

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

**Державний обліковий номер:** 0826U000719

**Особливі позначки:** відкрита

**Дата реєстрації:** 31-03-2026

**Статус:** Запланована

**Реквізити наказу МОН / наказу закладу:**



## II. Відомості про здобувача

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Козельський Олександр Володимирович

2. Oleksandr V. Kozelskyi

**Кваліфікація:**

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Вид дисертації:** доктор філософії

**Аспірантура/Докторантура:** так

**Шифр наукової спеціальності:** 123

**Назва наукової спеціальності:** Комп'ютерна інженерія

**Галузь / галузі знань:** інформаційні технології

**Освітньо-наукова програма зі спеціальності:** Комп'ютерна інженерія

**Дата захисту:**

**Спеціальність за освітою:** Системне програмування

**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):** PhD 12564

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

**Код за ЄДРПОУ:** 02071234

**Місцезнаходження:** вул. Інститутська, Хмельницький, Хмельницький р-н., 29016, 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:** Хмельницький національний університет

**Код за ЄДРПОУ:** 02071234

**Місцезнаходження:** вул. Інститутська, Хмельницький, Хмельницький р-н., 29016, Україна

**Форма власності:** Державна

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

**Ідентифікатор ROR:**

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 28.29.07, 50.41.17, 50.05.13

**Тема дисертації:**

1. Методи та засоби планування задач і підвищення ефективності операційних систем реального часу.
2. Methods and tools for task scheduling and improving the efficiency of real-time operating systems

**Реферат:**

1. У дисертації проаналізовані методи синтезу операційних систем реального часу (ОСРЧ) для кіберфізичних систем (КФС) з інтенсивними змінами станів. Об'єктом дослідження є ОСРЧ, призначені для функціонування у КФС з інтенсивними змінами станів. Предметом дослідження є методи та засоби адаптивного планування задач і розподілу ресурсів на основі аналізу навантаження, превентивного відновлення компонентів, виявлення аномалій і фальсифікацій даних в ОСРЧ для КФС. Метою дослідження є підвищення ефективності використання ресурсів, стійкості функціонування ОСРЧ у КФС з інтенсивними змінами станів шляхом розроблення методів адаптивного планування, динамічного розподілу ресурсів, превентивного відновлення, виявлення аномалій. Наукова новизна полягає в наступному: 1) розроблено удосконалену архітектуру планувальника задач із залученням зовнішнього модуля машинного навчання з винесенням аналітичних обчислень за межі мікроконтролера із зворотним каналом самооптимізації, що забезпечує збір телеметрії, її перетворення у тензорні подання та адаптивне оновлення параметрів планувальника без втручання користувача; 2) розроблено метод динамічного розподілу завдань і ресурсів в ОСРЧ на основі тензорної

декомпозиції, який використовує багатовимірні моделі системного навантаження для прогнозування поведінки задач з урахуванням взаємозв'язків між параметрами з наступним формуванням рішення на основі їх комплексного аналізу; 3) вперше розроблено метод превентивного відновлення компонентів ОСРЧ, який поєднує низькорозмірну марковську модель прогнозування станів із багаторівневим сторожовим контролем, що дозволяє завчасно оцінювати ризик відмови та локально ініціювати апаратний перезапуск з формалізацією індексу стану, перехідних ймовірностей та політик ескалації, зберігаючи низьку обчислювальну складність, придатну для мікроконтролерів у реальному часі; 4) удосконалено метод виявлення фальсифікацій та аномалій у комп'ютерних системах для сигналів КФС на основі модифікованого комбінованого фільтра Калмана з подієвим перемиканням режимів, який не потребує одночасного запуску набору моделей і забезпечує селективне пригнічення підозрілих вимірів на основі аналізу інновацій, що дає змогу відрізнити нормальні режимні зміни від зловмисних відхилень. Практичне значення отриманих результатів полягає у вдосконаленні архітектури планувальника задач із зовнішнім модулем машинного навчання, з адаптивним розподілом задач, що дало змогу створювати ОСРЧ з покращеними характеристиками використання обчислювальних ресурсів. Застосування методу динамічного розподілу завдань і ресурсів в ОСРЧ на основі тензорної декомпозиції зменшило навантаження на процесор на 14,92%, використання пам'яті на 7,72%, час виконання задач на 12,62%. Інтегральний показник ефективності за рівнозначної ваги метрик підтвердив загальне підвищення ефективності функціонування системи на 11,76 %, що свідчить про його доцільність для підвищення продуктивності ОСРЧ в умовах реального часу. Застосування методу превентивного відновлення компонентів ОСРЧ на основі низькорозмірної марковської моделі дозволило зменшити частку простою системи з 4,5% до 1,37%. Застосування методу виявлення фальсифікацій в КФС на основі модифікованого комбінованого фільтра Калмана з подієвим перемиканням режимів забезпечило ріст ефективності приблизно на 21,94%. Теоретичні та практичні результати дослідження впроваджені у прототипі ОСРЧ на базі STM32F407 в ряді ІТ-організацій та в освітньому процесі вузу. У вступі обґрунтовано актуальність наукової задачі із забезпечення захисту ОСРЧ в КФС з інтенсивними змінами станів. У першому розділі здійснено аналіз предметної області дослідження, а саме методів забезпечення відмовостійкості самовідновлення та захисту від зловмисних впливів ОСРЧ та КФС в умовах інтенсивних змін станів. У другому розділі представлено метод динамічного розподілу завдань і ресурсів на основі тензорної декомпозиції та архітектуру планувальника з аналітичним модулем, що обробляє дані методами машинного навчання для самооптимізації. У третьому розділі подано метод прогнозування збоїв в ОСРЧ, як комбінований подієвий фільтр Калмана з адаптивним перемиканням моделей і модулем детекції аномалій, який формалізовано як гібридну систему з алгоритмом прогнозування. В четвертому розділі подано експериментальні дослідження запропонованих методів і рішень у складі ОСРЧ для КФС. Описано прототип із реалізованими механізмами інтелектуальної кластеризації та комбінованого фільтра Калмана. У висновку узагальнено результати дослідження, підтверджено досягнення поставленої мети, сформульовано основні наукові та практичні результати. У додатках наведено перелік наукових праць де представлено наукові результати, акти впровадження, таблиці з результатами експериментів.

