

Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0826U004499

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 11-08-2026

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу: Наказ ЛНУ ім. Івана Франка № 1110 від 31.08.2026 р.



II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Бавдис Михайло Ігорович

2. Mykhailo I. Bavyds

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0009-0008-2370-3418

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: 13-08-2026

Спеціальність за освітою: Комп'ютерні науки та інформаційні технології

Місце роботи здобувача: 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:

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): PhD 15118

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:

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

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:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 20.54, 20.54.06, 20.55.01

Тема дисертації:

1. Розробка програмного каркасу на основі мікросервісів та хмарних технологій для моделювання процесів і явищ наноплазмоніки.
2. Development of a Software Framework Based on Microservices and Cloud Technologies for Modelling Processes and Phenomena of Nanoplasmonics.

Реферат/анотація:

1. Стрімке зростання обсягів наукових обчислень та глобальне поширення хмарних платформ зумовлюють нагальну потребу у нових підходах до побудови програмних систем. Мікросервісна архітектура стала де-факто стандартом масштабованих розподілених рішень, проте її адаптація до ресурсоемних науково-обчислювальних задач залишається відкритою проблемою. Існуючі хмарні інструменти проектувалися переважно для типових вебзастосунків і не враховують специфіки інтенсивних науково-обчислювальних конвеєрів: надвисоку потребу в обчислювальних ресурсах, координацію масивних паралельних процесів та синхронізацію гетерогенних апаратних ресурсів. Стандартні механізми хмарної оркестрації демонструють інерційність при обробці пульсуючих навантажень, а формалізовані критерії вибору ML-архітектур та спеціалізовані метрики для оцінювання ефективності наукових обчислень у розподіленому середовищі відсутні. У першому розділі проведено системний аналіз методів, архітектурних підходів та

інструментальних засобів для побудови високонавантажених систем наукового моделювання. Обґрунтовано доцільність мікросервісної парадигми у поєднанні з багатохмарною оркестрацією та визначено теоретичне підґрунтя для розробки механізмів проактивного адаптивного управління ресурсами на основі циклу MAPE-K. Систематизовано обчислювальні вимоги задач моделювання наноплазмоніки методом дискретних диполів (DDA), що обґрунтовує необхідність спеціалізованих конвеєрів із GPU-прискоренням. У другому розділі розроблено теоретико-методологічне та алгоритмічне забезпечення для оптимізації мікросервісної інфраструктури. Формалізовано інтегральний критерій ресурсної ефективності (REI) та систему спеціалізованих метрик (RUE, SWE, EPR) для ізольованого оцінювання пульсуючих наукових навантажень. Розроблено алгоритмічне ядро адаптивного LOC-контролера з тришаровою LSTM-моделлю та механізмом уваги для прогнозування навантаження з горизонтом до 15 хвилин. Контролер динамічно перемикається між проактивним і реактивним режимами, а для багатокритеріальної оптимізації використовує алгоритм NSGA-III. У третьому розділі описано інженерну реалізацію мікросервісного каркасу на базі Amazon EKS (Kubernetes v1.28) та інфраструктури як коду (Terraform). Представлено функціональну декомпозицію системи, гібридну асинхронну комунікаційну стратегію (Apache Kafka, AMQP) та тривірневу підсистему кешування (in-memory LRU, Redis LZ4, XFS), яка забезпечує hit rate 90%, зниження затримки повторних запитів на 75% та скорочення звернень до GPU на 90%. Описано конвеєри CI/CD та інфраструктуру спостережуваності (Prometheus, Grafana, Jaeger, OpenTelemetry). У четвертому розділі представлено результати експериментальної верифікації (450 вимірювань на метрику, 30 повторів). Статистичними методами (тест Шапіро-Вілکا, t-критерій) підтверджено достовірність результатів ($p < 0,001$, $d \in [0,89; 1,85]$). Середня затримка скорочена на 80,7% (зі 145 до 28 мс), пропускна здатність зросла у 10 разів (до 2,5 ТБ/год), доступність – 99,89%. LOC-контролер діяв проактивно у 67% випадків, обмежуючи деградацію затримки до 8%. Показники RUE зросли на 23,6%, SWE – на 17,2%, EPR – на 37,7%. Наукова новизна полягає у тому, що вперше запропоновано систему спеціалізованих метрик та інтегральний критерій ресурсної ефективності для оптимізації вибору ML-архітектур з урахуванням пульсуючого характеру обчислень; удосконалено алгоритми багатохмарної оркестрації шляхом інтеграції LSTM-прогнозування та динамічного перемикавання режимів управління у цикл MAPE-K; набули подальшого розвитку методи проєктування розподілених систем через створення мікросервісного каркасу з гібридною оркестрацією та тривірневим кешуванням. Практичне значення полягає в тому, що розроблений програмний каркас та алгоритми доведені до рівня практичного використання і можуть застосовуватися для побудови високонавантажених розподілених систем незалежно від предметної галузі. Хмарна платформа та механізми адаптивного управління готові до інтеграції в IT-інфраструктуру дослідницьких центрів і підприємств, а система метрик з Prometheus-експортером надає інженерам готові інструменти для DevOps-моніторингу та автоматизації масштабування. Ключові слова: мікросервісна архітектура, хмарні обчислення, програмний каркас, наукові обчислення, нейронна мережа, адаптивне управління ресурсами, машинне навчання, LSTM, Kubernetes, ресурсна ефективність, розподілені системи.

