

## АНОТАЦІЯ

**Зінов'єв Д. В. Інтелектуальні моделі та інструментальні засоби для адаптивного управління конфігураціями програмних мікросервісів -**  
Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки (Галузь знань 12 Інформаційні технології), Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Міністерство освіти і науки України, Харків, 2026 р.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі підвищення якості процесів розробки та супроводу програмних систем (ПС) з мікросервісною архітектурою (МСА) шляхом адаптивного управління їх конфігураціями із використанням знання-орієнтованої багатовимірної інформаційні моделі для опису інфраструктури операційного середовища функціонування ПС з МСА у поєднанні із методами логічного висновку на основі аналізу прецедентів.

У *вступі* обґрунтовано актуальність обраної тематики та показано її зв'язок з науковими розробками кафедри, де виконувалася дисертаційна робота. Сформульовано основну мету, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, до яких відносяться: принципи прикладного системного аналізу, математичний апарат загальної теорії множин; побудова доменних онтологій, методи логічного висновку на основі аналізу прецедентів; об'єктно-орієнтований аналіз та синтез ПЗ з використанням уніфікованої мови системного моделювання UML (Unified Modeling Language) для формалізації процедур проектування інструментальних програмних засобів, методи обробки статистичних даних для аналізу проведених експериментів.

Описано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів дисертаційного дослідження, наведено інформацію про особистий внесок здобувача у публікаціях, які зроблені у співавторстві, про апробацію

результатів дослідження на конференціях та семінарах, а також відомості щодо структури та обсягу дисертаційної роботи.

У **першому розділі** проведено аналітичний огляд сучасних розробок у галузі конфігурування МСА, зокрема, таких технологій контейнеризації та оркестрації МСА як Docker і Kubernetes, засобів моніторингу їх стану Prometheus, Grafana, Nagios та інших, показано, що недостатньо опрацьованими залишаються питання підвищення ефективності таких процесів за рахунок адаптованого управління конфігураціями у реальному масштабі часу та без необхідності перезавантаження системи в цілому, що зумовлює актуальність цього дисертаційного дослідження. Розділ закінчується визначенням мети та основної задачі дослідження, що полягає в розробці модельно-технологічного інструментарію, який дозволить автоматизувати та адаптувати управління конфігураціями ПС з МСА на різних етапах їх ЖЦ.

У **другому розділі** дисертації напрацьовані методологічні основи розробки модельно-технологічного інструментарію (МТІ) для забезпечення адаптивного управління програмними мікросервісами. Запропоновано розглядати доменне моделювання як концептуальну основу для подальшого аналізу процесів конфігурування МСА, виконано порівняльний огляд моделей та методів адаптивного управління, оглянуто інструментальні засоби для підтримки інфраструктури функціонування МСА та запропоновано інтелектуальний підхід до вирішення задачі адаптивного управління на основі методу аналізу прецедентів.

Розглянуто й мотивовано обрано можливість застосування інтелектуального підходу до управління функціонуванням мікросервісів з використання методу аналізу прецедентів (Case-Based Reasoning - CBR), який дозволяє використовувати минулий досвід розробників ПС з МСА для вирішення нових задач шляхом пошуку та налаштування інфраструктурних параметрів їх функціонування, які вже були застосовані у схожих ситуаціях,

забезпечуючи таким чином адаптивне управління конфігураціями МСА в реальному масштабі часу.

У третьому розділі дисертації розроблено алгоритмічну модель (АМ) адаптивного управління конфігураціями програмних мікросервісів на основі методу аналізу прецедентів, яка забезпечує автоматизований вибір та коригування параметрів конфігурації МСА залежно від поточного стану середовища їх виконання.

Запропонована АМ передбачає формалізацію процесу ідентифікації типових ситуацій функціонування мікросервісів на основі багатовимірного опису контексту, що включає показники навантаження, використання ресурсів, параметри продуктивності та стабільності. Для кожної ситуації здійснюється пошук релевантних прецедентів у базі кейсів, адаптація знайдених рішень та формування рекомендацій щодо зміни конфігураційних параметрів. При цьому у запропонованій АМ передбачено застосування, програмна реалізація та в подальшому порівняльний аналіз результатів застосування 5 різних методів CBR, зокрема: метод k найближчих сусідів, метод зважених k найближчих сусідів, пошук на основі ознак, пошук на основі кластеризації, а також пошук потрібних прецедентів із індексацією та хешуванням кейсів. Це дозволило оцінити компроміси між швидкістю, масштабованістю та ступенем пояснювальності прийнятих рішень.

Для підтримки АМ розроблено концептуальну модель багатовимірного інформаційного базису, яка забезпечує уніфікований опис станів мікросервісної системи, конфігураційних параметрів та результатів їх застосування. На основі цієї моделі спроектовано архітектуру інструментального засобу адаптивного управління конфігураціями, що інтегрується з існуючими платформами контейнеризації та оркестрації. Запропоновані модельні рішення забезпечують можливість оперативної адаптації конфігурацій МСА без перезавантаження системи, підвищують стабільність роботи мікросервісів у змінному середовищі їх виконання та

створюють основу для подальшого можливого розвитку інтелектуальних механізмів управління МСА.

**Четвертий розділ дисертації** присвячено програмній реалізації розроблених моделей та інструментальних засобів, а також експериментальному дослідженню показників якості процесів адаптивного управління конфігураціями програмних мікросервісів із використанням СВР-підходу.

Для проведення експериментів розроблено тестовий програмний застосунок (полігон) з мікросервісною архітектурою у предметній області електронної комерції, який складається з 3 функціонально незалежних мікросервісів, що взаємодіють між собою через стандартизовані API з забезпеченням гнучкості та масштабованості системи. Застосунок розгорнуто у контейнеризованому середовищі з використанням сучасних засобів оркестрації та моніторингу, таких як Docker та Kubenetes. Інструментальний засіб адаптивного управління конфігураціями включає модуль збору та аналізу телеметричних даних, модуль СВР-прийняття рішень та модуль автоматичного застосування конфігурацій. Збір показників продуктивності, використання ресурсів та стабільності здійснювався за допомогою систем моніторингу, а результати експериментів агрегуються та зберігаються у вигляді структурованих записів.

Модуль збору та аналізу даних реалізований на основі інструментів (Prometheus) для обчислення метрик оцінки стану МСА та збирає дані про продуктивність, доступність та інші показники якості функціонування кожного мікросервісу. Модуль управління конфігураціями використовує вищезазначені методи СВР для адаптивного налаштування конфігурацій МСА з механізмом для автоматичного застосування цих змін у конфігураціях тестового полігону. Модуль візуалізації та моніторингу реалізований за допомогою інструментального засобу Grafana для надання зручного інтерфейсу для моніторингу стану системи та відображення ключових метрик.

Розроблена методика експериментального дослідження передбачала порівняння роботи мікросервісної системи у режимі статичних конфігурацій та у режимі адаптивного CBR-керування при різних сценаріях навантаження та змін середовища виконання. Методика включала: визначення та вибір тестових конфігурацій для кожного мікросервісу, включаючи варіанти з різними параметрами налаштувань та ресурсів; налаштування середовища тестування, яке імітувало реальні умови експлуатації, проведення тестів на продуктивність, стійкість до збоїв, масштабованість та адаптивність.

Результати експериментів підтвердили доцільність застосування CBR-підходу для адаптивного управління конфігураціями мікросервісів і показали, що запропоновані алгоритмічні та інструментальні рішення забезпечують покращення продуктивності й стійкості системи у порівнянні з традиційними статичними підходами до конфігурування та можливість підбору конфігурації за час  $\leq 0,5$  с навіть при зростанні бази прецедентів до 1000 записів.

В роботі реалізовано та експериментально досліджено п'ять варіантів CBR-методів. Оцінено часові витрати цих методів у діапазоні розмірів БД прецедентів у діапазоні [50-1000] записів. Встановлено, що найвищу швидкодію продемонстрував Indexing and Hashing (орієнтовно 27,6–50,3 мс), KNN показав лінійне зростання часу з обсягом кейс-бази, а Weighted KNN забезпечив більшу керованість за рахунок вагових коефіцієнтів для окремих параметрів опису прецедентів. Застосування CBR дозволяє зменшити середній час відгуку системи на 10–22% порівняно зі статичними конфігураціями.

Таким чином у дисертаційній роботі поставлена та вирішена актуальна науково-прикладна задача підвищення якості процесів розробки та супроводу ПС з МСА шляхом адаптивного управління їх конфігураціями за допомогою запропонованої алгоритмічної моделі, в якій використані методи логічного висновку на основі аналізу прецедентів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

– *вперше запропонована* алгоритмічна модель, яка на відміну від існуючих підходів, забезпечує адаптивне управління конфігураціями програмних

мікросервісів на основі використання методів аналізу прецедентів та багатовимірного інформаційного базису, що дозволяє підвищити якість процесів проектування, розгортання та супроводу програмних систем з мікросервісною архітектурою;

– *удосконалено* інтелектуальну інформаційну технологію управління програмними мікросервісами за рахунок інтеграції вже існуючих інструментальних засобів із застосуванням блоку адаптивного управління їх конфігураціями, що дозволяє зменшити час, необхідний на отримання нових конфігурацій та дає можливість динамічного керування мікросервісами;

– *отримали подальший розвиток* методи визначення якості процесу управління конфігураціями мікросервісів шляхом врахування як статичних так і динамічних показників якості їх функціонування із застосуванням набору визначених для цього кількісних метрик.

Тема дослідження безпосередньо пов'язана з виконанням ініціативної НДР МОН України «Концептуальні моделі, методи та технології створення адаптивних інформаційних систем на основі знання-орієнтованих підходів та засобів розробки програмного забезпечення» (№ ДР: 0121U110310). На кафедрі інтелектуальних програмних систем і технологій ННІ комп'ютерних наук та штучного інтелекту Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Також ці результати використовуються для оновлення методичного забезпечення для лабораторних та практичних робіт студентів за спеціальністю F2 Комп'ютерні науки у дисциплінах «Розробка сервіс-орієнтованих програмних систем», «Проектування розподілених інформаційних систем» та ін.

Ключові слова: *інтелектуальний підхід, програмне забезпечення, системна архітектура, алгоритмічна модель, мікросервіс, управління конфігураціями, адаптація, метод аналізу прецедентів (CBR), інструментальний засіб, метрика, якість, UML.*