

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0824U001948

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 20-05-2024

Статус: Запланована

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



## II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Калюжняк Анастасія Вікторівна

2. Anastasia V. Kalyuzhnyak

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 122

Назва наукової спеціальності: Комп'ютерні науки

Галузь / галузі знань: інформаційні технології

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: 122 Комп'ютерні науки

Дата захисту: 30-04-2024

Спеціальність за освітою: Комп'ютерні науки

Місце роботи здобувача:

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження:

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

### **III. Відомості про організацію, де відбувся захист**

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** ДФ 17.051.092

**Повне найменування юридичної особи:** Запорізький національний університет

**Код за ЄДРПОУ:** 02125243

**Місцезнаходження:** вул. Жуковського, буд. 66, Запоріжжя, Запорізький р-н., 69600, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### **IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію**

**Повне найменування юридичної особи:** Запорізький національний університет

**Код за ЄДРПОУ:** 02125243

**Місцезнаходження:** вул. Жуковського, буд. 66, Запоріжжя, Запорізький р-н., 69600, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 81.14.10.05

**Тема дисертації:**

1. Функціональне геометричне моделювання в розподілених комп'ютерних системах
2. Functional geometric modeling in distributed computer systems

**Реферат:**

1. Дисертаційна робота присвячена розробці функціонального підходу геометричного моделювання з використанням паралелізації, яка може бути використана для побудови дискретних об'єктів в розподілених комп'ютерних системах, та застосована при розробці як в автоматизованих, так і в спеціалізованих системах геометричного моделювання. На даний час автоматизація процесів роботи програмного забезпечення призводить до необхідності розв'язку задач побудови геометричних моделей та паралелізації для пришвидшення продуктивності систем та подальшого супроводу в майбутньому. Актуальні задачі, які постають перед розробниками та інженерами, це проведення випробувань дослідних зразків складних технічних систем шляхом заміни фізичних випробувань на віртуальний експеримент. Це дозволить, зменшити витрати на натурні експерименти, ресурси, час на проектування. З наявних на даний час систем неможливо, на жаль, отримати точно та якісно побудовані 3D моделі, що потребує розробки відповідного програмного забезпечення з використанням паралелізації та методу «Маршируючих кубів». Застосування математичного моделювання дозволяє замінити дороге дослідження зразків продукції аналізом

математичних відношень. В таких галузях як ракетобудівництво, суднобудівництво, будівництво, медицина і машинобудівництво, об'єкти мають складні форми, які повинні враховуватися в математичних моделях. Дані об'єкти можна представити обмеженими та замкненими підмножинами евклідового простору. Хоча сьогодні існує безліч способів формального опису математичних моделей складної форми таких як: твердотільне геометричне моделювання та каркасне моделювання, одним з найбільш універсальних методів є функціональний підхід (FREP – Functional Representation) у представленні форм геометричних об'єктів. В основі даного підходу лежить ідея використання неявних функцій разом з R- функціями В. Л. Рвачова для моделювання складних форм. R-функції допомагають перетворити побудову складної неявної функції на логічне конструювання із «легких блоків», зберігаючи всю виразність математичної мови. Необхідно виділити логічний рівень сучасних обчислювальних компонентів, які використовуються в гранично-елементному аналізі, та в свою чергу поділяються на окремі підсистеми: 1) препроцесор – це підсистема, яка виконує функцію автоматизації проектування математичної дискретної моделі об'єкту; 2) процесор, який являється ядром програми, та реалізовує числовий розрахунок завдання за допомогою методів скінченних елементів; 3) постпроцесор – реалізовує автоматичний аналіз числових результатів, а також їх візуалізацію. Тобто, проблема проектування систем побудови математичних моделей з відкритим програмним кодом, та використання можливостей паралельних архітектур комп'ютерних систем, є актуальною. Також необхідно враховувати той факт, що можливості обчислювальної техніки постійно змінюються (широке застосування мають багатопроцесорні системи), тому потрібно брати до уваги можливість застосування більш нових типів матеріалів для роботи з пам'яттю. Крім того, задля ефективного використання наявних сучасних мультипроцесорів та комп'ютерів потрібно розробляти паралельні реалізації уже відомих алгоритмів скінченно-елементного аналізу. На сьогодні найбільш поширені паралельні комп'ютери діляться на наступні класи: 1) мультикомп'ютери, які виступають обчислювальними системами, і є об'єднаними в мережу окремими комп'ютерами та 2) мультипроцесори, які являються обчислювальними системами зі спільною пам'яттю та кількома процесорами чи одним процесором, але з багатьма ядрами. Програмна реалізація паралельних варіантів в даних системах істотно відрізняється, так як, в мультипроцесорах завдяки присутності спільної пам'яті не має необхідності реалізовувати інтерфейс синхронізації даних. До найбільш поширених алгоритмів побудови математичних моделей за допомогою функціонального підходу та можливості реалізації паралельного варіанту належать: 1) «Маршируючі тетраедри б»; 2) «Маршируючі призми»; 3) «Маршируючі октаєдри»; 4) «Маршируючі куби». Враховуючи те, що з одного боку в даних алгоритмах похибка та швидкість апроксимації відрізняється несуттєво та з іншого, що на вибір алгоритму впливає якість та кількість трикутників при розбитті, було прийнято рішення використовувати алгоритм «Маршируючих кубів». Більшість наявних програм побудови геометричних об'єктів реалізовано мовами C та C++ через наявність відповідних сучасних бібліотек паралельного програмування OpenMP та MPI. Тому, задля практичного рішення завдання та створення програми, яка б, з одного боку, якісно будувала математичну 3D модель, а з іншого боку, з найменшими затратами часу та підтримкою легкого внесення змін для збільшення функціональності в майбутньому, було прийнято рішення використовувати дані мови програмування. Тобто реалізувати ПЗ, написане мовами C/C++, з високою якістю та швидкістю побудови моделей і супроводу функціоналу.