2. The rapid growth in the volume of scientific computations and the global spread of cloud platforms create an urgent need for new approaches to building software systems. Microservice architecture has become the de facto standard for scalable distributed solutions; however, its adaptation to resource-intensive scientific computing tasks remains an open problem. Existing cloud tools have been designed primarily for typical web applications and do not account for the specifics of intensive scientific computing pipelines: an extremely high demand for computational resources, coordination of massive parallel processes, and synchronization of heterogeneous hardware resources. Standard cloud orchestration mechanisms demonstrate inertia when processing pulsating workloads, while formalized criteria for selecting ML architectures and specialized metrics for evaluating the efficiency of scientific computations in a distributed environment are lacking. The first chapter presents a systematic analysis of methods, architectural approaches, and tools for building high-load scientific modeling systems. The feasibility of the microservice paradigm combined with multi-cloud orchestration is substantiated, and the theoretical foundation for developing mechanisms of proactive adaptive resource management based on the MAPE-K loop is established. The computational requirements of nanoplasmonics modeling tasks using the

discrete dipole approximation (DDA) are systematized, substantiating the need for specialized pipelines with GPU acceleration. The second chapter develops theoretical, methodological, and algorithmic support for optimizing microservice infrastructure. An integral resource efficiency criterion (REI) and a system of specialized metrics (RUE, SWE, EPR) are formalized for isolated evaluation of pulsating scientific workloads. An algorithmic core of an adaptive LOC controller with a three-layer LSTM model and an attention mechanism is developed for load forecasting with a horizon of up to 15 minutes. The controller dynamically switches between proactive and reactive modes and uses the NSGA-III algorithm for multi-objective optimization. The third chapter describes the engineering implementation of a microservice framework based on Amazon EKS (Kubernetes v1.28) and infrastructure as code (Terraform). The functional decomposition of the system, a hybrid asynchronous communication strategy (Apache Kafka, AMQP), and a three-level caching subsystem (in-memory LRU, Redis LZ4, XFS) are presented; the subsystem provides a 90% hit rate, reduces the latency of repeated requests by 75%, and cuts GPU accesses by 90%. CI/CD pipelines and an observability infrastructure (Prometheus, Grafana, Jaeger, OpenTelemetry) are described. The fourth chapter presents the results of experimental verification (450 measurements per metric, 30 repetitions). The reliability of the results is confirmed by statistical methods (the Shapiro–Wilk test, t-test) ($p < 0.001$, $d \in [0.89; 1.85]$). Average latency was reduced by 80.7% (from 145 to 28 ms), throughput increased 10 times (to 2.5 TB/h), and availability reached 99.89%. The LOC controller operated proactively in 67% of cases, limiting latency degradation to 8%. RUE increased by 23.6%, SWE by 17.2%, and EPR by 37.7%. Scientific novelty consists in the fact that, for the first time, a system of specialized metrics and an integral resource efficiency criterion is proposed for optimizing the selection of ML architectures while accounting for the pulsating nature of computations; multi-cloud orchestration algorithms are improved by integrating LSTM-based forecasting and dynamic switching of control modes into the MAPE-K loop; methods for designing distributed systems are further developed through the creation of a microservice framework with hybrid orchestration and three-level caching. The practical significance lies in the fact that the developed software framework and algorithms have been brought to the level of practical use and can be applied to building high-load distributed systems regardless of the subject area. The cloud platform and adaptive management mechanisms are ready for integration into the IT infrastructure of research centers and enterprises, while the metrics system with a Prometheus exporter provides engineers with ready-to-use tools for DevOps monitoring and scaling automation.

Keywords: microservice architecture, cloud computing, software framework, scientific computing, neural network, adaptive resource management, machine learning, LSTM, Kubernetes, resource efficiency, distributed systems.

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:

- 1. Bavdys M., Kushnir O. Phased Integration of Neural Networks of Different Architectures in Mathematical Computing Systems // Електроніка та інформаційні технології / Electronics and Information Technologies. 2026. Вип. 33. С. 17–30. <http://doi.org/10.30970/eli.33.2>
- 2. Bavdys M., Kushnir O. Scalable System for Automated Modeling of Physical Processes and Experiment Management // Advances in Cyber-Physical Systems. 2025. Vol. 10, No. 2. P. 223–228. <http://doi.org/10.23939/acps2025.02.223>
- 3. Bavdys M., Kushnir O. Multi-Cloud ML Systems: Performance Benchmarking and Latency Optimization // Advances in Cyber-Physical Systems. 2026. DOI: <https://doi.org/10.23939/acps2026.01.006>
- 4. Bavdys M., Kushnir O. Golang Multithreading // Proceedings of the Xth International Scientific and Practical Conference "Electronics and Information Technologies" (ELIT-2018). Lviv-Karpaty, 2018. P. A38–A40.

