

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
NATIONAL AVIATION UNIVERSITY**

**ELECTRONICS AND CONTROL
SYSTEMS**

N 1 (75) 2023

KYIV

Electronics and Control Systems, N 1 (75), 2023

<http://jrnل.nau.edu.ua/index.php/ESU>, <http://ecs.in.ua>

Journal Scope: The Scientific Journal is intended for publishing original papers concerning the following fields of research: Computer Sciences and Information Technologies, Computer Engineering, Power Machinery, Automation and Computer-integrated Technologies, Electronics, Telecommunications and Radio Engineering, Aviation Transport.

History: The Scientific Journal “Electronics and Control Systems” was founded in 2003. The first volume of the Scientific Journal was published under the title “Electronics and Control Systems” in 2003. Scientific journal “Electronics and Control Systems” is referred to Ukrainian professional and scientific publications in the field of Engineering Sciences, the category "B".

Abstracts & Indexing: Google Scholar; Russian science citation index (RSCI); the Vernadsky National Library of Ukraine; Scientific and Technical Library of the National Aviation University; CrossRef Indexing; EBSCO information services; Research Bible; Simple Search Metadata; Scientific Electronic Library; Ulrich’s Periodicals Directory; Index Copernicus International (IC).

Disclaimer: The Editorial Board of the Scientific Journal “Electronics and Control Systems” makes every effort to ensure the accuracy of all the information (the 'Content') contained in its publications. However, the Editorial Board is not responsible for authenticity of facts, names, photos and other Content of the article and disclaims all representations and warranties whether express or implied to the maximum extent permitted by effective legislation of Ukraine. Any views expressed in this publication are the views of the authors and are not necessarily the views of the Editorial Board of the Scientific Journal “Electronics and Control Systems”.

Copyright © 2023 National Aviation University. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored, transmitted, or disseminated, in any form, or by any means, without prior written permission from National Aviation University, to whom all requests to reproduce copyright material should be directed, in writing.

Certificate of State Registration KV N 16720-5292 PR of 21 May 2010.

Approved for publication by the Academic Council of the National Aviation University (Minutes 3 of March 22, 2023).

Submissions: All submissions should be made online at the Journal “Electronics and Control Systems” (<http://jrnل.nau.edu.ua/index.php/ESU>, <http://ecs.in.ua>). Complete guidelines for preparing and submitting a manuscript to this Scientific Journal are provided at the Scientific Journal website.

Enquiries to Scientific Journal Proceedings of the National Aviation University should be addressed to the Editorial Board:

03058, Ukraine, Kyiv, ave. Lubomir Husar, 1

Phone: +38 (044) 497 81 86

Fax: +38 (044) 406 74 12

<http://jrnل.nau.edu.ua/index.php/ESU>, <http://ecs.in.ua>

EDITOR-IN-CHIEF

V. M. Sineglazov, IEEE Senior Member, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of Aviation Computer Integrated Complexes Department, National Aviation University, Ukraine

DEPUTIES OF Editor-IN-CHIEF

O. M. Matviyiv, Dr. Sci. (Eng.), Prof., the first vice-rector, National University «Lviv Polytechnic», Lviv, Ukraine

F. J. Yanovsky, IEEE Fellow, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of Electronics Department, National Aviation University, Ukraine

EXECUTIVE SECRETARY

O. A. Sushchenko, Dr. Sci. (Eng.), Prof., National Aviation University, Ukraine

EDITORIAL BOARD

P. I. Bidyuk, Dr. Sci. (Eng.), Prof., National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute» named after Igor Sikorsky, Kyiv, Ukraine.

François Le Chevalier, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Delft University of Technology, Netherlands

Zhengbing Hu, Ph.D., Professor, Central China Normal University, China

L. Ya. Ilitskiy, Dr. Sci. (Eng.), Prof., National Aviation University, Ukraine

Juri Jatskevich, Ph.D., (P.Eng.), IEEE Fellow, Professor of Electrical and Computer Engineering, University of British Columbia, Vancouver, Canada

Kzhishtof Kulpa, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Warsaw University of Technology, Poland

Lyubka Doukowska, Dr. Sci., Institute of Information and Communication Technologies of Bulgarian Academy of Sciences, Bulgaria

M. P. Mukhina, Dr. Sci. (Eng.), Ass. Prof., National Aviation University, Ukraine

I. G. Prokopenko, Dr. Sci. (Eng.), Prof., National Aviation University, Ukraine

George T. Schmidt, IEEE Fellow, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Massachusetts Institute of Technology (Cambridge), USA

Ahmet Serdar Turk, Ph.D., Professor, Yildiz Technical University, İstanbul, Turkey

The journal is included in the list of scientific publications of Higher Ministry education and science of Ukraine, to in which the main results of dissertation works in the field of technical sciences are published, category "Б"

Approved for publication by the Academic Council of National Aviation University (Minutes 3 of March 22, 2023).

Registered with Ministry of Justice of Ukraine.

Certificate of State registration of the print media.

Series KV №16720-5292 PR on May 21, 2010.

