

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

**ELECTRONICS AND CONTROL  
SYSTEMS**

**N 4 (58) 2018**

**KYIV**

## **Electronics and control systems, N 4 (58), 2018**

<http://jrnl.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: theory and methods of signal processing, automatic control systems, computer-aided design systems, transport systems, mathematical modeling of processes and systems.

**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 "Б".

**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 © 2018 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 9 of December 19, 2018).

**Submissions:** All submissions should be made online at the Journal “Electronics and control systems” (<http://jrnl.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:

Kosmonavta Komarova avenue, 1  
Kyiv, Ukraine, 03680  
Phone: (38 044) 497 81 86  
Fax: (38 044) 406 74 12  
<http://jrnl.nau.edu.ua/index.php/ESU>, <http://ecs.in.ua>

UDC [621.38 + 681.51] (082)“540.3”

## **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**

**A. A. Tunik**, IEEE Senior Member, Dr. Sci. (Eng.), Prof., National Aviation University, 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.), Associate Prof., National Aviation University, Ukraine

## **EDITORIAL BOARD**

**A. Ya. Biletskiy**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., National Aviation University, Ukraine

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

**I. A. Kalyaev**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Russia, Institute of Multiprocessor Computing Systems, Research Institute of MCS, Russia

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

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

**V. V. Nechaev**, Dr. Sci. (Phys.-Mat.), Prof., Moscow Institute of Radio Engineering, Electronics, Automation (MIREEA), Russia

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

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

**L. V. Sibrak**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of Radio Electronic Devices and Systems Department, National Aviation University, Ukraine

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

**V. M. Tomashevsky** Dr. Sci. (Eng.), Prof., National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute” named after Igor Sikorsky, Kyiv, Ukraine.

**V. V. Vasylyev**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, National Aviation University, Ukraine

The journal is included in the list of scientific publications of the Ministry of Education and Science of Ukraine to be published the main results of theses in Engineering.

*Approved for publication by the Academic Council of National Aviation University (Minutes 9 of December 19, 2018).*

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: 1 Kosmonavta Komarova Ave., Kyiv-58, 03680

Tel. (38 044) 406 72 47

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

© National Aviation University, 2018

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

**ЕЛЕКТРОНІКА ТА СИСТЕМИ  
УПРАВЛІННЯ**

**№4 (58) 2018**

**КИЇВ**

Електроніка та системи управління, № 4 (58), 2018

<http://jrn1.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: теорія та методи оброблення сигналів, системи автоматичного керування, автоматизовані системи проектування, транспортні системи, математичне моделювання процесів та систем.

**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». Міністерством освіти і науки України науковий журнал «Електроніка та системи управління» віднесено до категорії «Б» наукових фахових видань у галузі технічних наук.

**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 © 2018 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 № 9 від 19 грудня 2018 р.)

**Подання матеріалів:** всі матеріали слід подавати на сайті наукового журналу «Електроніка та системи управління» (<http://jrn1.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:**

просп. Космонавта Комарова, 1,

Київ, Україна, 03680

Тел.: (38 044) 497 81 86

Факс: (38 044) 406 74 12

<http://jrn1.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

**А. А. Тунік**, IEEE Senior Member, д-р техн. наук, проф., Національний авіаційний університет, Україна

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

## ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР

**О. А. Суцєнко**, д-р техн. наук, доц., Національний авіаційний університет, Україна

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

**А. Я. Білецький**, д-р техн. наук, проф., Національний авіаційний університет, Україна

**В. В. Васильєв**, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАН України,  
Національний авіаційний університет, Україна

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

**І. А. Каляєв**, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. Російської академії наук,  
Інститут багатопроекторних обчислювальних систем, НДІ БОС, Росія

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

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

**В. В. Нечаєв**, д-р фіз.-мат. наук, проф., Московський інститут радіотехніки,  
електроніки, автоматики (МІРЕА), Росія

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

**Л. В. Сібрुक**, д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри радіоелектронних пристроїв і систем,  
Національний авіаційний університет, Україна

**В. М. Томашевський**, д-р техн. наук, проф., Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут" ім. Ігоря Сікорського

**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

Журнал входить до Переліку наукових видань Міністерства освіти і науки України, у яких можуть публікуватися основні результати дисертаційних робіт з технічних наук.

*Рекомендовано до друку вченою радою Національного авіаційного університету (протокол № 9 від 19 грудня 2018 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: 03680, Київ-58, проспект Космонавта Комарова, 1,

тел. (38 044) 406 72 47

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