

АНОТАЦІЯ

Попик Ю.І. Знання-орієнтована програмна система управління корпоративними комп'ютерними мережами. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення» – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2026.

Підготовка здійснювалась на кафедрі комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університету Міністерства освіти і науки України.

Дисертаційна робота присвячена розв'язуванню актуального науково-технічного завдання підвищення ефективності управління корпоративними комп'ютерними мережами шляхом розроблення моделей і методів на основі знання-орієнтованого підходу, що враховують структуру мережі, її ресурси та множину задач, які ними розв'язуються.

Сучасні корпоративні комп'ютерні мережі є складними розподіленими інформаційними середовищами, які об'єднують значну кількість користувачів, серверів, мережевих сервісів, інформаційних ресурсів та прикладних задач. Постійне зростання обсягів інформації, підвищення вимог до доступності сервісів, необхідність забезпечення кібербезпеки та ефективного використання ресурсів призводять до ускладнення процесів адміністрування мережевої інфраструктури. Традиційні системи управління корпоративними мережами переважно орієнтовані на моніторинг технічних параметрів обладнання та автоматизацію окремих адміністративних операцій, проте недостатньо враховують знання про взаємозв'язки між ресурсами, сервісами, користувачами та множиною задач, що розв'язуються в мережевому середовищі. Це обмежує можливості автоматизованого прийняття обґрунтованих конфігураційних рішень та знижує ефективність використання мережевих ресурсів.

Проведений аналіз сучасних методів управління корпоративними

комп'ютерними мережами показав, що існуючі програмні платформи моніторингу та адміністрування, зокрема Cisco DNA Center, SolarWinds Network Performance Monitor, ManageEngine OpManager, PRTG Network Monitor та Microsoft System Center, забезпечують високий рівень збору та візуалізації інформації про стан мережі, однак не підтримують повноцінного онтологічного представлення знань про предметну область і механізмів логічного виведення, необхідних для реалізації інтелектуального управління мережевою інфраструктурою.

У роботі обґрунтовано доцільність використання знання-орієнтованого підходу для управління корпоративними комп'ютерними мережами. На відміну від традиційних підходів, запропонована концепція базується на формалізації знань про структуру мережі, ресурси, сервіси, користувачів, політики безпеки та множину задач у межах єдиного семантичного простору, що створює основу для автоматизованого логічного виведення та підтримки прийняття рішень.

У першому розділі проведено аналіз особливостей функціонування корпоративних комп'ютерних мереж, сучасних методів їх управління, моніторингу, конфігурування та балансування навантаження. Досліджено знання-орієнтовані підходи до побудови інтелектуальних інформаційних систем, проаналізовано методи формалізації знань, включаючи логічні моделі, продукційні системи, семантичні мережі, фреймові структури та онтології. Також розглянуто можливості використання нечіткої логіки, машинного навчання та штучних нейронних мереж для підтримки процесів управління мережевою інфраструктурою. На основі проведеного аналізу сформульовано науково-технічну проблему та обґрунтовано необхідність застосування онтологічного підходу.

У другому розділі розроблено математичне забезпечення знання-орієнтованої системи управління корпоративними комп'ютерними мережами. Запропоновано онтологічну модель корпоративної мережі, яка формалізує знання про мережеві ресурси, сервіси, користувачів та множину задач у вигляді концептів, відношень, аксіом та правил логічного виведення. Розроблено метод онтологічно-керованого конфігурування корпоративної мережі, який забезпечує автоматизоване формування

конфігураційних рішень на основі семантичного аналізу знань про предметну область та механізмів логічного виведення. Удосконалено математичну модель розподілу навантаження між центрами термінальних кластерів на основі багатокритеріальної оптимізації та онтологічного подання знань про ресурси корпоративної комп'ютерної мережі й множину задач. Запропонована модель дозволяє враховувати не лише поточний стан ресурсів, але й семантичні взаємозв'язки між задачами, сервісами та мережевою інфраструктурою під час формування оптимальних конфігурацій розподілу навантаження.

У третьому розділі розроблено архітектуру знання-орієнтованої системи управління корпоративними комп'ютерними мережами. Запропоновано багаторівневу програмну архітектуру, яка інтегрує підсистеми моніторингу, управління онтологічною базою знань, логічного виведення, конфігурування та оптимізації. Реалізовано онтологічну базу знань на основі технології OWL та механізм логічного виведення, який забезпечує автоматичне формування нових знань на основі фактів, отриманих від підсистеми моніторингу. Розроблено програмну реалізацію математичної моделі розподілу навантаження між центрами термінальних кластерів та забезпечено її інтеграцію з онтологічною базою знань і механізмом логічного виведення. Обґрунтовано вибір технологій програмної реалізації та описано особливості інтеграції програмних компонентів у межах єдиної системи.

