

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0824U002586

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 15-07-2024

Статус: Відмінена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



## II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Гомозкова Ірина Олександрівна

2. Iryna Homozkova

Кваліфікація: 113

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-1524-170X

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 113

Назва наукової спеціальності: Прикладна математика

Галузь / галузі знань: математика та статистика

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Прикладна математика

Дата захисту: 02-09-2024

Спеціальність за освітою: 113 Прикладна математика

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 64.050.154-6595

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

**Код за ЄДРПОУ:** 02071180

**Місцезнаходження:** вул. Кирпичова, буд. 2, Харків, Харківський р-н., 61002, 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:** Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

**Код за ЄДРПОУ:** 02071180

**Місцезнаходження:** вул. Кирпичова, буд. 2, Харків, Харківський р-н., 61002, Україна

**Форма власності:** Державна

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

**Ідентифікатор ROR:**

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 30.15.23, 30.15.31, 30.15.41

**Тема дисертації:**

1. Моделі і методи дослідження алгоритмів орієнтації для високодинамічних об'єктів
2. Models and methods of research of orientation algorithms for high-dynamic objects

**Реферат:**

1. Метою дисертаційної роботи є удосконалення математичного моделювання обертального руху твердого тіла за рахунок узагальнення методу аналітичних еталонних моделей, який базується на евристичному представленні кватерніона орієнтації у вигляді суперпозиції тригонометричних функцій лінійних кутів. Об'єкт дослідження – визначення орієнтації в безплатформених інерціальних системах орієнтації. Предмет дослідження – моделювання обертального руху твердого тіла з використанням апарату кватерніонів і аналітичної механіки. У вступі доведено актуальність розробки моделей, які відтворюють специфічні типи кутового руху та оптимізації алгоритмів визначення орієнтації під такий рух об'єктів. Наведено зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами, описано наукову новизну, представлено практичне значення отриманих результатів, надано інформацію щодо особистого внеску здобувача, представлено перелік

публікацій за темою дисертації. У першому розділі детально описано принципи роботи обчислювального блоку безплатформених інерціальних навігаційних систем, шлях їх розвитку та порівняння з іншими видами навігаційних систем. Наведено класифікацію існуючих алгоритмів визначення орієнтації. Перераховано джерела помилок, які виникають в таких системах та методи їх компенсації. Проаналізовано існуючі методи моделювання та тестування роботи обчислювального блоку. Обґрунтовано доцільність оптимізації безплатформених систем навігації під характеристики руху сучасних об'єктів. У другому розділі описано принципи, за якими виконується математичне моделювання роботи обчислювального блоку безплатформених систем навігації. Перераховано вимоги, які висуваються до таких моделей, враховуючи їх залежність від ступенів вільності об'єкта, який обертається. Сформовано основні задачі дисертаційної роботи та методи їх розв'язку. Побудовано нові еталонні моделі, які реалізують обертальний рух об'єкта та шляхом чисельного моделювання доведено, що кожна з них реалізує унікальні характеристики кутового руху, відмінні від класичних. Отримано розв'язки відповідних кінематичних рівнянь та системи динамічних рівнянь Ейлера. Останні грають важливу роль у задачах керування та переорієнтації об'єктів. У третьому розділі проведено оцінку точності роботи двох алгоритмів визначення орієнтації 4-го порядку точності. На основі отриманого результату, для подальшої реалізації обрано алгоритм Міллера. Знайдено нові значення параметрів цього алгоритма, за яких похибка дрейфу є меншою, ніж за класичних значень. Описано фактори, які призводять до зменшення фактичної точності алгоритма в порівнянні з математичною. Досліджено значення модулів кутової швидкості для розроблених моделей обертового руху, за яких досягається обрана точність алгоритма визначення орієнтації. У четвертому розділі сформовано чіткі характеристики високоманевреного об'єкта та доведено, що одна з розроблених моделей дозволяє відтворювати такий тип руху. Для цієї моделі знайдено ще один набір параметрів алгоритма Міллера, які у випадку високої швидкості обертання пристрою дають похибку дрейфа, меншу на 10<sup>-7</sup> рад порівняно з класичними значеннями параметрів ( $\rho=33/80$ ;  $\rho=57/80$ ). Доведено, що нові чотирьохчастотні моделі враховують в собі вплив вібраційного оточення у вигляді гармонійних коливань. У п'ятому розділі описано програмний застосунок, розроблений для чисельної реалізації моделей. Написано програму мовою С++ з використанням елементів об'єктно-орієнтованого програмування. Вихідні дані автоматично записуються до Excel-файлу. В цьому ж файлі виконується побудова відповідних графіків залежностей. Перераховано основні вимоги для встановлення застосунку на кожному конкретному пристрої. Описано характеристики та обмеження вхідних умов, необхідних для реалізації обчислень. У висновках перераховано головні результати наукової роботи, які є розв'язками сформованих теоретичних та прикладних задач дослідження.

