

## РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Фалькевича Віталія Геннадійовича

на тему «Методологія проектування високонавантажених вебсистем:

архітектура, кешування та оптимізація»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки

**Актуальність теми дисертації.** Дисертаційна робота спрямована на дослідження та розв'язання актуальних науково-практичних питань, пов'язаних із формуванням методологічних і архітектурних підходів до проектування високонавантажених вебсистем, що функціонують у мікросервісних і мультифронтендних середовищах.

Сучасний етап розвитку вебтехнологій супроводжується ускладненням прикладного програмного забезпечення, зростанням кількості одночасних користувачів та підвищенням вимог до масштабованості, продуктивності й надійності вебсистем. Це зумовлює необхідність ефективної організації взаємодії між клієнтськими та серверними компонентами, впровадження дієвих механізмів кешування та оптимізації інфраструктурних процесів.

Активне застосування мікросервісних архітектур, патерну Backend for Frontend (BFF) і сучасних практик безперервної інтеграції та розгортання програмного забезпечення (CI/CD) породжує нові виклики, пов'язані з управлінням міжкомпонентними залежностями, забезпеченням консистентності даних і зростанням інфраструктурних витрат.

Отже, дисертація, що надана на рецензування повністю відповідає сучасним потребам науки та практики, має високу інноваційну складову, а результати дослідження мають реальний потенціал для впровадження у вебсистеми різного масштабу та складності.

**Формулювання наукової задачі, мети й задач дослідження.** Метою дисертаційного дослідження є розробка методології проектування високонавантажених вебсистем з урахуванням архітектурних патернів, підходів до кешування та інфраструктурної оптимізації.

Для досягнення поставленої мети в дисертації сформульовано та виконано наступні задачі. Було досліджено застосування архітектурних патернів проектування у високонавантажених вебдодатках для вирішення проблем агрегації даних та реалізації механізмів контролю доступу. Розвинуто архітектурний патерн BFF для підтримки одночасної взаємодії з REST і GraphQL,

агрегації даних з різноманітних джерел, масштабованості та розділення прав доступу. Зокрема, виконано аналіз методів та підходів до кешування даних у вебсистемах з мікросервісною архітектурою. Крім того, розроблено концепцію декларативного керування кешем у вебсистемах з мікросервісною архітектурою, що забезпечує автономне керування кешем на основі формалізованих правил з метою підтримки консистентності даних та зменшення зв'язаності у системах з мікросервісною архітектурою. Розроблено архітектурні підходи до побудови мультифронтендного середовища в межах монорепозиторіїв, за рахунок структуризації спільних і брендкових компонентів, контролю залежностей та ізоляції середовищ. Також було розроблено методики оптимізації CI/CD-процесів у багатокомпонентних вебсистемах, для скорочення часу розгортання та зменшення навантаження на інфраструктуру.

Об'єктом дослідження виступає процес проектування розподілених, масштабованих, мультифронтендних вебсистем з мікросервісною архітектурою.

Предметом дослідження є моделі, методи та архітектурні підходи до проектування високонавантажених вебсистем, які охоплюють способи організації взаємодії фронтенд- і бекенд-компонентів, підходи до кешування даних, методи оптимізації обчислювальних та інфраструктурних процесів, зокрема CI/CD, у розподілених мультифронтендних вебсистемах з мікросервісною архітектурою.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Наукова новизна отриманих в дисертаційній роботі результатів 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 брендкових 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 багатокомпонентних 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.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в можливості використання запропонованих методів та архітектурних підходів у процесі проєктування і реалізації надійних, масштабованих, високопродуктивних і безпечних вебсистем, що відповідають сучасним вимогам розвитку галузі. Результати дослідження доцільно застосовувати при створенні високонавантажених вебсистем із підвищеними вимогами до швидкодії та цілісності клієнтського стану, під час організації процесів розгортання в межах великих команд розробників, зокрема у мультибрендових і мультифронтендних проєктах, при впровадженні систем кешування в мікросервісних архітектурах, а також для підвищення ефективності використання обчислювальних ресурсів CI/CD-інфраструктури в умовах обмежених потужностей або зростання вартості виконання.

**Оцінка змісту дисертації та її основних положень.** Структура дисертаційної роботи є логічною та послідовною і включає вступ, чотири розділи, висновки, перелік використаних джерел і додатки.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної тематики, сформульовано мету і завдання дослідження, визначено об'єкт і предмет, а також висвітлено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів.

У першому розділі здійснено ґрунтовний огляд і аналіз сучасних підходів до проєктування високонавантажених вебсистем. Розглянуто еволюцію архітектурних рішень, особливості застосування патерну Backend for Frontend (BFF), підходи до організації кешування даних, а також інфраструктурні аспекти реалізації CI/CD у мікросервісних і мультифронтендних середовищах. За результатами аналізу окреслено ключові проблеми та напрямки подальших досліджень.

