# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

**Державний обліковий номер:** 0824U001484

**Особливі позначки:** відкрита

**Дата реєстрації:** 10-04-2024

**Статус:** Наказ про видачу диплома

**Реквізити наказу МОН / наказу закладу:**

## II. Відомості про здобувача

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Сурганова Юлія Едуардівна
2. Yuliia Surhanova

**Кваліфікація:** 113

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-6540-3025

**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:** 23-05-2024

**Спеціальність за освітою:** комп'ютерні науки

**Місце роботи здобувача:** 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:**

## III. Відомості про організацію, де відбувся захист

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** ДФ 64.050.136-5276

**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:** 30.15.27, 27.29.23, 27.29.27, 27.41.

**Тема дисертації:**

1. Дослідження нелінійних нормальних форм коливань пов’язаних маятників під дією магнітних сил

2. Study of nonlinear vibration normal modes of coupled pendulums under the influence of magnetic forces

**Реферат/анотація:**

1. Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної наукової задачі, а саме, дослідження, що включає в себе побудову та аналіз стійкості нелінійних нормальних форм коливань в системі пов’язаних маятників у магнітному полі, коли маси маятників значно відрізняються. Метою дисертаційної роботи є дослідження нелінійних нормальних форм в суттєво нелінійній системі з двома степенями свободи, що знаходяться під впливом магнітних сил при умові, що інерційні компоненти маятників суттєво відрізняються. Об'єкт дослідження – нелінійна динаміка маятникових систем під впливом магнітного збудження. Предмет дослідження – побудова нелінійних нормальних форм коливань маятникової системи; аналіз їх стійкості та впливу зміни параметрів системи на форми коливань. У вступі обґрунтовано актуальність теми дослідження, зазначено використані методи, мету і завдання дослідження відповідно до предмета, об’єкта дослідження.

Також подано загальну інформацію щодо наукової новизни отриманих результатів із зазначеними відмінностями одержаних результатів від відомих раніше. Наведені дані про особистий внесок здобувача та про апробацію матеріалів дисертації. У першому розділі представлено основні положення теорії та застосування нелінійних нормальних форм (мод) коливань. Додатково обґрунтовано взаємодію магнітного поля з елементами досліджуваної системи. Зазначений розділ також містить інформацію про асимптотичні методи нелінійної динаміки та методи дослідження стійкості руху динамічних систем. Отриманий аналітичний розв'язок порівнюється з результатами чисельного моделювання, що базується на методі Рунге–Кутти четвертого порядку. Початкові умови для чисельного розрахунку мод коливань визначаються аналітичним розв'язком. Представлено чисельні процедури, які використовуються в роботі. У другому розділі наведено дослідження мод коливань автономної системи пов'язаних маятників у полі магнітних сил без урахування дисипативних сил. Використовується представлення магнітного впливу у вигляді як розривної, так і неперервної функцій. У випадку розривної функції, де присутній стрибок, у рівняннях руху використано Паде–апроксимацію магнітного впливу. Суттєва нелінійність, присутня в системі, призводить до необхідності застосування саме асимптотичних методів для аналізу форм коливань. Чисельне моделювання проведено з використанням отриманого аналітичного рішення. Проведено дослідження впливу параметрів системи та початкових умов маятників на динаміку системи, яка може бути як регулярною, так і складною. Стійкість режимів коливань визначається за допомогою чисельного тесту, який пов'язаний з критерієм стійкості за Ляпуновим. При цьому стійкість досліджується шляхом оцінки ортогональних відхилень від відповідних модальних траєкторій у конфігураційному просторі системи. У третьому розділі описується дослідження локальної та синфазної форм коливань дисипативної системи двох пов'язаних маятників у магнітному полі. Як і у другому розділі, використовується два представлення магнітного впливу. Аналітичний розрахунок отриманий за допомогою методу багатьох масштабів, який успішно застосовується саме до дисипативних систем. Вплив параметрів системи на форми коливань досліджено як для малих, так і для значних початкових кутів нахилу маятників. Оцінка стійкості проводиться шляхом побудови траєкторій на фазовій і конфігураційній площинах, а також за допомогою чисельного тесту, що був описаний у другому розділі. У висновках наведено основні результати наукової роботи щодо вирішення поставлених наукових задач дослідження. За результатами дослідження отримано такі наукові результати: Вперше проведено дослідження динаміки маятникової системи в полі магнітних сил, інерційні компоненти якої суттєво відрізняються. Вперше досліджується стійкість мод коливань маятникової системи у полі магнітних сил. Проаналізовано вплив зміни параметрів маятникової системи на регулярну та складну динаміку системи з представленням такої поведінки на фазовій площині та у конфігураційному просторі системи. Знайдено такі області значень параметрів, які забезпечують існування стійкого локалізованого режиму коливань маятникової системи. Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що дослідження динаміки пружних систем у магнітному полі є вельми важливою проблемою саме в сучасній інженерній практиці, зокрема, у машинобудуванні, аерокосмічній техніці та ін. Важливим для застосувань є також дослідження можливості локалізації коливань. Розроблені методики дослідження можуть бути застосовані для розв'язання різноманітних інженерних задач. Крім того, ці методики та отримані результати роблять внесок у загальну та прикладну теорію нелінійних коливань. Результати роботи можуть бути використані в інженерних роботах, присвячених динаміці машин, механізмів, конструкцій та приладів. За результатами дослідження підтверджено практичну та теоретичну цінність розроблених методів, надано практичні рекомендації, щодо застосування розроблених методів та розглянуто перспективи їх подальшого розвитку.

2. The dissertation is devoted to solution of an actual scientific problem, namely, research, which includes the construction and analysis of the stability of nonlinear normal vibration forms in a system of connected pendulums in a magnetic field when the masses of the pendulums differ significantly. The purpose of the dissertation is to study nonlinear normal forms in a substantially nonlinear system with two degrees of freedom under the influence of magnetic forces, provided that the inertial components of the pendulums differ significantly. The object of the study is the nonlinear dynamics of pendulum systems under the influence of magnetic excitation. The subject of research is to obtain nonlinear normal modes of vibration of the pendulum system; analysis of their stability, along

with the influence of changes in system parameters on vibration mode. The introduction substantiates the relevance of the research topic and indicates the methods used, purpose and objectives of the study in accordance with the subject and object of the study. Also provided is general information on the scientific novelty of the results obtained with the indicated differences between the results achieved and those previously known. Further details are given on the personal contribution of the applicant and on the testing the dissertation materials. The first section presents the main provisions of the theory and application of nonlinear normal vibration modes. Additionally, the interaction of the magnetic field with the elements of the studied system is substantiated. This section also contains information on asymptotic methods of nonlinear dynamics and tools for investigating the stability of motion of dynamic systems. The application of presented asymptotic methods is demonstrated by an example of a system of two connected pendulums without considering the influence of magnetic excitation and restoring moments of the pendulums. The resulting analytical solution is compared with the results of numerical modeling based on the fourth–order Runge–Kutta method. Initial conditions for numerical calculation of modes of vibrations are determined by analytical solution. The numerical procedures used in the work are presented. In the second section, the study of the vibration modes of the autonomous system of coupled pendulums in the field of magnetic forces without considering dissipative forces is given. The magnetic impact representation is used in the form of both discontinuous and continuous functions. In the case of a discontinuous function where a jump is present, Padé approximation of magnetic action is used in the equations of motion. The significant nonlinearity present in the system leads to the need to use asymptotic methods for the analysis of vibration modes. Numerical modeling was carried out using the obtained analytical solution. A study of the influence of the system parameters and initial conditions of pendulums on the dynamics of the system, which can be both regular and complex, sometimes similar to chaotic, has been carried out. The stability of the vibration modes is determined using a numerical test, which is associated with the Lyapunov stability criterion when the stability is investigated by assessment of orthogonal deviations from corresponding modal trajectories in the system configuration space. The third section describes the study of local and in–phase vibration modes of the dissipative system of two coupled pendulums in a magnetic field. As in the second section, two representations of magnetic influence are used. The analytical calculation was obtained using the multiple scales method, which is successfully applied to dissipative systems. The effect of system parameters on vibration modes has been investigated for both small and significant initial angles of pendulum inclination. The determination of stability is carried out by constructing trajectories on the phase and configuration planes using the numerical test described in the second section. The conclusions provide the main results of scientific work on solving the research tasks. According to the results of the study, the following scientific results were obtained: For the first time, a study was conducted on the dynamics of the pendulum system in the field of magnetic forces, the inertial components of which differ significantly. For the first time, the stability of the oscillation modes of the pendulum system in the field of magnetic forces is investigated. The influence of changing the parameters of the pendulum system on the regular and complex dynamics of the system with the representation of such behavior on the phase plane and in the configuration space of the system is analyzed. The following areas of parameter values were found that ensure the existence of a stable localized mode of oscillation of the pendulum system. The developed research methods can be used to solve various engineering 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:** Освоєння нових технологій транспортування енергії, впровадження енергоефективних, ресурсозберігаючих технологій, освоєння альтернативних джерел енергії

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

**Публікації:**

- Сурганова Ю. Е., Міхлін Ю. В., Кирилова Н. О. Локалізовані та нелокальні форми коливань двох пов'язаних маятників. Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій. Дніпро, 2022. № 34. С. 101 – 119. (Б)
- Surganova Y. E., Mikhlin Y. V. Localized and Non–Localized Nonlinear Normal Modes in a System of Two Coupled Pendulums Under a Magnetic Field. International Journal of Non–Linear Mechanics. 2022. Vol. 147. P. 104182 (18 pages). (Scopus, Велика Британія, Q2).
- Surhanova Y. E., Mikhlin Y. V. Regular and compound behavior of a pendulum system in a magnetic field. Technical mechanics. Dnipro, 2023. Vol. 2023, № 3. P. 98 – 109. (Б).
- Сурганова Ю. Е., Міхлін Ю. В. Регулярна та складна поведінка маятникової системи у магнітному полі. Механіка та математичні методи. Одеса, 2023. № 1. Т. 5. С. 44–60. (Б).
- Surhanova Y. E., Mikhlin Y. V. Study of the Stability of the Mathematical Model of the Bound Pendulums Motion. Journal of Mechanical Engineering. Kharkiv, 2023. Vol. 26, № 4. P. 50 – 58. (Б).
- Surganova Y. E., Mikhlin Y. V. Stability of nonlinear normal modes in the system of coupled pendulums in a magnetic field. International Journal of Non–Linear Mechanics. 2024. Vol. 160. P. 104649 (12 pages). (Scopus, Велика Британія, Q2).
- Сурганова Ю. Е., Міхлін Ю.В. Дослідження форм коливань нелінійної електро–магнітно–механічної маятникової системи. Інформаціїні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доп. XXIX міжнар. наук.–практ. конф. MicroCAD–2021, м. Харків, 18–20 трав. 2021 р. Харків, 2021. С. 69.
- Mikhlin Yu. V., Surhanova Yu. E. Nonlinear normal modes and localization of vibrations in the pendulum system under magnetic. 16th International Conference on Dynamical Systems Theory and Applications (DSTA), Poland, December 6–9, 2021. P. 250–251.
- Mikhlin Yu. V., Surhanova Yu. E. Nonlinear normal modes in the pendulum system under magnetic excitation. The 10th European Nonlinear Oscillations Conference (ENOC), Lyon, France, July 17–22, 2022. P. 1027–1028.
- Сурганова Ю. Е., Міхлін Ю. В. Нелінійні нормальні режими маятникової системи в магнітному полі. Інформаціїні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доп. XXX міжнар. наук.–практ. конф. MicroCAD–2022, м. Харків, 19–21 жовт. 2022 р. Харків, 2021. С. 330.
- Сурганова Ю. Е., Міхлін Ю. В. Нелінійні моди коливань і складна поведінка маятникової системи у магнітному полі. Сучасні проблеми механіки та математики – 2023: зб. наук. праць, м. Львів, 23–25 трав. 2023 р. Львів, 2023. С. 269 – 270.
- Сурганова Ю. Е., Міхлін Ю. В. Нелінійні нормальні режими маятникової системи у магнітному полі. 2022 International Conference on Innovate Solutions in Software Engineering (ICISSE), Ivano–Frankivsk, November 29–30, 2022. Ivano–Frankivsk, 2022. P. 190 – 192.
- Surhanova Yu. E., Mikhlin Yu. V. Regular and complex behaviour in the pendulum system under a magnetic field. The Third International Nonlinear Dynamics Conference (NODYCON), Rome, Italy, June 18–22, 2023. Rome, 2023. P. 332.

**Наукова (науково-технічна) продукція:** методи, теорії, гіпотези

**Соціально-економічна спрямованість:**

**Охоронні документи на ОПІВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Впроваджено

**Зв'язок з науковими темами:** 0118U002045

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

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Міхлін Юрій Володимирович

2. Yurii Mikhlin

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., професор

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-1780-9346

**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. Аврамов Костянтин Віталійович

2. Konstantin Avramov

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 01.02.04

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-8740-693X

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 03534570

**Місцезнаходження:** вул. Пожарського, буд. 2/10, Харків, Харківський р-н., 61046, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Швець Олександр Юрійович

2. Aleksandr Shvets

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., професор, 01.01.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-0330-5136

**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:**

**Рецензенти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Мазур Ольга Сергіївна
2. Olga Mazur

**Кваліфікація:** к. ф.-м. н., доц., 01.02.04

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-9330-0664

**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. Мартиненко Геннадій Юрійович
2. Gennadii Martynenko

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 05.02.09

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-5309-3608

**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** | Бреславський Дмитро Васильович |
| **Власне Прізвище Ім'я По-батькові головуючого на засіданні** | Бреславський Дмитро Васильович |
| **Відповідальний за підготовку облікових документів** | Сурганова Юлія Едуардівна |
| **Реєстратор** | УкрІНТЕІ |
| **Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є відповідальним за реєстрацію наукової діяльності** | Юрченко Тетяна Анатоліївна |