2. The aim of the dissertation work is an improvement of the mathematical modeling of the rotational motion of a rigid body due to the generalization of the method of analytical reference models, which is based on the heuristic representation of the orientation quaternion in the form of a superposition of trigonometric functions of linear angles. The object of research is determination in strapdown inertial orientation systems. The subject of research is the simulation of the rotational motion of a rigid body using the quaternion apparatus and analytical mechanics. The introduction proves the relevance of developing models that reproduce specific types of angular movement and optimizing algorithms for determining the orientation for such movement of objects. The connection of the work with scientific programs, plans and topics is given, scientific novelty is given, the practical significance of the obtained results is presented, information is provided about the personal contribution of the recipient, a list of publications on the topic of the dissertation is presented. The first chapter describes in detail the principles of operation of the computing unit of platformless inertial navigation systems, the way of their development and comparison with other types of navigation systems. The classification of existing orientation determination algorithms is presented. Sources of errors that occur in such systems and methods of their compensation are listed. The existing methods of modeling and testing the operation of the computing unit are analyzed. The expediency of optimizing platformless navigation systems for the characteristics of the movement of modern objects is substantiated, the numerical implementation of models in the form of trajectories in the configuration space and time dependencies is given. The second chapter describes the principles by which mathematical modeling of the computing unit of platformless navigation systems is performed. The requirements for such

models are listed, taking into account their dependence on the degrees of freedom of the rotating object. The main tasks of the dissertation have been formulated. New reference models have been built that realize the rotational motion of the object, and it has been proven through numerical simulation that each of them realizes unique characteristics of angular motion, different from the classical ones. The solutions of the corresponding kinematic equations and the Euler system of dynamic equations were obtained. The latter play an important role in the management and reorientation of objects. In the third section, the accuracy of two algorithms for determining the orientation of the 4th order of accuracy is evaluated. Based on the obtained result, Miller's algorithm was chosen for further implementation. New values of the parameters of this algorithm were found, for which the drift error is smaller than for classical values. The factors that lead to a decrease in the actual accuracy of the algorithm compared to the mathematical one are described. The values of the angular velocity modules, which achieve the chosen accuracy of the orientation determination algorithm, were studied for the developed angular motion models. In the fourth chapter, clear characteristics of a highly maneuverable object are formed and it is proved that one of the developed models allows to reproduce this type of movement. For this model, another set of parameters of the Miller algorithm was found, which in the case of a high rotation speed of the device give a drift error smaller compared to the classical parameter values. It has been proven that the new four-frequency models take into account the influence of the vibrating environment in the form of harmonic oscillations. The fifth chapter describes the software application developed for the numerical implementation of the models. The program was written in the C++ language using elements of object-oriented programming. The output data is automatically saved to an Excel file. In the same file, construction of the corresponding graphs of dependencies is performed. The basic requirements for installing the application on each specific device are listed. The characteristics and limitations of the input conditions necessary for the implementation of calculations are described. The conclusions list the main results of the scientific work, which are solutions to the formed theoretical and applied research problems.

