U001065, 2022–2023 рр.); НДР «Методи, засоби та технології моделювання, розроблення, розгортання та забезпечення гарантоздатності мобільних інтелектуальних систем для об'єктів критичної інфраструктури» (No Д/Р 0124U003250, 2024 р. – дотепер), які відповідають науковому напрямку дисертаційної роботи.

**Наукова новизна.** Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у розробленні методів і засобів комбінованого аналізу вторгнень і тестування на проникнення для забезпечення кібербезпеки безпілотних авіаційних комплексів. Основні наукові результати, отримані автором, включають:

- вперше запропоновано комбінований метод аналізу для забезпечення кібербезпеки безпілотних авіаційних комплексів, який, на відміну від відомих, базується на визначенні сумісності, послідовності проведення та виборі варіантів аналітичних та експериментальних процедур аналізу вразливостей та вторгнень, що надає змогу підвищити повноту і достовірність оцінювання кібербезпеки;

- удосконалено метод оцінювання кібербезпеки та готовності безпілотних авіаційних комплексів в умовах невизначеності кіберзагроз, вразливостей та режимів вторгнень, який базується на застосуванні марковських моделей, що забезпечує можливість отримання кількісних показників готовності залежно від тривалості та періодичності тестування на проникнення;

- удосконалено ризик-орієнтований метод аналізу режимів вторгнень та їх наслідків шляхом визначення кінцевих ризиків за результатами апостеріорного аналізу з використанням процедур тестування на проникнення, що дозволяє підвищити обґрунтованість вибору контрзаходів.

### **Теоретичне та практичне значення результатів дисертації.**

Теоретичне значення одержаних результатів полягає у розвитку методів забезпечення кібербезпеки безпілотних авіаційних комплексів на основі поєднання методів аналізу вторгнень, оцінювання вразливостей, тестування на проникнення та ризик-орієнтованого аналізу наслідків кіберінцидентів. Відповідно, теоретичні результати дисертаційної роботи створюють наукову основу для побудови комплексних моделей, методів і процедур оцінювання кібербезпеки безпілотних авіаційних комплексів, які враховують невизначеність кіберзагроз, комбінований характер вторгнень, результати експериментального тестування та ризику порушення функціонування таких систем.

Практичне значення отриманих результатів визначається доведенням теоретичних положень дисертаційної роботи до конкретних методів, моделей, алгоритмів і програмних засобів аналізу вторгнень та тестування на проникнення для забезпечення кібербезпеки безпілотних авіаційних комплексів. Результати дисертаційної роботи впроваджено: у навчальному процесі Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут»; при виконанні науково-дослідних проєктів, що виконувалися у Національному аерокосмічному університеті «Харківський авіаційний інститут»; при розробленні, тестуванні та супроводженні програмного продукту WebSpellChecker SDK компанії ТОВ «ВЕБСПЕЛЧЕКЕР».

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Аналіз дисертаційної роботи підтверджує обґрунтованість отриманих результатів. Автором застосовано комплексний підхід, що поєднує математичний апарат та метод ризик-орієнтованого аналізу з процедурами тестування на проникнення. Сформульоване наукове завдання вирішено повністю, що засвідчує належне володіння здобувачем методологією наукових досліджень.

Достовірність та практична значущість результатів ґрунтуються на ймовірнісному моделюванні, апробації на симуляційній платформі та практичному впровадженні у діяльність НАУ «ХАІ», ТОВ «ВЕБСПЕЛЧЕКЕР» і науково-дослідні роботи.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

### **Загальна характеристика дисертаційної роботи.**

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 187 сторінок.

**У вступі** обґрунтовано вибір теми дослідження, визначено його об'єкт, предмет, мету, завдання, наукову новизну та практичну значущість.

**У першому розділі** проаналізовано методи забезпечення кібербезпеки безпілотних авіаційних комплексів. На основі розробленої таксономії загроз аргументовано доцільність створення комбінованого методу аналізу вторгнень, формалізовано показники оцінювання та загальну методiku дослідження.

**У другому розділі** запропоновано рамкову модель порівняння методів аналізу кібербезпеки. Побудовано функціональну IDEF0-модель комбінованого методу із семи послідовних етапів, яка повністю задовольняє визначені критерії.

