

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

кандидата фізико-математичних наук,
доцента кафедри Загальноосвітніх, гуманітарних та природничих дисциплін,
секція вищої математики і математичного моделювання
Херсонського національного технічного університету
Астіоненко Ігоря Олександровича
на дисертацію Гнєздовського Олексія Валентиновича
«Відкрита об'єктно-орієнтована архітектура систем скінченно-елементного
аналізу», яку подано на здобуття наукового ступеня
доктора філософії зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

Ступінь актуальності обраної теми

Дисертаційну роботу присвячено вирішенню актуальної науково-технічної задачі розробки об'єктно-орієнтованої архітектури систем скінченно-елементного аналізу.

Сьогодні найпоширенішим підходом до вирішення широких класів крайових задач є метод скінченних елементів. Практичне застосування даного методу без використання комп'ютерів і пов'язаних з ним математичних і програмних засобів є фактично неможливим, тому сьогодні розроблено велику кількість програмного забезпечення, призначеного для автоматизації чисельних обчислень за допомогою МСЕ. Серед найпопулярніших систем скінченно-елементного аналізу відзначають такі програмні продукти: Abaqus, Ansys, COMSOL, dial.II, DIANA FEA, FreeFEM. Кількість і різноманітність цього програмного забезпечення швидко зростає, оскільки нові типи матеріалів (композити, функціонально-градієнтні матеріали тощо) і нові комп'ютерні архітектури (багатопроцесорні системи зі спільною або розподіленою пам'яттю) все частіше використовуються на практиці. Як наслідок, продуктивне використання існуючих комп'ютерів і розгляд нових конструкційних матеріалів вимагає створення нового програмного забезпечення скінченно-елементного

аналізу.

Отже, можна зробити висновок про те, що обрана здобувачем тема дисертаційної роботи є актуальною і такою, що має суттєву значущість для вирішення важливої науково-технічної задачі у галузі комп'ютерних наук і повністю відповідає спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

Структура роботи

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Вступ до дисертаційної роботи детально обґрунтовує актуальність дослідження, визначає зв'язок роботи з науково-дослідними темами Запорізького національного університету, де виконувалася дисертація, формулює її мету та завдання, визначає об'єкт, предмет та методи дослідження, а також описує наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Крім того, у вступі наведено інформацію про практичне використання результатів роботи, визначається особистий внесок здобувача, містяться дані про апробацію результатів дослідження та їх висвітлення у наукових публікаціях.

Перший розділ дисертації присвячено аналізу стану проблеми за тематикою роботи. Він розпочинається з огляду сучасних систем скінченно-елементного моделювання і аналізу поточного стану досліджень заявленої предметної області. Цей аналіз дозволив автору виявити відкриті питання та рівень важливості вирішення цих питань, а також сформулювати мету й основні завдання дисертаційного дослідження.

У **другому розділі** розглянуто питання, пов'язані з відкритою архітектурою систем скінченно-елементного аналізу крайових задач. Було розглянуто найбільш поширені на сьогодні при розробці таких програм архітектурні шаблони. Особлива увага у другому розділі присвячена реалізації повнофункціональної об'єктно-орієнтованої бібліотеки скінченно-елементного

розрахунку.

Третій розділ дисертаційної роботи присвячено практичній реалізації відкритої об'єктно-орієнтованої архітектури скінченно-елементного моделювання. В розділі обґрунтовується застосування основних патернів розробки наукового програмного забезпечення. Розглянуто проектування класів для інкапсуляції різних типів скінченних елементів. Завершується розділ описом інтерфейсу бібліотеки PyFEM.

У **четвертому розділі** наводяться обчислювальні експерименти та приклади застосування бібліотеки скінченно-елементного аналізу для різних типів задач.

Висновки по роботі узагальнюють основні отримані в дисертаційному дослідженні результати.

Дисертація в цілому є структурно та змістовно збалансованою роботою. Послідовність викладення її положень є логічною і такою, що побудована у відповідності з науковим методом.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій та їх достовірність

Ступінь обґрунтованості та достовірності результатів дисертаційного дослідження не викликає сумнівів, оскільки вона забезпечується:

- коректністю обраної методології дослідження;
- аналізом сучасного стану досліджень в заявленій предметній області, комплексним застосуванням теоретичних та експериментальних методів дослідження;
- експериментальним доведенням ефективності запропонованої методики;
- адекватною добіркою використаних літературних джерел.

Наукова новизна отриманих результатів

При виконанні дисертаційної роботи отримано такі наукові результати:

вперше запропоновано ієрархічну об'єктно-орієнтовану архітектуру систем скінченно-елементного аналізу, яка на відміну від наявних аналогів дозволяє легко додавати нові типи розрахунків (статика, динаміка, фізична нелінійність) та враховувати геометричні особливості конструкцій, що розраховуються;

вперше програмно реалізовано на мові Python система скінченно-елементного аналізу, яка базується на запропонованій архітектурі і може виконувати розрахунок широкого кола задач в статичній та динамічній постановці;

вперше отримано чисельні розрахунки певних класів крайових задач;

отримали подальший розвиток алгоритми розв'язання крайових задач методом скінченних елементів, що базуються на запропонованій об'єктно-орієнтованій архітектурі.

Отримані нові результати, у сукупності, розв'язують актуальну науково-технічну проблему: запропонована архітектура систем скінченно-елементного аналізу дозволяє істотно підвищити продуктивність програмної реалізації відповідного програмного забезпечення.

Значущість результатів дослідження для науки і практики та можливі шляхи їх використання

Наукова та практична значущість результатів дисертаційного дослідження підтверджується тим фактом, що розроблені підходи дозволяють значно підвищити якість програмної реалізації систем скінченно-елементного аналізу в паралельних обчислювальних системах.

Розроблений програмний засіб *ryfet* дає можливість автоматизувати всі етапи практичного використання методу скінченних елементів – генерацію

дискретних геометричних моделей, чисельний розрахунок та візуалізацію чисельних результатів.

Повнота викладу результатів дослідження у наукових публікаціях

Основні наукові результати роботи в повному обсязі викладені у 7 публікаціях, що відповідає п. 11 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії. Особистий внесок здобувача у ці публікації є суттєвим, що наведено у дисертації. Серед цих робіт одна стаття у виданні, яке індексується у наукометричній базі Scopus; три опубліковані у виданнях, що належать до категорії Б; а також три тези доповідей на науково-практичних конференціях.

Наукові результати, що отримані у дисертаційній роботі, також були апробовані та отримали позитивну оцінку на всеукраїнських та міжнародних наукових конференціях.

Академічна доброчесність

Очевидних ознак порушення автором академічної доброчесності, зокрема випадків оприлюднення, частково або повністю, наукових результатів, отриманих іншими особами, як результатів власного дослідження та/або відтворення опублікованих текстів інших авторів без зазначення їх авторства, не виявлено.

Відповідність дисертації вимогам, передбаченим пунктом 10 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії

Дисертацію подано у вигляді спеціально підготовленої кваліфікаційної наукової праці на правах рукопису, що виконувалася здобувачем особисто. Дисертація містить наукові положення, нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати проведених здобувачем досліджень, що мають істотне значення для галузі комп'ютерних наук. Це ґрунтовно підтверджено публікаціями, що розкривають основний зміст роботи. Дисертація свідчить про

суттєвий особистий внесок здобувача в науку та характеризується єдністю змісту. Все вищезазначене дає змогу зробити висновок про відповідність роботи вимогам п. 10 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії.

Дисертацію оформлено у відповідності до вимог Міністерства освіти і науки України (Наказ № 40 від 12.01.2017 із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства освіти і науки № 759 від 31.05.2019).

Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації

Загалом, позитивно оцінюючи наукове і практичне значення отриманих дисертантом результатів, варто відзначити наступні дискусійні положення і зауваження до змісту дисертаційної роботи.

1. У другому розділі дисертації велика увага приділена алгоритмам побудови скінченно-елементних сіток. Проте, в подальшому практична реалізація такої підсистеми наведена дуже стисло.

2. При застосуванні об'єктно-орієнтованого проєктування складних програмних систем зазвичай застосовують парадигму SOLID, використання якої дозволяє істотно підвищити надійність програмного забезпечення. На думку опонента, в роботі було б доцільно розглянути питання імплементації SOLID принципів у розроблену систему скінченно-елементного аналізу.

3. Останнім часом набули поширення багатопроцесорні архітектури. Отже, було б доцільно розглянути можливість паралельної реалізації запропонованої програмної системи скінченно-елементного аналізу.

4. В тексті дисертації наявна певна кількість орфографічних та стилістичних помилок, яка, втім, не є критичною.

Загальний висновок

Зазначені зауваження та рекомендації не впливають на загальну позитивну оцінку представленого наукового дослідження. Вважаю, що

дисертація на тему «Відкрита об'єктно-орієнтована архітектура систем скінченно-елементного аналізу» є завершеною самостійною науковою роботою, яка містить нові обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, що мають істотне значення для галузі комп'ютерних наук і за актуальністю, змістом, науковою новизною, обґрунтованістю висновків, достовірністю і значущістю відповідає вимогам «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженому Постановою Кабінету Міністрів України № 167 від 6 березня 2019 р., а її автор, Гнєздовський Олексій Валентинович, за результатами публічного захисту наукових досліджень у формі дисертації, на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ:

Кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри Загальноосвітніх, гуманітарних
та природничих дисциплін, секція
вищої математики і математичного моделювання
Херсонського національного
технічного університету

I.O. Астіоненко