2. The dissertation is devoted to the development of a functional approach to geometric modeling using parallelization, which can be used to build discrete objects in distributed computer systems, and is used in the development of both automated and specialized geometric modeling systems. Currently, the automation of software work processes leads to the need to solve the problems of building geometric models and parallelization to speed up the performance of systems and further support in the future. The actual tasks faced by developers and engineers are testing prototypes of complex technical systems by replacing physical tests with a virtual experiment. This will allow to reduce the costs of field experiments, resources, and design time. Unfortunately, it is impossible to obtain accurately and qualitatively constructed 3D models from the currently available systems, which requires the development of appropriate software using parallelization and the "Marching Cubes" method. The use of mathematical modeling makes it possible to replace the expensive study of product samples with the

analysis of mathematical relationships. In industries such as rocketry, shipbuilding, construction, medicine, and mechanical engineering, objects have complex shapes that must be accounted for in mathematical models. These objects can be represented by bounded and closed subsets of the Euclidean space. Although today there are many ways of formally describing mathematical models of complex shape, such as: solid geometric modeling and wireframe modeling, one of the most universal methods is the functional approach (FREP - Functional Representation) in representing the shapes of geometric objects. The basis of this approach is the idea of using implicit functions together with R-functions of VL Rvachev for modeling complex forms. R-functions help turn the construction of a complex implicit function into a logical construction from "light blocks", preserving all the expressiveness of the mathematical language. It is necessary to distinguish the logical level of modern computing components used in finite element analysis, which in turn are divided into separate subsystems: 1) the preprocessor is a subsystem that performs the function of automating the design of a mathematical discrete model of an object; 2) the processor, which is the core of the program, and implements the numerical calculation of the task using finite element methods; 3) post-processor - implements automatic analysis of numerical results, as well as their visualization. That is, the problem of designing systems for building mathematical models with open software code and using the possibilities of parallel architectures of computer systems is relevant. It is also necessary to take into account the fact that the capabilities of computing technology are constantly changing (multiprocessor systems are widely used), so it is necessary to take into account the possibility of using newer types of materials for working with memory. In addition, in order to effectively use existing modern multiprocessors and computers, it is necessary to develop parallel implementations of already known finite element analysis algorithms. Today, the most common parallel computers are divided into the following classes: 1) multicomputers, which act as computing systems, and are individual computers connected to a network, and 2) multiprocessors, which are computing systems with shared memory and multiple processors or one processor but with many cores. The software implementation of parallel options in these systems is significantly different, since in multiprocessors, due to the presence of shared memory, there is no need to implement a data synchronization interface. The most common algorithms for building mathematical models using the functional approach and the possibility of implementing a parallel variant include: 1) "Marching tetrahedra 6"; 2) "Marching prisms"; 3) "Marching Octahedrons"; 4) "Marching cubes". Taking into account that, on the one hand, the error and speed of approximation in these algorithms differ insignificantly, and on the other hand, that the choice of the algorithm is influenced by the quality and number of triangles during the breakdown, it was decided to use the "Marching Cubes" algorithm. Most of the existing programs for constructing geometric objects are implemented in the C and C++ languages due to the availability of the corresponding modern OpenMP and MPI parallel programming libraries. Therefore, for the practical solution of the task and the creation of a program that would, on the one hand, qualitatively build a mathematical 3D model, and on the other hand, with the least amount of time and support for easy changes to increase functionality in the future, it was decided to use these programming languages. That is, to implement software written in C/C++ languages, with high quality and speed of building models and supporting functionality.

**Державний реєстраційний номер ДіР:** 0121U114694

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:** Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави

**Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:** Не застосовується

**Підсумки дослідження:** Теоретичне узагальнення і вирішення важливої наукової проблеми

**Публікації:**

- Калюжняк А. В., Гоменюк С. І. «Застосування функціонально-геометричного моделювання в комп'ютерних системах». Colloquium-journal. 2021. Вип. 27. С. 51-55.
- Гоменюк С. І., Калюжняк А. В. «Сучасні методи моделювання геометричних об'єктів у комп'ютерних системах». Computer Science and Applied Mathematics. 2021. Вип.1. С. 45-51.
- Калюжняк А. В. Мильцев О. М. «Застосування бібліотеки MPI для обчислення алгоритму «Маршируючих кубів». Computer Science and Applied Mathematics. 2022. Вип. 2. С. 72-78
- Калюжняк А. В. «Підвищення ефективності обчислень в розподілених комп'ютерних системах за допомогою бібліотеки MPI». Прикладні питання математичного моделювання. 2023. Том 6. Вип. 1. С. 66-73.

**Наукова (науково-технічна) продукція:**

**Соціально-економічна спрямованість:**

**Охоронні документи на ОПВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Впроваджено

**Зв'язок з науковими темами:** 0121U114694

## **VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Гоменюк Сергій Іванович

2. Sergiy I. Gomenyuk

**Кваліфікація:** д.т.н., професор, 05.13.12

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Запорізький національний університет

**Код за ЄДРПОУ:** 02125243

**Місцезнаходження:** вул. Жуковського, буд. 66, Запоріжжя, Запорізький р-н., 69600, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

## **VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів**

**Офіційні опоненти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Субботін Сергій Олександрович

2. Sergiy O. Subbotin

**Кваліфікація:** д.т.н., професор, 05.13.23

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-5814-8268

**Додаткова інформація:****Повне найменування юридичної особи:** Національний університет "Запорізька політехніка"**Код за ЄДРПОУ:** 02070849**Місцезнаходження:** вул. Жуковського, буд. 64, Запоріжжя, Запорізький р-н., 69063, Україна**Форма власності:** Державна**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України**Ідентифікатор ROR:****Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Астіоненко Ігор Олександрович

2. Igor O. Astionenko

**Кваліфікація:** к. ф.-м. н., доц., 01.05.02**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-5831-6353**Додаткова інформація:****Повне найменування юридичної особи:** Херсонський національний технічний університет**Код за ЄДРПОУ:** 05480298**Місцезнаходження:** Бериславське шосе, буд. 24, Херсон, 73008, Україна**Форма власності:** Державна**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України**Ідентифікатор ROR:****Рецензенти****Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Лісняк Андрій Олександрович

2. Andriy O. Lisnyak

**Кваліфікація:** к. ф.-м. н., доц., 01.05.02**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-9669-7858**Додаткова інформація:****Повне найменування юридичної особи:** Запорізький національний університет**Код за ЄДРПОУ:** 02125243**Місцезнаходження:** вул. Жуковського, буд. 66, Запоріжжя, Запорізький р-н., 69600, Україна**Форма власності:** Державна**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України**Ідентифікатор ROR:****Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Кудін Олексій Володимирович

2. Oleksii V. Kudin

**Кваліфікація:** к. ф.-м. н., доц., 01.05.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-5917-9127

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Запорізький національний університет

**Код за ЄДРПОУ:** 02125243

**Місцезнаходження:** вул. Жуковського, буд. 66, Запоріжжя, Запорізький р-н., 69600, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

## VIII. Заключні відомості

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
голови ради**

Гребенюк Сергій Миколайович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
головуючого на засіданні**

Гребенюк Сергій Миколайович

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

Дребезов Денис Олегович

**Реєстратор**

УкрІНТЕІ

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є  
відповідальним за реєстрацію наукової  
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна