

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0826U000518

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 10-03-2026

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



## II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Терещенко Олександр Ігорович

2. Oleksandr Tereshchenko

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-4510-5255

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 122

Назва наукової спеціальності: Комп'ютерні науки

Галузь / галузі знань: інформаційні технології

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Комп'ютерні науки

Дата захисту: 06-04-2026

Спеціальність за освітою: 122 Комп'ютерні науки

Місце роботи здобувача:

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження:

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

### **III. Відомості про організацію, де відбувся захист**

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** PhD 12021

**Повне найменування юридичної особи:** Національний університет "Одеська політехніка"

**Код за ЄДРПОУ:** 43861328

**Місцезнаходження:** пр. Шевченка, Одеса, 65044, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### **IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний університет "Одеська політехніка"

**Код за ЄДРПОУ:** 43861328

**Місцезнаходження:** пр. Шевченка, Одеса, 65044, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 20.54.06, 20.56.01

**Тема дисертації:**

1. Методи і моделі машинного навчання для виявлення та класифікації вразливостей смарт-контрактів
2. Machine Learning Methods and Models for Detecting and Classifying Smart-Contract Vulnerabilities

**Реферат:**

1. У роботі обґрунтовано актуальність забезпечення безпеки смарт-контрактів у блокчейн-екосистемах, зокрема в децентралізованих фінансах, які оперують значними фінансовими активами та залишаються вразливими до помилок коду. Метою дослідження є підвищення ефективності за відповідними метриками виявлення, класифікації та локалізації вразливостей у смарт-контрактах за рахунок розробки моделей та методів машинного навчання, які становлять цілісний технологічний стек інтелектуального аналізу вихідного коду смарт-контрактів. Об'єктом дослідження є процеси виявлення, класифікації та локалізації вразливостей у смарт-контрактах, предметом – методи та моделі машинного навчання для багатоміткового виявлення, класифікації та локалізації вразливостей у смарт-контрактах. Сформульовано завдання: створення збалансованого датасету з анотацією вразливостей; розроблення моделей багатоміткової класифікації; підвищення надійності через калібрування й аналіз стійкості до змін коду; створення слабосупервізованих методів локалізації без токенної розмітки; апробація запропонованих рішень у програмному засобі. У першому розділі здійснено систематичний аналіз формальних методів, статичного та

динамічного аналізу, а також підходів машинного навчання. Проаналізовано трансформерні моделі для коду (CodeBERT, GraphCodeBERT), графові нейронні мережі та гібридні архітектури. Визначено проблеми нестачі фрагментної розмітки, низької стійкості до рефакторингу та надмірної впевненості моделей. У другому розділі запропоновано комбінований метод формування збалансованого датасету, що поєднує детерміноване інжектування типових вразливостей у безпечний код і контекстно узгоджену генерацію прикладів великою мовною моделлю з подальшою верифікацією. Сформовано корпус із п'яти категорій по 1000 прикладів кожна. Метод забезпечує відтворюваність, реалістичність синтаксичних варіацій і баланс класів. У третьому розділі розроблено комплексний підхід до багатоміткової детекції та слабосупервізованої локалізації. Запропоновано модель CodeBERT-GDLA (Graph-aware Dual-Level Attention). Удосконалено механізм уваги шляхом інтеграції графових компонентів та навчуваних коефіцієнтів структурного впливу. Запропоновано CAM-узгоджену увагу та причинно-орієнтовану регуляризацию для інтерпретованої локалізації без токенної розмітки. Експерименти показали, що CodeBERT-GDLA перевершує базові моделі за macro-F1, macro-AUC і Hamming loss. Для задач локалізації досягнуто високих значень mAP і Hit@K (для повторного входу mAP  $\approx$  82%, Hit@5  $\approx$  77%, Hit@7-10  $\approx$  100%) зі стабільними результатами. Проведено абляційний аналіз та дослідження стійкості до рефакторингу, перейменування, форматування та часткової обфускації. Для зниження надмірної впевненості інтегровано метод регуляризації з оптимізацією очікуваної калібрувальної похибки, що забезпечило зменшення ECE та підвищення надійності ймовірнісних оцінок. У четвертому розділі представлено програмний засіб аудиту смарт-контрактів на основі моделі CodeBERT-GDLA з REST-інтерфейсом та можливістю інтеграції в CI/CD-конвеєри. Наукова новизна полягає у тому, що: вперше запропоновано комбінований метод формування навчального датасету за рахунок поєднання автоматичного інжектування аномальних конструкцій у коректний код смарт-контрактів із генерацією додаткових прикладів великою мовною моделлю з подальшою верифікацією, що дозволило забезпечити збалансованість вибірки; вперше побудовано модель CodeBERT-GDLA на основі вдосконалення архітектур BiGRU-ATT і CodeBERT-BiGRU за допомогою запропонованих методів графового зсуву і дворівневої графово-орієнтованої уваги, що дозволило підвищити ефективність виявлення та класифікації вразливостей при інтелектуальному аналізі вихідного коду смарт-контрактів; удосконалено метод регуляризації для калібрування ймовірнісних оцінок багатоміткової класифікації вразливостей смарт-контрактів за рахунок застосування оптимізації очікуваної калібрувальної похибки, температурного масштабування та фокального приглушення надмірної впевненості безпосередньо в процесі навчання моделі CodeBERT-GDLA, що забезпечує зниження її надмірної впевненості та підвищує надійність результатів інтелектуального аналізу вихідного коду смарт-контрактів; отримав подальший розвиток метод слабосупервізованого виділення вразливих фрагментів коду за рахунок інтеграції CAM-узгодженої уваги з причинно-орієнтованою регуляризуючою, що забезпечує підвищення ефективності локалізації вразливостей при інтелектуальному аналізі вихідного коду смарт-контрактів. Практичне значення результатів полягає у створенні програмно-алгоритмічних засобів автоматизованого аудиту смарт-контрактів із багатомітковою детекцією, пояснюваною локалізацією та надійними ймовірнісними оцінками. Результати впроваджено у діяльність ТОВ НВО «Діскрет», НВП «КАРЕ» та в освітній процес НУ «Одеська політехніка».