2. The dissertation analyzes methods for synthesizing real-time operating systems (RTOS) for cyber-physical systems (CPS) with intensive state changes. The object of the study is RTOS designed to function in CPS with intensive state changes. The subject of the study is methods and tools for adaptive task planning and resource allocation based on load analysis, preventive component recovery, detection of anomalies and falsification of sensor data in RTOS for CPS. The purpose of the study is to increase the efficiency of resource use, stability of RTOS functioning in CPS with intensive state changes by developing methods for adaptive planning, dynamic resource allocation, preventive recovery, and anomaly detection. The scientific novelty is as follows: 1) an improved task scheduler architecture has been developed involving an external machine learning module with the removal of analytical calculations outside the microcontroller with a self-optimization feedback channel, which provides telemetry collection, its conversion into tensor representations and adaptive updating of scheduler parameters without user intervention; 2) a method for dynamic task and resource allocation in RTOS based on tensor decomposition has been developed, which uses multidimensional system load models to predict task behavior

taking into account the relationships between parameters with subsequent decision formation based on their comprehensive analysis; 3) for the first time, a method for preventive recovery of RTOS components has been developed, which combines a low-dimensional Markov model of state prediction with multi-level watchdog control, which allows for early assessment of the risk of failure and local initiation of hardware restart with the formalization of the state index, transition probabilities and escalation policies, while maintaining low computational complexity suitable for real-time microcontrollers; 4) a method for detecting falsifications and anomalies in the CS for CPS signals based on a modified combined Kalman filter with event-based mode switching has been improved, which does not require simultaneous launch of a set of models and provides selective suppression of suspicious measurements based on innovation analysis, which makes it possible to distinguish normal regime changes from malicious deviations. Practical significance lies in improving the scheduler architecture with an external machine learning module and adaptive task allocation, enabling the development of RTOS with enhanced computational resource efficiency. The use of the method of dynamic task and resource distribution in RTOS based on tensor decomposition reduced the load on the processor by 14.92%, memory usage by 7.72%, and task execution time by 12.62%. The integral efficiency indicator with an equal weight of metrics confirmed the overall increase in the efficiency of the system by 11.76%, which indicates its feasibility for increasing the performance of RTOS in real-time conditions. The use of the method of preventive recovery of RTOS components based on a low-dimensional Markov model allowed to reduce the share of system downtime from 4.5% to 1.37%. The application of the method for detecting falsifications in the CPS based on the modified combined Kalman filter with event-based mode switching provided an increase in efficiency by approximately 21.94%. The theoretical and practical results of the study were implemented in the prototype of the STM32F407-based RTOS in a number of IT organizations and in the educational process of the university. The introduction substantiates the relevance of the scientific problem of ensuring the protection of RTOS in the CPS with intensive state changes. Chapter 1 analyzes methods of fault tolerance, self-recovery, and protection against malicious impacts in RTOS and CPS under intensive state changes. Chapter 2 presents the tensor decomposition-based dynamic allocation method and the scheduler architecture with an analytical machine learning module for self-optimization. Chapter 3 describes a fault prediction method in RTOS implemented as a combined event-driven Kalman filter with adaptive model switching and anomaly detection, formalized as a hybrid system with a prediction algorithm. Chapter 4 presents experimental studies of the proposed methods within RTOS for CPS and describes a prototype implementing intelligent clustering and the combined Kalman filter. The conclusion summarizes the results, confirms achievement of the research objective, and formulates the main scientific and practical contributions. The appendices include a list of scientific publications presenting the results, implementation acts, and experimental data tables.

**Державний реєстраційний номер ДіР:**

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:** Інформаційні та комунікаційні технології

**Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:** Розвиток сучасних інформаційних, комунікаційних технологій, робототехніки

**Підсумки дослідження:** Нове вирішення актуального наукового завдання

**Публікації:**

- Козельський О., Савенко Б. Виявлення фальсифікацій та аномалій у цифрових сигналах від кіберфізичних систем на основі комбінованого фільтра Калмана. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2025. №2. С. 23–35.
- Козельський О.В. Метод тензорної декомпозиції для адаптивного розподілу ресурсів у системах реального часу. *Measuring and computing devices in technological processes*. 2025. №82(2). С. 426–433.
- Козельський О., Савенко Б. Дворівнева стратегія підвищення відмовостійкості операційних систем реального часу з використанням ймовірнісного аналізу. *Herald of Khmelnytskyi National University*.

Technical Sciences. 2025. №353(3.2). С. 438-446.

- Козельський О., Савенко Б. Зовнішня адаптивна система кластеризації для підвищення гнучкості операційних систем реального часу на основі динамічного планування завдань. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 5. 2025. С. 124-132.
- Козельський О., Савенко О. Проактивний механізм інформаційної безпеки в операційних системах реального часу з використанням гібридного сторожового таймера. Measuring and computing devices in technological processes. 2025. №83(3). С. 459 – 466.
- Козельський О., Савенко Б. Виявлення зловмисних атак на сенсори та підробки телеметрії в кіберфізичних системах на основі модифікованого фільтра Калмана. Measuring and computing devices in technological processes.. №84(4), 2025, с. 228–235.

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

**Соціально-економічна спрямованість:**

**Охоронні документи на ОПВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Впроваджено

**Зв'язок з науковими темами:** 0124U000980 0126U002082

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

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Коробчинський Максим Володимирович
2. Maksim V. Korobchunskii

**Кваліфікація:** д.т.н., професор, 05.13.06

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Воєнно-дипломатична академія імені Євгенія Березняка

**Код за ЄДРПОУ:** 14303342

**Місцезнаходження:** вул. Юрія Ілленка, Київ, 04050, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство оборони України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Савенко Богдан Олегович
2. Bogdan O. Savenko

**Кваліфікація:** д.філософ, 123

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

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

**Код за ЄДРПОУ:** 02071234

**Місцезнаходження:** вул. Інститутська, Хмельницький, Хмельницький р-н., 29016, 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. Журавська Ірина Миколаївна

2. Iryna M. Zhuravska

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 05.13.05

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-8102-9854

#### **Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Чорноморський національний університет імені Петра Могили

**Код за ЄДРПОУ:** 23623471

**Місцезнаходження:** вул. 68 Десантників, Миколаїв, Миколаївський р-н., 54003, Україна

**Форма власності:** Державна

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

**Ідентифікатор ROR:**

#### **Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Волокита Артем Миколайович

2. Artem M. Volokyta

**Кваліфікація:** к. т. н., доцент, 01.05.03

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

#### **Додаткова інформація:**

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

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Берестейський, Київ, 03056, Україна

**Форма власності:**

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

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

## **Рецензенти**

### **Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Нічепорук Андрій Олександрович
2. Andrii O. Nicheporuk

**Кваліфікація:** к. т. н., доц., 05.13.06

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

### **Додаткова інформація:**

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

**Код за ЄДРПОУ:** 02071234

**Місцезнаходження:** вул. Інститутська, Хмельницький, Хмельницький р-н., 29016, Україна

**Форма власності:** Державна

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

**Ідентифікатор ROR:**

### **Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Капустян Марія Вікторівна
2. Maria V. Kapustian

**Кваліфікація:** к.т.н., доц., 05.13.21

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

### **Додаткова інформація:**

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

**Код за ЄДРПОУ:** 02071234

**Місцезнаходження:** вул. Інститутська, Хмельницький, Хмельницький р-н., 29016, Україна

**Форма власності:** Державна

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

**Ідентифікатор ROR:**

## **VIII. Заключні відомості**

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

Лисенко Сергій Миколайович

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

Лисенко Сергій Миколайович