### **Державний реєстраційний номер ДіР:**

**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:**

- Homozkova I. O., Plaksy Yu. A., Breslavsky D. V., Naumenko K. Closed-form quaternion representations for rigid body rotation: application to error assessment in orientation algorithms of strapdown inertial navigation systems. *Continuum mechanics and thermodynamics*. 2021. Vol. 33. P. 1141–1160
- Гомозкова І. О. Трьохчастотні моделі для визначення орієнтації твердого тіла з урахуванням вібраційного оточення. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Динаміка та міцність машин. Харків, 2021. №2. С. 29–36.
- Гомозкова І. О., Плаксі Ю. А. Аналіз точності алгоритма орієнтації Р. Міллера на чотирихчастотній еталонній моделі обертання твердого тіла. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. Харків, 2019. №22 (1347). С.82–88.
- Гомозкова І. О., Плаксі Ю. А. Нові двохчастотні еталонні моделі обертання твердого тіла для точного аналізу орієнтації БІНС. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. Харків, 2018. №27 (1303). С.93–99
- Гомозкова І. О., Плаксі Ю. А. Комп'ютерна програма для чисельної реалізації еталонних моделей та тестування алгоритмів визначення орієнтації «Точносний аналіз алгоритмів орієнтації на двохчастотних

еталонних моделях тестових рухів твердого тіла». Свідоцтво №123049 від 18.01.2024 про реєстрацію авторського права на твір

- Гомозкова І. О., Плаксій Ю. А., Трунов О. М. Комп'ютерна програма для чисельної реалізації еталонних моделей «Моделювання обертального руху твердого тіла на основі аналітичних представлень кватерніона орієнтації». Свідоцтво №101991 від 22.01.2021 про реєстрацію авторського права на твір

**Наукова (науково-технічна) продукція:** аналітичні розв'язки та моделі

**Соціально-економічна спрямованість:**

**Охоронні документи на ОПВ:**

Комп'ютерні програми

1 «Точносний аналіз алгоритмів орієнтації на двохчастотних еталонних моделях тестових рухів твердого тіла», свідоцтво №123049 від 18.01.2024 2 «Моделювання обертального руху твердого тіла на основі аналітичних представлень кватерніона орієнтації», свідоцтво №101991 від 22.01.2021

**Впровадження результатів дисертації:** Впроваджено

**Зв'язок з науковими темами:**

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

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Плаксій Юрій Андрійович
2. Yuriy A. Plaksiy

**Кваліфікація:** к. т. н., доц., 05.13.03

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-9487-8444

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

**Код за ЄДРПОУ:** 02071180

**Місцезнаходження:** вул. Кирпичова, буд. 2, Харків, Харківський р-н., 61002, 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. Аврутов Вадим Вікторович
2. Vadym V. Avrutov

**Кваліфікація:** д. т. н., доц., 05.11.03

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-3875-0646

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

**Форма власності:** Державна

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

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Мороз Борис Іванович

2. Boris I. Moroz

**Кваліфікація:** д.т.н., професор, 05.13.07

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-5625-0864

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет "Дніпровська політехніка"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070743

**Місцезнаходження:** проспект Дмитра Яворницького, буд. 19, Дніпро, Дніпровський р-н., 49005, Україна

**Форма власності:** Державна

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

**Ідентифікатор ROR:**

**Рецензенти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Андреев Юрій Михайлович

2. Yuri M. Andreev

**Кваліфікація:** д. т. н., 05.02.09

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-3213-8496

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

**Код за ЄДРПОУ:** 02071180

**Місцезнаходження:** вул. Кирпичова, буд. 2, Харків, Харківський р-н., 61002, Україна

**Форма власності:** Державна

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

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Некрасова Марія Володимирівна

2. Mariia V. Nekrasova

**Кваліфікація:** к.т.н., 05.11.03

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0009-0006-9285-0740

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

**Код за ЄДРПОУ:** 02071180

**Місцезнаходження:** вул. Кирпичова, буд. 2, Харків, Харківський р-н., 61002, Україна

**Форма власності:** Державна

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

**Ідентифікатор ROR:**

## VIII. Заключні відомості

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

Успенський Валерій Борисович

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

Успенський Валерій Борисович

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

Гомозкова Ірина Олександрівна

**Реєстратор**

УкрІНТЕІ

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



Юрченко Тетяна Анатоліївна