Другий розділ присвячено розробці та обґрунтуванню архітектури взаємодії клієнтських і серверних компонентів на основі патерну BFF. У розділі проаналізовано задачі агрегації даних у мікросервісних системах, розглянуто обмеження наявних інтеграційних рішень і запропоновано архітектурний підхід із використанням фабрики API-провайдерів та централізованого API-шлюзу. Наведені положення мають як теоретичну, так і прикладну цінність.

У третьому розділі досліджено проблему узгодженості кешованих даних у високонавантажених вебсистемах. Запропоновано декларативний підхід до інвалідації кешу, спрямований на зменшення міжсервісних залежностей і

спрощення масштабування системи. Розглянуто особливості застосування запропонованого підходу в умовах мікросервісної архітектури.

Четвертий розділ присвячений практичним аспектам побудови мультифронтендної інфраструктури та оптимізації CI/CD-процесів. У розділі розглянуто підходи до організації монорепозиторіїв, оптимізації процесів збирання та розгортання, а також використання механізмів кешування артефактів і контейнерних образів. Наведено аналіз ефективності різних стратегій виконання CI/CD-пайплайнів.

Висновки роботи узагальнюють результати дослідження, демонструють досягнення поставленої мети та повноту розв'язання визначених завдань. Зміст дисертації повністю відповідає заявленій темі, підтверджує наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів.

**Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.** За темою дисертації опубліковано 6 наукових публікацій, серед яких: 3 статті опубліковані у наукових виданнях, які включені до Переліку наукових фахових видань України та визнаються як фахові з комп'ютерних наук, серед яких 1 стаття у періодичному науковому журналі, що індексується у наукометричній базі Scopus; 1 тези доповідей у міжнародному збірнику матеріалів науково-технічної конференції; 1 наукова стаття у збірнику матеріалів конференції, що входить до наукометричної бази Scopus; 1 стаття у науковому фаховому виданні України з програмної інженерії.

#### **Дискусійні положення та зауваження до дисертації.**

Поряд із позитивною оцінкою дисертаційної роботи, доцільно висловити окремі зауваження, що мають рекомендаційний характер і не знижують загального рівня наукової цінності дослідження.

1. Запропонована в другому розділі архітектура на основі патерну BFF є логічно обґрунтованою, однак її основні положення подано переважно концептуально. Доцільним було б доповнити виклад узагальненими UML-діаграмами класів і діаграмами послідовностей, що дозволило б чіткіше формалізувати взаємодію компонентів системи.

2. У підрозділі 3.2 недостатньо детально розкрито роль структурної моделі зв'язків між мікросервісами та кешованими даними, а також її вплив на забезпечення консистентності даних у складних системах. Теоретична значущість запропонованого підходу була б вищою за умови додаткової формалізації цієї моделі, що дозволило б представити механізм декларативної інвалідації кешу в більш узагальненому вигляді.

3. Для запропонованого декларативного підходу до інвалідації кешу у роботі не наведено теоретичної оцінки накладних витрат ресурсів у загальному випадку, без прив'язки до конкретного технологічного стеку та мови програмування.

4. При описі методів оптимізації CI/CD процесів у четвертому розділі автор наводить достатньо переконливі дані щодо прискорення збірки програмних продуктів у монорепозиторії. Водночас, роботу суттєво посилило б глибше теоретичне обґрунтування цих результатів через формалізацію процедур мінімізації критичного шляху на графі залежностей завдань, що дозволило б розглядати запропоновану методику як універсальну аналітичну модель.

5. У тексті дисертації трапляються окремі стилістичні, синтаксичні неточності, орфографічні помилки, які не впливають на загальне сприйняття змісту роботи.

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

**Висновок про дисертаційну роботу.** Дисертація Фалькевича Віталія Геннадійовича на тему «Методологія проектування високонавантажених вебсистем: архітектура, кешування та оптимізація», виконана з метою здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки», становить завершене самостійне наукове дослідження, у якому розв'язано актуальну науково-практичну проблему, важливу для подальшого розвитку прикладних вебсистем. За своїм науковим рівнем, новизною отриманих результатів, ступенем їх обґрунтованості та теоретичною й практичною значущістю робота відповідає вимогам чинних нормативно-правових актів України щодо присудження ступеня доктора філософії та встановленим вимогам до оформлення дисертацій. Автор заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

**РЕЦЕНЗЕНТ:**

кандидат технічних наук,  
доцент кафедри програмної інженерії,  
Запорізький національний університет



Юлія ЛИМАРЕНКО