2. The dissertation substantiates the relevance of ensuring smart contract security in blockchain ecosystems, particularly in decentralized finance (DeFi), which operates with significant financial assets and remains vulnerable to coding errors. The objective of the research is to improve the effectiveness of vulnerability detection, classification, and localization in smart contracts according to relevant evaluation metrics by developing machine learning models and methods that form an integrated technological stack for intelligent analysis of smart contract source code. The object of the research is the processes of detecting, classifying, and localizing vulnerabilities in smart contracts, while the subject is machine learning methods and models for multi-label detection, classification, and localization of vulnerabilities in smart contracts. The following tasks were formulated: creation of a balanced dataset with vulnerability annotations; development of multi-label classification models; improvement of reliability through probability calibration and robustness analysis under code modifications; development of weakly supervised localization methods without token-level annotation; and validation of the

proposed solutions through their implementation in a software tool. The first chapter presents a systematic analysis of formal methods, static and dynamic analysis, as well as machine learning approaches. Transformer-based models for code (CodeBERT, GraphCodeBERT), graph neural networks, and hybrid architectures are examined. Key challenges are identified, including the lack of fragment-level annotations, limited robustness to refactoring, and model overconfidence. The second chapter proposes a combined method for constructing a balanced training dataset, integrating deterministic injection of typical vulnerabilities into secure code and context-consistent example generation using a large language model with subsequent verification. A corpus of five categories with 1,000 samples each was created. The method ensures reproducibility, realistic syntactic diversity, and class balance. The third chapter introduces a comprehensive approach to multi-label detection and weakly supervised localization. The CodeBERT-GDLA (Graph-aware Dual-Level Attention) model is proposed. The attention mechanism is enhanced through integration of graph components and learnable structural influence coefficients. CAM-aligned attention and causality-oriented regularization are introduced to enable interpretable localization without token-level annotation. Experimental results demonstrate that CodeBERT-GDLA outperforms baseline models in terms of macro-F1, macro-AUC, and Hamming loss. For localization tasks, high mAP and Hit@K values were achieved (for reentrancy vulnerability: mAP  $\approx$  82%, Hit@5  $\approx$  77%, Hit@7-10  $\approx$  100%) with stable performance. Ablation studies and robustness evaluations under refactoring, renaming, formatting, and partial obfuscation were conducted. To mitigate overconfidence, a regularization method optimizing Expected Calibration Error (ECE) was integrated, reducing ECE and improving the reliability of probabilistic predictions. The fourth chapter presents a practical smart contract auditing tool based on the CodeBERT-GDLA model, featuring a REST interface and integration capability with CI/CD pipelines. The scientific novelty of the results lies in the following: for the first time, a combined dataset construction method was proposed by integrating automatic injection of anomalous constructs into correct smart contract code with large language model-based example generation and verification, ensuring dataset balance; for the first time, the CodeBERT-GDLA model was developed by enhancing BiGRU-ATT and CodeBERT-BiGRU architectures through graph bias mechanisms and dual-level graph-aware attention, improving vulnerability detection and classification performance; the regularization method for multi-label probability calibration was improved by integrating Expected Calibration Error optimization, temperature scaling, and focal suppression of overconfidence during training, reducing model overconfidence and increasing reliability; the method of weakly supervised vulnerable code fragment localization was further developed by integrating CAM-aligned attention with causality-oriented regularization, improving localization effectiveness. The practical significance of the results lies in the development of software and algorithmic tools for automated smart contract auditing with multi-label detection, explainable localization, and reliable probabilistic estimates. The results have been implemented in the activities of LLC RPA "Diskret" and RPC "KARE", and in the educational process of Odesa Polytechnic National University.