- 5. Бавдис М. І., Кушнір О. О. Аналіз місця Golang у контексті порівняння із PHP та C++ // Матеріали конференції FOSS Lviv 2018. Львів, 2018. С. 6-11.
- 6. Bolesta I., Kushnir O., Bavdys M., Khvyshchun I., Demchuk A. Computational-Measurement System "Nanoplasmonics". Part 1: Architecture // Proceedings of the XIth International Scientific and Practical Conference on Electronics and Information Technologies (ELIT-2019). Lviv, 2019. P. 51-54.
<http://doi.org/10.1109/ELIT.2019.8892288>
- 7. Bolesta I., Kushnir O., Bavdys M., Khvyshchun I., Demchuk A. Computational-Measurement System "Nanoplasmonics". Part 2: Structure of Microservices // Proceedings of the XIth International Scientific and Practical Conference on Electronics and Information Technologies (ELIT-2019). Lviv, 2019. P. 55-58.
<http://doi.org/10.1109/ELIT.2019.8892345>
- 8. Бавдис М. І. CQRS в комп'ютерних системах // Збірник тез доповідей Міжнародної наукової конференції студентів та молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики «HEUREKA-2025». Львів, 2025. G1.
- 9. Kushnir O., Karbovnyk I., Bavdys M., Hula A., Klym H. Calculation of Local Fields in Nanoplasmonic Materials by the DDA Method Using a Scalable Microservice System // Abstract Book of the International Research and Practice Conference "Nanotechnology and Nanomaterials" (NANO-2025). Bukovel, Ukraine, 20-23 August 2025. Kyiv, 2025. P. 460.
- 10. Mykhailo Bavdys, Oleksii Kushnir, Ivan Bolesta, Andrii Krupych. Adaptive Multi-Cloud Orchestra Using Multi-Criterion Optimization And Machine Learning // 15th IEEE Conference on DEpendable Systems, SERvices and Technologies (DESSERT2025) – Athens, Greece, December 19-21, 2025. 6.
- 11. Бавдис М., Болеста І., Кушнір О., Калівошка Б. Infrastructure as Code: використання Terraform у системі «Наноплазмоніка» // Збірник матеріалів XII Міжнародної наукової конференції «Релаксаційні, нелінійні, акустооптичні процеси і матеріали» (РНАОПМ'2024). Луцьк-Світязь, 01-04 червня 2024. С. 82-84.

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

Соціально-економічна спрямованість: збільшення обсягів виробництва; економія енергоресурсів; зменшення зносу обладнання; підвищення продуктивності праці; підвищення автоматизації виробничих процесів

Охоронні документи на ОПІВ:

Впровадження результатів дисертації: Планується до впровадження

Зв'язок з науковими темами: 0122U200513, 0121U110738, 124U002189

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Кушнір Олексій Олександрович

2. Oleksii O. Kushnir

Кваліфікація: к. ф.-м. н., доцент, 01.04.10

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-1393-7025

Додаткова інформація: <https://scholar.google.com.ua/citations?user=HQhgXQ0AAAAJ&hl=uk>; Web of Science Researcher ID: G-9322-2015; Scopus Author ID: 55546799000

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:

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Дзундза Богдан Степанович

2. Bogdan S. Dzundza

Кваліфікація: д. т. н., старший науковий співробітник, 05.27.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-6657-5347

Додаткова інформація: Scopus Author ID: 55339054400; ResearcherID: ABE-8569-2020;

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=rA6lwOQAAAAJ&hl=uk&oi=sra>

Повне найменування юридичної особи: Карпатський національний університет імені Василя Стефаника

Код за ЄДРПОУ: 02125266

Місцезнаходження: вул. Шевченка, Івано-Франківськ, 76018, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Висоцька Вікторія Анатоліївна

2. Viktoriia A. Vysotska

Кваліфікація: д. т. н., доц., 10.02.21

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-6417-3689

Додаткова інформація: <https://scholar.google.com/citations?user=-MCARowAAAAJ>; Web of Science Researcher ID: P-7714-2016; Scopus Author ID: 24484045400

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:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Сінкевич Олег Олександрович
2. Oleh O. Sinkevych

Кваліфікація: д.філософ, доц., 122

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-9834-2700

Додаткова інформація: <https://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=atXme2UAAAAJ>; Web of Science Researcher ID: F-6998-2019; Scopus Author ID: 57211010573

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:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Любунь Зіновій Михайлович
2. Zinovii M. Liubun

Кваліфікація: к. т. н., доц., 05.09.05

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-7124-7156

Додаткова інформація: <https://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=Sqypl1gAAAAJ>; Scopus Author ID: 57211999349

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:

VIII. Заключні відомості

Власне Прізвище Ім'я По-батькові
голови ради

Свелеба Сергій Андрійович

Власне Прізвище Ім'я По-батькові
головуючого на засіданні

Свелеба Сергій Андрійович

**Відповідальний за підготовку
облікових документів**

Жак Ольга Володимирівна

Реєстратор

Юрченко Тетяна Анатоліївна

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



Юрченко Тетяна Анатоліївна