

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

**Державний обліковий номер:** 0826U002843

**Особливі позначки:** відкрита

**Дата реєстрації:** 24-06-2026

**Статус:** Запланована

**Реквізити наказу МОН / наказу закладу:**



## II. Відомості про здобувача

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Маруняк Станіслав Тарасович

2. Stanislav T. Maruniak

**Кваліфікація:**

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0009-0006-0635-512X

**Вид дисертації:** доктор філософії

**Аспірантура/Докторантура:** так

**Шифр наукової спеціальності:** 172

**Назва наукової спеціальності:** Електронні комунікації та радіотехніка

**Галузь / галузі знань:** електроніка, автоматизація та електронні комунікації

**Освітньо-наукова програма зі спеціальності:** Телекомунікації та радіотехніка

**Дата захисту:** 26-06-2026

**Спеціальність за освітою:** Інженерія програмного забезпечення

**Місце роботи здобувача:** Національний університет "Львівська політехніка"

**Код за ЄДРПОУ:** 02071010

**Місцезнаходження:** вул. Степана Бандери, Львів, 79013, Україна

**Форма власності:** Державна

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

**Ідентифікатор ROR:**

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

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** PhD 13757

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

**Код за ЄДРПОУ:** 02071010

**Місцезнаходження:** вул. Степана Бандери, Львів, 79013, 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 "Львівська політехніка"

**Код за ЄДРПОУ:** 02071010

**Місцезнаходження:** вул. Степана Бандери, Львів, 79013, Україна

**Форма власності:** Державна

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

**Ідентифікатор ROR:**

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 49.33.29, 49.33.33, 49.33.35, 28.23

**Тема дисертації:**

1. Методи виявлення аномалій міждоменої маршрутизації з інтеграцією пояснювального штучного інтелекту
2. Methods of Interdomain Routing Anomaly Detection with Explainable AI Integration

**Реферат:**

1. Дисертаційна робота присвячена розв'язанню актуального науково-практичного завдання підвищення ефективності виявлення та класифікації аномалій міждоменої маршрутизації в протоколі BGP шляхом розроблення та вдосконалення методів аналізу й інтерпретації ознак на основі підходів пояснювального штучного інтелекту. Актуальність теми дослідження зумовлена зростанням ролі міждоменої маршрутизації у функціонуванні глобальної мережі Інтернет та необхідністю забезпечення стійкості цифрової інфраструктури до різноманітних атак і збоїв. Протокол Border Gateway Protocol (BGP) є основою міждоменого обміну маршрутною інформацією, однак його архітектура побудована на довірчій моделі взаємодії автономних систем і не передбачає повноцінних механізмів перевірки достовірності маршрутних оголошень. Це створює передумови для виникнення аномалій маршрутизації, зокрема BGP-hijacking, route leaks та інших порушень, які можуть призводити до недоступності сервісів, перенаправлення трафіку та значних фінансових збитків. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності виявлення аномалій

міждоменної маршрутизації в протоколі BGP шляхом розроблення та вдосконалення методів аналізу й кількісного оцінювання впливу ознак на основі підходів пояснювального штучного інтелекту. Об'єктом дослідження є процеси міждоменної маршрутизації в інфокомунікаційних мережах. Предметом дослідження є методи аналізу, інтерпретації та оцінювання впливу ознак у задачах класифікації аномалій протоколу BGP. У роботі використано методи математичної статистики, аналізу часових рядів, машинного та глибинного навчання, а також методи пояснювального штучного інтелекту для інтерпретації результатів класифікації. У першому розділі проведено аналіз сучасного стану безпеки протоколів маршрутизації в інфокомунікаційних мережах. Систематизовано основні загрози та вразливості протоколів динамічної маршрутизації. Виконано порівняльний аналіз протоколів OSPF, IS-IS, EIGRP та BGP, визначено їхні спільні архітектурні обмеження щодо забезпечення безпеки. Розглянуто відомі інциденти міждоменної маршрутизації та показано їхній вплив на функціонування критичних цифрових сервісів. Проаналізовано сучасні підходи до виявлення аномалій і визначено необхідність розроблення інтерпретованих моделей машинного навчання. У другому розділі досліджено методи та алгоритми аналізу аномалій у протоколі BGP. Розглянуто принципи функціонування міждоменної маршрутизації, механізми обміну маршрутною інформацією та особливості формування маршрутних таблиць. Запропоновано класифікацію аномалій за характером їх виникнення та впливом на мережу. Проведено порівняльний аналіз статистичних методів, підходів на основі часових рядів, машинного та глибинного навчання. Встановлено, що підвищення точності сучасних моделей часто супроводжується зниженням рівня їх інтерпретованості. У третьому розділі розроблено нові підходи до аналізу та інтерпретації ознак у задачах класифікації BGP-аномалій. Запропоновано модельно-незалежний метод оцінювання часової динаміки параметрів маршрутизації, який передбачає сегментацію аномальної події на переданомальну, аномальну та постаномальну фази. На основі статистичних характеристик введено нормовані коефіцієнти реакції та відновлення ознак, а також критерій фазової інформативності для їх ранжування. Удосконалено метод інтерпретації впливу ознак шляхом узагальнення SHAP-оцінок та введення показника релевантності Feature Relevance Score (FRS), що враховує глобальну, клас-орієнтовану значущість ознаки та стабільність її впливу між класами аномалій. Подальшого розвитку набув метод покласового аналізу впливу ознак на основі збурень вхідних даних, який дозволяє виявляти характеристики, що негативно впливають на якість класифікації. У четвертому розділі проведено експериментальні дослідження розроблених методів на основі реальних інцидентів міждоменної маршрутизації. Використано два незалежні набори ознак та вісім задокументованих BGP-подій різних типів. Отримані результати показали, що різні класи аномалій характеризуються специфічними патернами зміни ознак. Встановлено, що запропонований показник FRS забезпечує стабільніше ранжування ознак порівняно з існуючими підходами на основі SHAP. Експериментально підтверджено, що видалення найбільш релевантних ознак суттєво погіршує якість класифікації, тоді як усунення ознак із негативним впливом дозволяє підвищити повноту виявлення окремих класів аномалій до 60 %. Для практичної реалізації результатів дослідження розроблено програмні продукти BFX (BGP Feature eXaminer) та BGP-FRS (BGP Feature Relevance Score).