**У третьому розділі** розроблено марковські моделі операційної діяльності безпілотних авіаційних комплексів з урахуванням параметрів тестування на проникнення, а також формалізовано вдосконалення методу Intrusion Modes and Effects Criticality Analysis (IMECA) з експериментальною верифікацією аналітично оцінених режимів вторгнень.

**У четвертому розділі** представлено апробацію комбінованого методу на симуляційній платформі. За результатами апіорного та апостеріорного ІМЕСА побудовано дерево вторгнень і сформовано перелік рекомендованих контрзаходів. Практичну цінність підтверджено впровадженням результатів у навчальний процес НАУ «ХАІ», НДР та проектно-розробницьку діяльність ТОВ «ВЕБСПЕЛЧЕКЕР».

**У висновках** узагальнено наукові здобутки дисертації, відображено їх практичну значущість та окреслено перспективні напрями для майбутньої дослідницької роботи.

### **Відомості про дотримання академічної доброчесності.**

Аналіз звіту подібності підтверджує, що дисертація є результатом самостійних досліджень і не містить елементів фальсифікації, фабрикації, компіляції чи академічного плагіату. Усі використані ідеї, результати та тексти інших авторів супроводжуються належними посиланнями на джерела.

### **Відповідність дисертації встановленим вимогам.**

Зміст дисертаційної роботи Абакумова А. І. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 125 «Кібербезпека» та профілю відповідної освітньої програми.

Дисертація є завершеним науковим дослідженням, що засвідчує особистий внесок здобувача у напрям забезпечення кібербезпеки безпілотних авіаційних комплексів.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

### **Мова та стиль викладення результатів.**

Дисертаційна робота написана українською мовою. Виклад матеріалу добре структурований: простежується чіткий перехід від огляду предметної області до розробки та апробації методів. Текст характеризується точністю формулювань та коректним застосуванням термінологічної бази кібербезпеки. При цьому автору вдалося зберегти ясність подання навіть найбільш складних теоретичних положень дисертації.

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.**

Основні результати дисертації висвітлено у 9 наукових публікаціях: 4 статтях у фахових виданнях України, з яких 2 опубліковано у виданнях баз Scopus/Web of Science і віднесено до квартилів Q1–Q3; 1 розділі колективної монографії; 4 публікаціях у матеріалах міжнародних та національної конференцій. Крім того, результати дослідження успішно апробовано на 7 конференціях та семінарах.

Усі публікації повністю відповідають темі дисертації та виконані з дотриманням норм академічної доброчесності. У працях, виконаних у співавторстві, особистий внесок здобувача пов'язаний із розробленням моделей та методів, проведенні експериментальних досліджень, а також з аналізом і узагальненням отриманих результатів.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. Матриця MITRE ATT&CK згадується у функціональній моделі (підрозділ 2.2.3) як один з елементів керування, що використовується для моделювання кіберзагроз. Однак у фактичному застосуванні методу в розділі 4 структуроване зіставлення виявлених режимів вторгнень з тактиками та техніками MITRE ATT&CK не проводиться.

2. У функціональній моделі рівня А3 передбачено застосування динамічного фаззінгу, однак у розділі 4 експериментальна апробація фаззінгу не здійснюється.

3. У підрозділі 3.2.1 формалізовано 10-бальну ординальну шкалу оцінювання показників ймовірності (P) та тяжкості (S) з лінійною нормалізацією до інтервалу (0; 1] та трирівневою лінгвістичною класифікацією. Зокрема, у формулі (3.28) встановлюються граничні значення: «Низька» – (0; 0.3], «Середня» – (0.3; 0.7], «Висока» – (0.7; 1.0]. Натомість у розділі 4 використовуються виключно лінгвістичні позначення L/M/H без явного зазначення числових значень ймовірності та тяжкості.

Вважаю, що висловлені зауваження не впливають на загальну позитивну характеристику дисертаційної роботи та не применшують наукової та практичної цінності отриманих у дисертації результатів..

### **Загальний висновок про дисертаційну роботу.**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Абакумова Артема Ігоровича на тему **«Методи та засоби комбінованого аналізу вторгнень і тестування на проникнення для забезпечення кібербезпеки безпілотних авіаційних комплексів»** виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі інформаційних технологій. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. 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 р. № 44, а її автор **Абакумов Артем Ігорович** заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 125 Кібербезпека.

### **Офіційний опонент:**

завідувач кафедри кібербезпеки  
Західноукраїнського національного університету,  
доктор технічних наук, професор

Василь ЯЦКІВ