У четвертому розділі наведено результати програмної реалізації та експериментальних досліджень розробленої системи. Реалізовано веборієнтоване програмне забезпечення з використанням сучасних технологій розроблення програмних систем. Проведено оцінювання ефективності запропонованого методу онтологічно-керованого конфігурування та математичної моделі розподілу навантаження між центрами термінальних кластерів. Результати експериментів підтвердили можливість автоматизованого формування конфігураційних рішень, зменшення рівня нерівномірності використання ресурсів мережі та підвищення ефективності функціонування мережевої інфраструктури. Виконано апробацію

запропонованих моделей і методів на прикладі корпоративної мережі Західноукраїнського національного університету та мережі компанії «Колумбус». Отримані результати показали зменшення середньої затримки доступу до сервісів на 29–36 %, зниження завантаження серверних ресурсів на 20–24 %, скорочення кількості порушень політик доступу та покращення інтегральних показників якості функціонування мережі майже на 50 %.

Практичне значення одержаних результатів полягає у створенні знання-орієнтованої програмної системи управління корпоративними комп'ютерними мережами, яка забезпечує автоматизацію процесів моніторингу, конфігурування ресурсів, розподілу навантаження та підтримки прийняття рішень на основі онтологічного представлення знань. Результати дослідження можуть бути використані під час проектування, модернізації та експлуатації корпоративних комп'ютерних мереж підприємств, установ та організацій різного профілю діяльності.

У висновках сформульовано основні результати дисертаційної роботи.

Ключові слова: програмно-апаратні засоби (апаратно-програмні засоби); інтелектуалізована система; комп'ютерна мережа; архітектура програмного забезпечення; онтологія (онтологія предметної області); база знань; інформаційні технології; нечітка система (нечітка логіка); штучний інтелект; прийняття рішень; нейронні мережі; математична модель (математичне моделювання); методи оптимізації (оптимізація); комп'ютерна система; машинне навчання.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації

1. Dyvak, M.; Tsapiv, Y.; Pukas, A.; Petrovskyi, Y.; Melnyk, A.; Dyvak, A.; Banasik, A.; Czupryna-Nowak, A.; Pikiwicz, P.; Popyk, Y.; Dzyha, Y. AR Technology for Restoring Upper-Limb Joint Mobility in Patients. Appl. Sci. 2026, 16, 5878. (3,6 д.а. / 0,5 д.а.; особистий внесок: програмний модуль налаштування параметрів системи та оцінка його ефективності).

DOI: <https://doi.org/10.3390/app16125878> (Scopus, Q2).

2. Melnyk A., Popyk Y. An Ontology-Driven Knowledge-Based Approach to Complex Systems Management. *Computer Systems and Information Technologies*. 2026. № 2. P. 86-99. (1,4 д.а. / 0,8 д.а.; особистий внесок: онтологічна модель корпоративної комп'ютерної мережі, метод онтологічно-керованого конфігурування корпоративної комп'ютерної мережі).

DOI: <https://doi.org/10.31891/csit-2026-2-9>

3. Мельник А. М., Попик Ю. І. Програмна архітектура онтологічно-керованої системи для управління складними об'єктами. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Технічні науки»*. 2026. Вип. 1(125). С. 276-302. (2,7 д.а. / 2,5 д.а.; особистий внесок: модель динамічного розподілу навантаження центрів термінальних кластерів, архітектура програмної онтологічно-керованої системи управління корпоративними комп'ютерними мережами).

DOI: <https://doi.org/10.31713/vt1202620>

4. Popyk Y., Ples M. Optimization of Energy Consumption in Data Centers Based on an Ontological Approach. *Opto-Electronic Devices and Components in Laser and Energy Technologies*. 2025, № 50 (2), 282-292. (1,2 д.а. / 0,8 д.а.; особистий внесок: апробація та підхід до налаштування параметрів онтологічно-керованого конфігурування корпоративної комп'ютерної мережі).

DOI: <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2025-50-2-282-292>

5. M. Pylypchuk, N. Porplytsya, I. Stasiv, R. Monko, Y. Popyk, T. Yurchyshyn, Parallelization and Optimization of a Method for Web Content Analysis and Accessibility Evaluation for Visually Impaired Users. 2025 15th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Sibenik, Croatia, 2025, pp. 879-883. (0,5 д.а. / 0,1 д.а.; особистий внесок: метод оцінки доступності інформаційних ресурсів та його вплив на продуктивність роботи системи).

DOI: <https://doi.org/10.1109/ACIT65614.2025.11185892> (Scopus)

6. A. Melnyk, I. Romanets, R. Shevchuk, O. Kvasnytsia, Y. Popyk, V. Ivanyna.

An Intelligent System for Detecting Malicious Messages in IP Telephony within a Corporate Network. 2025 IEEE 13th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), Gliwice, Poland, 2025, pp. 1-5. (0,5 д.а. / 0,1 д.а.; особистий внесок: алгоритм налаштування корпоративної мережі при аналізі достовірності контенту).

DOI: <https://doi.org/10.1109/IDAACS68557.2025.11322321> (Scopus).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

7. Попик Ю.І. Знання-орієнтована програмна система управління корпоративними комп'ютерними мережами. Матеріали школи-семінару молодих вчених і студентів «Комп'ютерні інформаційні технології» (СІТ'2026). Тернопіль. 2026, ст. 190-191 (0,1 д.а.).

8. Segin A. I., Popyk Y. I. System of Automatic Translation of Verbal Audio Streams in Real Time. Materials of the 17th International Symposium of Croatian Metallurgical Society SHMD'2024 (published in: Metalurgija 63 (2024) 2). P. 317-320. (0,4 д.а. / 0,1 д.а.; особистий внесок: програмне забезпечення для побудови кореляційних моделей у полярній системі координат, реалізації алгоритмів обробки даних та аналізу точності отриманих моделей на тестових наборах даних).

URL: <https://hrcak.srce.hr/en/file/451123>

9. Сегін А. І., Заставний О. М., Попик Ю. І. Модель передбачення географічного місцеположення і часу виникнення землетрусів. Комп'ютерне моделювання та програмне забезпечення інформаційних систем і технологій (КМПЗ-2024): збірник наукових праць (тези доповідей та вибрані статті) IV Міжнародної науково-практичної конференції, Чернівці, 30 травня – 01 червня 2024 р. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2024. С. 137-141. (0,5 д.а. / 0,1 д.а.; особистий внесок: аналіз вимог до програмних систем прогнозування). URL: https://bukuniver.edu.ua/wp-content/themes/bukuniver/docs/tezy_kmpz_2024.pdf

10. Сегін А. І., Попик Ю.І., Когут І. Р., Когут Ю., Павловський А. О., Возняк В. С. Кореляційні моделі в полярній системі координат // Збірник матеріалів

проблемно-наукової міжгалузевої конференції «Інформаційні проблеми комп'ютерних систем, юриспруденції, енергетики, моделювання та управління» (ICSM-2023). Надвірна, 2023. С. 188-191. (0,4 д.а. / 0,1 д.а.; особистий внесок: результати формалізації методу кореляційного аналізу знакових функцій).

URL:

https://drive.google.com/file/d/1eLKEeeVfgQ1lxU8AfwdO_FF5ywHBgdch/view

ANNOTATION

Popyk Yu.I. Knowledge-Oriented Software System for Corporate Computer Network Management. – Scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 121 "Software Engineering" - West Ukrainian National University, Ternopil, 2026.

The research was carried out at the Department of Computer Science of the West Ukrainian National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine.

The dissertation is devoted to solving the relevant scientific and technical problem of improving the efficiency of corporate computer network management through the development of models and methods based on a knowledge-oriented approach that takes into account the network structure, its resources, and the set of tasks performed within it.

Modern corporate computer networks are complex distributed information environments that integrate a large number of users, servers, network services, information resources, and application tasks. The continuous growth of information volumes, increasing requirements for service availability, the need to ensure cybersecurity, and the efficient utilization of resources significantly complicate network infrastructure administration. Traditional corporate network management systems are primarily focused on monitoring technical equipment parameters and automating individual administrative operations; however, they insufficiently consider knowledge about the relationships among resources, services, users, and the set of tasks performed within the network environment. This limitation reduces the ability to make automated and well-grounded configuration decisions and decreases the efficiency of network resource utilization.

The analysis of modern corporate computer network management methods demonstrated that existing monitoring and administration platforms, including Cisco DNA Center, SolarWinds Network Performance Monitor, ManageEngine OpManager, PRTG Network Monitor, and Microsoft System Center, provide a high level of network

status monitoring and visualization. However, they do not support comprehensive ontological knowledge representation of the domain and logical reasoning mechanisms required for intelligent network infrastructure management.

The dissertation substantiates the feasibility of applying a knowledge-oriented approach to corporate computer network management. Unlike traditional approaches, the proposed concept is based on the formalization of knowledge about network structure, resources, services, users, security policies, and task sets within a unified semantic space. This creates the foundation for automated logical reasoning and decision support.

The first chapter analyzes the operational features of corporate computer networks, modern methods of their management, monitoring, configuration, and load balancing. Knowledge-oriented approaches to intelligent information system development are investigated, and methods of knowledge formalization, including logical models, production systems, semantic networks, frame structures, and ontologies, are analyzed. The possibilities of applying fuzzy logic, machine learning, and artificial neural networks to support network infrastructure management processes are also examined. Based on the conducted analysis, the scientific and technical problem is formulated, and the necessity of applying an ontological approach is substantiated.

The second chapter develops the mathematical foundations of a knowledge-oriented corporate computer network management system. An ontological model of a corporate network is proposed, formalizing knowledge about network resources, services, users, and task sets in the form of concepts, relationships, axioms, and logical inference rules. An ontology-driven network configuration method is developed that enables the automated generation of configuration decisions based on semantic analysis of domain knowledge and logical reasoning mechanisms. A mathematical model for workload distribution among terminal cluster centers is improved using multicriteria optimization and ontological representation of knowledge about corporate network resources and task sets. The proposed model makes it possible to consider not only the current state of resources but also semantic relationships among tasks, services, and

network infrastructure when generating optimal workload distribution configurations.

The third chapter presents the architecture of a knowledge-oriented corporate computer network management system. A multilayer software architecture integrating monitoring, ontology-based knowledge management, logical reasoning, configuration, and optimization subsystems is proposed. An ontology-based knowledge base was implemented using OWL technology, together with a logical inference mechanism that automatically generates new knowledge from facts obtained by the monitoring subsystem. A software implementation of the workload distribution model for terminal cluster centers was developed and integrated with the ontology knowledge base and reasoning engine. The choice of software implementation technologies is justified, and the integration features of software components within a unified system are described.

The fourth chapter presents the results of software implementation and experimental studies of the developed system. A web-oriented software solution was implemented using modern software engineering technologies. The effectiveness of the proposed ontology-driven configuration method and the mathematical model of workload distribution among terminal cluster centers was evaluated. Experimental results confirmed the possibility of automated generation of configuration decisions, reduction of resource utilization imbalance, and improvement of network infrastructure performance. The proposed models and methods were validated using the corporate network of West Ukrainian National University and the network infrastructure of Columbus Company. The obtained results demonstrated a reduction in average service access latency by 29–36%, a decrease in server resource utilization by 20–24%, a reduction in access policy violations, and an improvement in integrated network performance indicators of nearly 50%.

The practical significance of the obtained results lies in the development of a knowledge-oriented software system for corporate computer network management that automates monitoring, resource configuration, workload distribution, and decision-support processes based on ontological knowledge representation. The research results can be applied in the design, modernization, and operation of corporate computer

networks in enterprises, institutions, and organizations of various domains.

The conclusions summarize the principal scientific and practical results of the dissertation.

Keywords: hardware-software systems; intelligent system; computer network; software architecture; ontology (domain ontology); knowledge base; information technologies; fuzzy system(fuzzy logic); artificial intelligence; decision making; neural networks; mathematical model (mathematical modeling); optimization methods (optimization); computer system; machine learning.

LIST OF PUBLISHED PAPERS BY THE TOPIC OF THESIS

SCIENTIFIC PAPERS IN WHICH THE MAIN SCIENTIFIC RESULTS OF THE DISSERTATION WERE PUBLISHED:

1. Dyvak, M.; Tsapiv, Y.; Pukas, A.; Petrovskiy, Y.; Melnyk, A.; Dyvak, A.; Banasik, A.; Czupryna-Nowak, A.; Piekiewicz, P.; Popyk, Y.; Dzyha, Y. AR Technology for Restoring Upper-Limb Joint Mobility in Patients. *Appl. Sci.* 2026, 16, 5878. (3.6 author's sheets / 0.5 author's sheets; personal contribution: development of a software module for configuring system parameters and evaluation of its effectiveness).

DOI: <https://doi.org/10.3390/app16125878> (Scopus, Q2).

2. Melnyk A., Popyk Y. An Ontology-Driven Knowledge-Based Approach to Complex Systems Management. *Computer Systems and Information Technologies.* 2026. № 2. P. 86-99. (1.4 author's sheets / 0.8 author's sheets; personal contribution: ontological model of a corporate computer network and a method for ontology-driven configuration of a corporate computer network).

DOI: <https://doi.org/10.31891/csit-2026-2-9>

3. Melnyk, A.M.; Popyk, Yu.I. Software Architecture of an Ontology-Driven System for Complex Object Management. *Bulletin of the National University of Water and Environmental Engineering. Technical Sciences Series.* 2026, Issue 1(125), pp. 276–302. (2.7 author's sheets / 2.5 author's sheets; personal contribution: development of a

dynamic workload distribution model for terminal cluster centers and the architecture of an ontology-driven software system for corporate computer network management).

DOI: <https://doi.org/10.31713/vt1202620>

4. Popyk Y., Ples M. Optimization of Energy Consumption in Data Centers Based on an Ontological Approach. *Opto-Electronic Devices and Components in Laser and Energy Technologies*. 2025, № 50 (2), 282-292. (1.2 author's sheets / 0.8 author's sheets; personal contribution: validation and development of an approach for tuning the parameters of ontology-driven configuration of a corporate computer network)..

DOI: <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2025-50-2-282-292>

5. M. Pylypchuk, N. Porplytsya, I. Stasiv, R. Monko, Y. Popyk, T. Yurchyshyn, Parallelization and Optimization of a Method for Web Content Analysis and Accessibility Evaluation for Visually Impaired Users. 2025 15th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Sibenik, Croatia, 2025, pp. 879-883. (0.5 author's sheets / 0.1 author's sheets; personal contribution: method for evaluating the accessibility of information resources and analysis of its impact on system performance).

DOI: <https://doi.org/10.1109/ACIT65614.2025.11185892> (Scopus)

6. A. Melnyk, I. Romanets, R. Shevchuk, O. Kvasnytsia, Y. Popyk, V. Ivanyna. An Intelligent System for Detecting Malicious Messages in IP Telephony within a Corporate Network. 2025 IEEE 13th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), Gliwice, Poland, 2025, pp. 1-5. (0.5 author's sheets / 0.1 author's sheets; personal contribution: development of a corporate network configuration algorithm for content credibility analysis).

DOI: <https://doi.org/10.1109/IDAACS68557.2025.11322321> (Scopus).

SCIENTIFIC WORKS CERTIFYING THE APPROVAL OF THE DISSERTATION MATERIALS:

7. Popyk, Yu.I. Knowledge-Oriented Software System for Corporate Computer

Network Management. In: Proceedings of the School-Seminar of Young Scientists and Students “Computer Information Technologies” (CIT’2026), Ternopil, Ukraine, 2026, pp. 190–191. (0.1 author's sheets).

8. Segin, A.I.; Popyk, Y.I. System of Automatic Translation of Verbal Audio Streams in Real Time. Materials of the 17th International Symposium of the Croatian Metallurgical Society SHMD'2024 (published in: Metalurgija 63 (2024), No. 2), pp. 317–320. (0.4 author's sheets / 0.1 author's sheets; personal contribution: software development for constructing correlation models in a polar coordinate system, implementation of data processing algorithms, and accuracy analysis of the obtained models using test datasets).

URL: <https://hrcak.srce.hr/en/file/451123>

9. Segin, A.I.; Zastavnyi, O.M.; Popyk, Y.I. A Model for Predicting the Geographic Location and Time of Earthquake Occurrence. In: Computer Modeling and Software of Information Systems and Technologies (CMPSIST-2024): Proceedings (Abstracts and Selected Papers) of the IV International Scientific and Practical Conference, Chernivtsi, Ukraine, May 30 – June 1, 2024. Lviv: Ivan Franko National University of Lviv, 2024, pp. 137–141. (0.5 author's sheets / 0.1 author's sheets; personal contribution: analysis of requirements for forecasting software systems).

URL: https://bukuniver.edu.ua/wp-content/themes/bukuniver/docs/tezy_kmpz_2024.pdf

10. Segin, A.I.; Popyk, Y.I. ; Kohut, I.R.; Kohut, Yu.; Pavlovskyi, A.O.; Vozniak, V.S. Correlation Models in a Polar Coordinate System. In: Proceedings of the Interdisciplinary Scientific Conference “Information Problems of Computer Systems, Law, Energy, Modeling and Management” (ICSM-2023). Nadvirna, Ukraine, 2023, pp. 188–191. (0.4 author's sheets / 0.1 author's sheets; personal contribution: results of formalizing the method of correlation analysis of sign functions).

URL: https://drive.google.com/file/d/1eLKEeeVfgQ1lxU8AfwdO_FF5ywhBgdch/view