**Державний реєстраційний номер ДіР:**

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:** Інформаційні та комунікаційні технології

**Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:** Розвиток сучасних інформаційних, комунікаційних технологій, робототехніки

**Підсумки дослідження:** Нове вирішення актуального наукового завдання

**Публікації:**

- Komleva, N. O., & Tereshchenko, O. I. (2023). Requirements for the development of smart contracts and an overview of smart contract vulnerabilities at the Solidity code level on the Ethereum platform. *Herald of Advanced Information Technology*, 6(1), 54–68. DOI: <https://doi.org/10.15276/hait.06.2023.4>
- Tereshchenko, O., & Komleva, N. (2023). Vulnerability detection of smart contracts based on bidirectional GRU and attention mechanism. In *Communications in Computer and Information Science* (Vol. 1980). Springer, Cham. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-48325-7\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-031-48325-7_21)

- Tereshchenko, O. I., & Komleva, N. O. (2024). Identification and localization of vulnerabilities in smart contracts using attention vectors analysis in a BERT-based model. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, (3), 173–184. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2024-3-15>
- Терещенко, О. І. (2025). Комбінований метод локалізації вразливостей у смарт-контрактах на основі Attention та Grad-CAM. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, 1(4), 306–316. DOI: <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.4.1.30>
- Терещенко, О. І. (2025). Методи ін'єкції вразливостей у смарт-контракти для формування збалансованих датасетів. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. № 3(94), Ч. 2, 456–462. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.3.2.58>
- Терещенко, О. І. (2025). Виявлення та локалізація вразливостей у смарт-контрактах на основі дворівневої уваги з графовим підкріпленням. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*, 4, 272–281. DOI: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2025.4.30>

**Наукова (науково-технічна) продукція:** методи, теорії, гіпотези; програмні продукти, програмно-технологічна документація

**Соціально-економічна спрямованість:** підвищення автоматизації виробничих процесів; забезпечення промисловості чи населення новим видом інформаційно-комунікаційних послуг

**Охоронні документи на ОПВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Впроваджено

**Зв'язок з науковими темами:** 0122U002161, 0125U003871

## VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Комлева Наталія Олегівна
2. Nataliia O. Komleva

**Кваліфікація:** к. т. н., доцент, 05.13.06

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-2430-0134

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний університет "Одеська політехніка"

**Код за ЄДРПОУ:** 43861328

**Місцезнаходження:** пр. Шевченка, Одеса, 65044, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

## VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

**Офіційні опоненти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Березький Олег Миколайович

2. Oleh M. Berezsky

**Кваліфікація:** д.т.н., професор, 05.13.23

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-9931-4154

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Західноукраїнський національний університет

**Код за ЄДРПОУ:** 33680120

**Місцезнаходження:** вул. Львівська, Тернопіль, Тернопільський р-н., 46009, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Гожий Олександр Петрович

2. Oleksandr P. Gozhyj

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 05.13.06

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-3517-580X

**Додаткова інформація:** <https://scholar.google.com/citations?hl=uk&user=GsfwzBIAAAAJ>;

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57198358626>;

<https://www.webofscience.com/wos/author/record/22016241>

**Повне найменування юридичної особи:** Чорноморський національний університет імені Петра Могили

**Код за ЄДРПОУ:** 23623471

**Місцезнаходження:** вул. 68 Десантників, Миколаїв, Миколаївський р-н., 54003, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Рецензенти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Арсірій Олена Олександрівна

2. Olena O. Arsirii

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 05.13.06

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-8130-9613

**Додаткова інформація:** ;<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54419480900>

**Повне найменування юридичної особи:** Національний університет "Одеська політехніка"

**Код за ЄДРПОУ:** 43861328

**Місцезнаходження:** пр. Шевченка, Одеса, 65044, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Волкова Наталія Павлівна

2. Nataliia Volkova

**Кваліфікація:** к. т. н., доц., 05.13.23

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-3175-2179

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний університет "Одеська політехніка"

**Код за ЄДРПОУ:** 43861328

**Місцезнаходження:** пр. Шевченка, Одеса, 65044, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

## **VIII. Заключні відомості**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
голови ради**

Антощук Світлана Григорівна

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
головуючого на засіданні**

Антощук Світлана Григорівна

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

Терещенко Олександр Ігорович

**Реєстратор**

Юрченко Тетяна Анатоліївна

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є  
відповідальним за реєстрацію наукової  
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна