

## ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри програмних засобів Національного університету «Запорізька політехніка» Субботіна Сергія Олександровича на дисертаційну роботу Фалькевича Віталія Геннадійовича «Методологія проєктування високонавантажених вебсистем: архітектура, кешування та оптимізація», подану до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 12 – Інформаційні технології спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

**Ступінь актуальності обраної теми.** Дисертаційну роботу Фалькевича В. Г. присвячено вирішенню актуальної науково-практичної проблеми розробки методологічних та архітектурних підходів до проєктування високонавантажених вебсистем, що функціонують у мікросервісних і мультифронтендних середовищах.

У сучасних умовах стрімкого розповсюдження вебсистем прикладного призначення перед розробниками постають питання масштабованості, продуктивності, надійності програмного забезпечення та ефективності використання ресурсів. Для реалізації даних запитів необхідним є залучення комплексних підходів до проєктування та розробки програмного забезпечення з залученням відповідних архітектурних рішень, кешуванням даних на різних рівнях, ефективне керування процесами постачання та розгортання.

Мікросервісна архітектура є актуальним та сучасним рішенням для організації роботи серверної частини сучасних вебсистем. Мікрофронтендна архітектура є однією з прогресивних для організації брендovаних клієнтських додатків.

У зв'язку з цим подальший розвиток архітектурних рішень, методів керування кешем, підходів до оптимізації процесів розгортання та постачання програмного забезпечення є важливою науково-практичною проблемою а тема

дисертаційної роботи є актуальною, має вагоме теоретичне та практичне значення і повністю відповідає спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

**Структура роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано мету та завдання роботи, визначено об'єкт і предмет дослідження, розкрито наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів, наведено відомості щодо особистого внеску здобувача, апробації результатів і їх висвітлення у наукових публікаціях, а також подано інформацію про структуру та обсяг дисертації.

У **першому розділі** «Аналіз сучасних підходів до проектування високонавантажених вебсистем» виконано огляд та аналіз актуальних напрямів розвитку архітектури вебдодатків. Розглянуто еволюцію архітектурних підходів від монолітних рішень до мікрофронтендів із фокусом на патерн BFF. Окрему увагу приділено проблематиці кешування даних в системах з мікросервісною архітектурою та інфраструктурним аспектам постачання та розгортання програмного забезпечення.

У **другому розділі** «Моделювання архітектури взаємодії клієнтських і серверних компонентів на основі патерну BFF» проаналізовано проблеми агрегування даних з кількох API-провайдерів та обмеження існуючих інтеграційних рішень. Виконано порівняльний аналіз поширених платформ, зокрема WunderGraph, Apollo Federation і GraphQL Mesh. Запропоновано власний імплементацію BFF на основі фабрики API-провайдерів і централізованого API-шлюзу з розділенням публічних і приватних інтерфейсів.

У **третьому розділі** «Формалізація декларативного підходу до інвалідації кешу у мікросервісних системах» розглянуто проблематику забезпечення консистентності кешованих даних у високонавантажених мікросервісних архітектурах. Проаналізовано особливості сучасних кеш-систем та обґрунтовано доцільність розробки декларативного підходу до інвалідації кешу.

Запропоновано архітектурну модель, яка дозволяє описувати правила інвалідації кешу на рівні конфігурацій.

**Четвертий розділ** «Побудова масштабованої інфраструктури та впровадження оптимізацій у вебсистемах з високим навантаженням» присвячено практичним аспектам організації мультифронтендної інфраструктури та оптимізації CI/CD-процесів. Розглянуто архітектуру монорепозиторіїв, методи кешування артефактів і Docker-образів, а також результати порівняльного аналізу продуктивності пайплайнів за різних стратегій виконання.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій та їх достовірність.** Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі, забезпечується коректним вибором методології дослідження, системним аналізом сучасних наукових праць у відповідній предметній області, використанням теоретичних і практичних методів дослідження, а також апробацією отриманих результатів у реальних проектах високонавантажених вебсистем.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у тому, що:

- *отримав* подальший розвиток архітектурний патерн BFF, що на відміну від існуючих архітектур поєднує фабрики API-провайдерів, централізований API-шлюз, підтримує одночасну взаємодію з REST та GraphQL, забезпечує агрегацію даних, масштабованість та керування доступом;
- *вперше* розроблено концепцію декларативної інвалідації кешу, що у порівнянні з існуючими рішеннями передбачає автономне керування кешем, зменшення залежностей між окремими сервісами та забезпечує консистентність даних у вебсистемах з мікросервісною архітектурою;
- *отримали* подальшого розвитку архітектурні підходи для побудови мультифронтендного середовища в межах монорепозиторіїв за рахунок

структуризації спільних і брендних компонентів, контролю залежностей та ізоляції середовищ, що підвищує стабільність та керованість процесу збирання та розгортання систем з мікросервісною архітектурою;

– *отримали* подальшого розвитку методики оптимізації CI/CD-процесів для багатоконпонентних вебсистем на основі кешування артефактів, паралельного виконання, умовного запуску завдань і використання легковагих контейнерних образів, що дозволяє скоротити час розгортання та зменшити навантаження на інфраструктуру.

**Значущість результатів дослідження для науки і практики та можливі шляхи їх використання.** Отримані результати мають суттєву практичну значущість і можуть бути використані під час проєктування та розробки високонавантажених вебсистем, організації кешування та оптимізації CI/CD-процесів, в тому числі, і у мультифронтендному середовищі.

**Повнота викладу результатів дослідження у наукових публікаціях.** За темою дисертації опубліковано 6 наукових праць, з яких 3 статті опубліковано у наукових фахових виданнях України, які включені до переліку наукових фахових видань України, 1 статтю – у виданні, включеному до міжнародної наукометричної бази Scopus, та 2 публікації – у матеріалах міжнародних науково-технічних конференцій, що засвідчують апробацію результатів дисертаційного дослідження.

**Академічна доброчесність.** Порухення автором норм академічної доброчесності не виявлено.

**Відповідність роботи вимогам, які ставляться до дисертації.** За актуальністю та важливістю розв'язаних науково-практичних задач, повнотою теоретичного обґрунтування, отриманими практичними результатами дисертаційна робота Фалькевича Віталія Геннадійовича відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженому постановою № 44

Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. та вимогам до оформлення дисертації, затвердженими наказом МОН України.

**Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації.** Загалом, позитивно оцінюючи наукове і практичне значення отриманих здобувачем результатів, варто відзначити наступні дискусійні положення і зауваження до змісту дисертаційної роботи.

1. У першому розділі здійснено огляд сучасних архітектурних підходів до проєктування високонавантажених вебсистем, однак їх порівняння виконано переважно на якісному рівні. Формалізація ключових критеріїв аналізу (масштабованість, складність супроводу, узгодженість даних, інфраструктурні витрати тощо) дала б змогу зробити порівняння більш структурованим та інформативним.

2. У підрозділі 2.3 розглянуто розвиток архітектурного патерну Backend for Frontend (BFF), однак у роботі не наведено теоретичної та емпіричної оцінки впливу запропонованих підходів на продуктивність системи, а також додаткових накладних витрат (overhead), пов'язаних з їх використанням.

3. Запропонований у третьому розділі декларативний підхід до інвалідації кешу не має формалізованого обґрунтування рівня консистентності даних, який гарантується системою, а також не визначає умов, за яких ці гарантії зберігаються або можуть порушуватися.

4. У дисертаційній роботі недостатньо висвітлено питання накладних витрат ресурсів, що виникають під час використання декларативного механізму кешування, зокрема витрат, пов'язаних з обміном та обробкою повідомлень про зміни у пов'язаних даних.

5. У тексті дисертаційної роботи наявні окремі синтаксичні, стилістичні та орфографічні неточності, які, однак, не впливають на зміст і загальний науковий рівень дослідження.

Зазначені зауваження та дискусійні положення не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи та не знижують наукової цінності отриманих результатів.

**Загальний висновок.** Дисертаційна робота Фалькевича Віталія Геннадійовича на тему «Методологія проектування високонавантажених вебсистем: архітектура, кешування та оптимізація», подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки», є завершеним науковим дослідженням, у якому вирішено актуальну науково-практичну задачу, що має важливе значення для розвитку сучасних вебсистем прикладного призначення.

За актуальністю теми, рівнем наукової новизни, обґрунтованістю отриманих результатів, їх теоретичною та практичною значущістю дисертаційна робота відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року, а також чинним вимогам до оформлення дисертацій.

Автор дисертації, Фалькевич Віталій Геннадійович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

### **ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ:**

доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри програмних засобів  
Національного університету  
«Запорізька політехніка»