2. The dissertation is devoted to solving an important scientific and practical problem of improving the efficiency of detecting and classifying interdomain routing anomalies in the Border Gateway Protocol (BGP) through the development and enhancement of feature analysis and interpretation methods based on Explainable Artificial Intelligence (XAI) approaches. The relevance of the research is determined by the growing importance of interdomain routing in the operation of the global Internet and the need to ensure the resilience of digital infrastructure against various attacks and failures. The Border Gateway Protocol (BGP) serves as the foundation of interdomain routing information exchange; however, its architecture is based on a trust model between autonomous systems and does not provide comprehensive mechanisms for verifying the authenticity of routing announcements. This creates conditions for routing anomalies such as BGP hijacking, route leaks, and other disruptions that may result in service outages, traffic redirection, and significant financial losses. The aim of the dissertation is to improve the efficiency of detecting interdomain routing anomalies in BGP through the development and enhancement of methods for feature analysis and quantitative assessment of feature influence based on Explainable Artificial Intelligence approaches. The object of research is the interdomain routing

processes in infocommunication networks. The subject of research is the methods of analysis, interpretation, and feature impact assessment in BGP anomaly classification tasks. The research employs methods of mathematical statistics, time-series analysis, machine learning and deep learning, as well as Explainable Artificial Intelligence techniques for interpreting classification results. The first chapter presents an analysis of the current state of routing protocol security in infocommunication networks. The main threats and vulnerabilities of dynamic routing protocols are systematized. A comparative analysis of OSPF, IS-IS, EIGRP, and BGP protocols is performed, and their common architectural security limitations are identified. Well-known interdomain routing incidents are reviewed, and their impact on critical digital services is demonstrated. Modern approaches to anomaly detection are analyzed, highlighting the need for the development of interpretable machine learning models. The second chapter investigates methods and algorithms for BGP anomaly analysis. The principles of interdomain routing, routing information exchange mechanisms, and routing table formation are examined. A classification of anomalies based on their origin and impact on network operation is proposed. Comparative analysis of statistical methods, time-series approaches, machine learning, and deep learning techniques is conducted. The study reveals that improvements in classification accuracy are often accompanied by a reduction in model interpretability. The third chapter introduces novel approaches for feature analysis and interpretation in BGP anomaly classification tasks. A model-independent method for evaluating the temporal dynamics of routing parameters is proposed, which divides an anomaly event into pre-anomaly, anomaly, and post-anomaly phases. Based on statistical characteristics, normalized reaction and recovery coefficients are introduced, together with a phase informativeness criterion for feature ranking. The feature interpretation method is enhanced through the aggregation of SHAP values and the introduction of the Feature Relevance Score (FRS), which accounts for global feature importance, class-oriented significance, and the stability of feature influence across anomaly classes. Furthermore, the class-specific feature impact analysis method based on input perturbation is further developed, enabling the identification of features that negatively affect classification performance. The fourth chapter presents experimental validation of the proposed methods using real-world interdomain routing incidents. Two independent feature datasets and eight documented BGP events of different types were employed. The obtained results demonstrate that different anomaly classes exhibit distinct feature variation patterns. It was established that the proposed FRS metric provides more stable feature rankings compared with conventional SHAP-based approaches. Experimental results confirm that removing the most relevant features significantly degrades classification performance, whereas eliminating negatively influential features improves the recall of specific anomaly classes by up to 60%. For practical implementation of the proposed methods, two software tools were developed: BFX (BGP Feature eXaminer) and BGP-FRS (BGP Feature Relevance Score).

**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:**

- Курык М., Маруніак С., Андрухив Т. SHAP-Based Evaluation of Feature Importance in BGP Anomaly Detection Models // Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія (ICTEE). 2025. Vol. 5, No. 1. P. 34–43. <https://doi.org/10.23939/ict2025.01.034>
- Курык М., Маруніак С., Рій А. A perturbation-based XAI approach for class-specific feature sensitivity analysis in BGP anomaly classification // 9 Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2026. № 1. С. 261–269. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2026-85-33>
- Маруніак С., Курык М. Model-agnostic analysis of BGP feature dynamics for anomaly detection in interdomain routing // Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія (ICTEE). 2026. Vol. 6, No. 1. P. 1–10.

<https://doi.org/10.23939/ictee2026.01.001>

- Маруняк С. Підвищення інформаційної безпеки в протоколах динамічної маршрутизації за допомогою машинного навчання з використанням наївного класифікатора Байеса // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2024. Том 35, № 5. С. 51–57. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.5.1/09>
- Маруняк С. Виявлення та пом'якшення вразливостей безпеки в протоколах динамічної маршрутизації: поточні виклики та рішення // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. 2024. Вип. 55. С. 130–136. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-55-16>
- Маруняк С. Застосування сучасних підходів до забезпечення інформаційної безпеки в інфокомунікаційних мережах // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2024. Том 35, № 3, ч. 2. С. 63–68. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.3.2/08>
- Kyryk M., Maruniak S., Uryvsky L. BFX: An Interpretable Statistical Tool for Anomaly-Oriented Examination of BGP Features // Proc. International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET-2026). Lviv, Ukraine, Feb. 2026. P. 1–5. <https://doi.org/10.1109/TCSET65181.2026.11461198>
- Кирик М., Маруняк С. Інтерпретований аналіз ознак для підвищення точності класифікації аномалій BGP // VIII Всеукраїнська науково-технічна конференція «Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення». Житомир, 02–03 грудня 2025 р. С. 97–98. <https://conf.ztu.edu.ua/wpcontent/uploads/2026/01/97.pdf>
- Kyryk M., Riy A., Maruniak S. Terahertz Band Communications for 6G and Beyond // Proc. 5th International Conference on Innovative Materials and Nanoengineering (IMNE-2025), Kraków, Poland, Jan. 8–10, 2026. Conference Program and Book of Abstracts. 2026. P. 4–4.

**Наукова (науково-технічна) продукція:** методи, теорії, гіпотези

**Соціально-економічна спрямованість:** забезпечення промисловості чи населення новим видом інформаційно-комунікаційних послуг

**Охоронні документи на ОПВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Впроваджено

**Зв'язок з науковими темами:**

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

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Кирик Мар'ян Іванович

2. Maryan Kyryk

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 05.12.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-9156-9347

**Додаткова інформація:**

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

**Код за ЄДРПОУ:** 02071010

**Місцезнаходження:** вул. Степана Бандери, Львів, 79013, 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. Наконечний Володимир Сергійович
2. Volodymyr S. Nakonechnyi

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 05.12.13

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

#### **Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Київський національний університет імені Тараса Шевченка

**Код за ЄДРПОУ:** 02070944

**Місцезнаходження:** вул. Володимирська, Київ, 01033, Україна

**Форма власності:** Державна

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

**Ідентифікатор ROR:**

#### **Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Венгерський Петро Сергійович
2. Petro S. Venherskyi

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 01.05.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-9808-7404

#### **Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Львівський національний університет імені Івана Франка

**Код за ЄДРПОУ:** 02070987

**Місцезнаходження:** вул. Університетська, Львів, 79000, Україна

**Форма власності:** Державна

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

**Ідентифікатор ROR:**

### **Рецензенти**

#### **Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Селюченко Мар'ян Олександрович

2. Marian O. Seliuchenko

**Кваліфікація:** к. т. н., доц., 05.12.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0009-0007-7801-8605

**Додаткова інформація:**

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

**Код за ЄДРПОУ:** 02071010

**Місцезнаходження:** вул. Степана Бандери, Львів, 79013, Україна

**Форма власності:** Державна

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

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Шпур Ольга Миколаївна

2. Olha M. Shpur

**Кваліфікація:** к. т. н., доц., 05.12.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-8156-8017

**Додаткова інформація:**

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

**Код за ЄДРПОУ:** 02071010

**Місцезнаходження:** вул. Степана Бандери, Львів, 79013, Україна

**Форма власності:** Державна

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

**Ідентифікатор ROR:**

## VIII. Заключні відомості

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

Климаш Михайло Миколайович

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

Климаш Михайло Миколайович

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

Бешлей М.І.

**Реєстратор**

Юрченко Тетяна Анатоліївна

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



Юрченко Тетяна Анатоліївна