Editorial board address: 03058, Ukraine, Kyiv, ave. Lubomir Husar, 1

Tel. +38 (044) 406 72 47

<http://jrnل.nau.edu.ua/index.php/ESU>, <http://ecs.in.ua>

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ЕЛЕКТРОНІКА ТА СИСТЕМИ
УПРАВЛІННЯ**

№1 (75) 2023

КИЇВ

Електроніка та системи управління, № 1 (75), 2023

<http://jrnl.nau.edu.ua/index.php/ESU>, <http://ecs.in.ua>

Розділи журналу: Науковий журнал призначений для публікації оригінальних статей, що містять результати експериментальних і теоретичних досліджень у галузях: комп'ютерні науки та інформаційні технології, комп'ютерна інженерія, енергетичне машинобудування, автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, електроніка, телекомунікації та радіотехніка, авіаційний транспорт.

Історія: Науковий журнал «Електроніка та системи управління» заснований у 2003 р. Перший номер наукового журналу опублікований у 2003 р. під назвою «Електроніка та системи управління». Науковий журнал «Електроніка та системи управління» президією Міністерства освіти і науки України віднесено до наукових фахових видань у галузі технічних наук категорії «Б».

Реферати та індексація: Google Scholar; Російський індекс наукового цитування (РІНЦ); Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського; Науково-технічна бібліотека Національного авіаційного університету; CrossRef Indexing; EBSCO information services; Research Bible; Simple Search Metadata; Наукова електронна бібліотека; Ulrich's Periodicals Directory; Index Copernicus International (IC).

Відповідальність: Редакційна колегія наукового журналу «Електроніка та системи управління» докладає всіх зусиль, щоб забезпечити точність інформації (змісту) публікацій. Однак редакційна колегія не несе відповідальність за достовірність фактів, власних імен, фотодокументів, інших відомостей, загальний сенс статті та інші передбачені чинним законодавством України порушення. Будь-які переконання, висловлені в цьому виданні, відображають думки авторів і не обов'язково збігаються з поглядами редакційної колегії наукового журналу «Електроніка та системи управління».

Авторські права © 2023 Національний авіаційний університет. Усі права авторів захищені. Жодна з частин цього видання не може бути відтворена, збережена, передана або поширена в будь-якій формі або будь-якими засобами без попереднього письмового дозволу від Національного авіаційного університету, на адресу якого всі запити на відтворення авторських матеріалів повинні бути надіслані в письмовій формі.

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 16720-5292 ПР від 21 травня 2010 року.

Рекомендовано до друку Вченою радою Національного авіаційного університету (протокол № 3 від 22 березня 2023 р.)

Подання матеріалів: всі матеріали слід подавати на сайті наукового журналу «Електроніка та системи управління» (<http://jrnl.nau.edu.ua/index.php/ESU>, <http://ecs.in.ua>). Вимоги до оформлення статей знаходяться на сайті наукового журналу.

Зі всіма питаннями щодо опублікування статей звертатися до редакційної колегії.

Адреса редакційної колегії:

03058, Україна, Київ, просп. Любомира Гузара, 1

Тел.: +38 (044) 497 81 86

Факс: +38 (044) 406 74 12

<http://jrnl.nau.edu.ua/index.php/ESU>, <http://ecs.in.ua>

УДК [621.38 + 681.51] (082)''540.3''

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

В. М. Синеглазов, IEEE Senior Member, д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів, Національний авіаційний університет, Україна

ЗАСТУПНИКИ ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА

О. М. Матвійків, д-р техн. наук, проф., перший проректор, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна

Ф. Й. Яновський, IEEE Fellow, д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри електроніки, Національний авіаційний університет, Україна

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР

О. А. Суценко, д-р техн. наук, проф., Національний авіаційний університет, Україна

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

П. І. Бідюк, д-р техн. наук, проф., Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут" ім. Ігоря Сікорського, Україна

Любка Дуковська, д-р наук, Інститут інформаційних і комунікаційних технологій Болгарської академії наук, Болгарія

Л. Я. Ільницький, д-р техн. наук, проф., Національний авіаційний університет, Україна

Кжиштоф Кульпа, д-р техн. наук, проф., Варшавський технологічний університет, Польща

М. П. Мухіна, д-р техн. наук, доц., Національний авіаційний університет, Україна

І. Г. Прокопенко, д-р техн. наук, проф., Національний авіаційний університет, Україна

Франсуа Ле Шевальє, д-р техн. наук, проф., Делфтський технічний університет, Нідерланди
Джордж Т. Шмидт, IEEE Fellow, д-р техн. наук, проф., Массачусетський технологічний університет (Кембридж), США

Ахмет Сердар Турк, канд. техн. наук, проф., Технічний університет Йилдиз, Стамбул, Туреччина

Чженбінг Ху, д-р техн. наук, проф., Класичний університет Центрального Китаю, Китай

Юрій Яцкевич, канд. фіз.-мат. наук, науковий співробітник IEEE, проф. електричної та комп'ютерної інженерії, Університет Британської Колумбії, Ванкувер, Канада

Журнал входить до Переліку наукових видань Міністерства освіти і науки України, у яких можуть публікуватися основні результати дисертаційних робіт у галузі технічних наук категорії «Б»

Рекомендовано до друку Вченою радою Національного авіаційного університету (протокол № 3 від 22 березня 2023 р.).

Зареєстровано Міністерством юстиції України.

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації.

Серія КВ №16720-5292 ПР від 21 травня 2010 року.

Адреса редакційної колегії: 03058, Україна, Київ, просп. Любомира Гузара, 1

тел. +38 (044) 406 72 47

<http://jrn1.nau.edu.ua/index.php/ESU>, <http://ecs.in.ua>

© Національний авіаційний університет, 2023