

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний політехнічний університет

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ ТА КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ

- Електротехнічні системи
- Інформатика і обчислювальна техніка
- Системна інженерія
- Інновації

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

ЗАСНОВАНО В 1965 РОЦІ

№ 32 (108)

Астропрінт
2020

Видавник – Одеський національний політехнічний університет (ОНПУ)

У журналі друкуються результати наукових досліджень, які стосуються розробки сучасних автоматизованих електромеханічних систем, проектування електромеханічних перетворювачів та електричних апаратів, мехатроніки, комп'ютерних систем та їх компонентів, інформаційних інтелектуальних систем, комп'ютерних мереж, моделювання динамічних систем, а також захисту інформації в комп'ютерних системах.

Журнал розраховано на інженерів та наукових працівників, які займаються дослідженням, проектуванням та експлуатацією електротехнічних та комп'ютерних систем та їх компонентів, а також на викладачів і студентів вищих та середніх навчальних закладів відповідних спеціальностей.

Друкується за рішенням Вченої ради ОНПУ від 30. 11. 2020, протокол № 4

Головний редактор

Маєвський Д. А. (Одеський нац. політехн. ун-т)

Заступники головного редактора:

Шапорин Р. О., Бушер В. В. (Одеський нац. політехн. ун-т)

Редакційна колегія

Проф., д.т.н. **Атаманюк Ігор**, Миколаївський національний аграрний університет, Україна

Проф., к.т.н. **Бардіс Ніколаос**, Грецька військова академія, Афіни, Греція

Проф., д.т.н. **Водічев Володимир**, Одеський національний політехнічний університет, Україна

Проф., д.т.н. **Востров Георгій**, Одеський національний політехнічний університет, Україна

Проф., д.т.н. **Ву Вай Лок**, Нортумбрийський університет, Велика Британія

Проф., д.т.н. **Дрозд Олександр**, Одеський національний політехнічний університет, Україна

Проф., к.т.н. **Зайцева Олена**, Університет Жиліна, Словаччина

Доц., к.т.н. **Кисилевська Альона**, Одеський національний політехнічний університет, Україна

Проф., д.т.н. **Маляр Василь**, Львівський політехнічний національний університет, Україна

Проф., д.т.н. **Оборський Геннадій**, Одеський національний політехнічний університет, Україна

Проф., д.т.н. **Орловський Аркадіус**, Варшавський університет природничих наук, Польща

Проф., к.т.н. **Пересада Сергій**, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Україна

Проф., д.т.н. **Петрушин Віктор**, Одеський національний політехнічний університет, Україна

Проф., д.т.н. **Прокопович Ігор**, Одеський національний політехнічний університет, Україна

Проф., к.т.н. **Рафайловський Горан**, Університет прикладних наук Берліну, Німеччина

Проф., д.т.н. **Романський Раді**, Технічний Університет Софії, Болгарія

Проф., д.т.н. **Саченко Анатолій**, Тернопільський національний економічний університет

Проф., д.т.н. **Ситніков Валерій**, Одеський національний політехнічний університет, Україна

Проф., к.т.н. **Філіпс Кріс**, Університет Ньюкасла, Великобританія

Проф., д.т.н. **Харченко В'ячеслав**, Національний аерокосмічний університет імені Н.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Україна

Відповідальний секретар Горохолинська Г. М. (Одеський нац. політехн. ун-т)

Журнал включено до Переліку наукових фахових видань України (Категорія "Б"), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук та доктора філософії (Наказ МОН України від 26.11.2020, № 1471) за спеціальностями: 113 - Прикладна математика, 122 - Комп'ютерні науки та інформаційні технології, 123 - Комп'ютерна інженерія, 124 - Системний аналіз, 125 – Кібербезпека, 126 - Інформаційні системи та технології, 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

Статті журналу індексуються в міжнародних базах даних: Index Copernicus International, Ulrich's Periodicals Directory, Electronic Journals Library, Google Scholar, Research Bib, а також в Національній бібліотеці України імені В. І. Вернадського.

Приймаються рукописи, підготовлені українською, англійською або російською мовою. Рукописи статей проходять подвійне сліпе рецензування. Періодичність виходу журналу – три рази на рік.

Адреса редакційної колегії: Україна, 65044, м. Одеса, пр. Шевченка, 1 Одеський національний політехнічний університет.

Тел.: +38(048) 703-84-54, +38(093) 540-38-41, +38(099) 797-23-11

E-mail: eltecs@opu.ua

Сайт: <http://eltecs.opu.ua/index.php/journal>

ISSN 2221-3805 (Print)

ISSN 2221-3937 (on Line)

Ministry of Education and Science of Ukraine

Odessa National Polytechnic University

ELECTROTECHNIC AND COMPUTER SYSTEMS

- **Electrotechnics systems**
- **Information Science and Computer Engineering**
- **System Engineering**
- **Innovations**

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

FOUNDED IN 1965

No. 32 (108)

Astroprint
2020

UDC 004.231.2

Publisher – Odessa National Polytechnic University (ONPU)

The journal publishes the results of scientific research concerning the development of modern automated electromechanical systems, the design of electromechanical converters and electrical apparatus, mechatronics, computer systems and their components, information intelligence systems, computer networks, modeling of dynamic systems, as well as information security in computer systems. The journal reflects mathematic modeling and optimization of electrotechnical and electromechanics systems, ways of electric drives control allowing to saving energy, modern systems of power supply. Besides that, the materials about automatic control systems and systems of artificial intelligence are published in the journal.

The journal is designed for engineers and scientists that take part in researches, designing and exploitation of electrotechnical and computer systems and their components, and also for corresponding specialty teachers and students of high school.

The journal is printed according to the decision of the scientific council of ONPU from 30. 11. 2020, No. 4

Editor-in-chief Maevsky D. A. (Odessa National Polytechnic University)

Deputy Editor-in-chief Buser V. V., Shaporin R. O. (Odessa National Polytechnic University)

Editorial Board

Prof., DrS **Atamanyuk Igor**, Mykolayiv National Agrarian University, Ukraine

Prof., Dr **Bardis Nikolaos**, Hellenic Military Academy, Athens, Greece

Prof., DrS **Drozd Oleksandr**, Odessa National Polytechnic University, Ukraine

Prof., DrS **Kharchenko Vyacheslav**, National Aerospace University named after N.E. Zhukovsky “Kharkiv Aviation Institute”, Ukraine

PhD **Kysylevska Alona**, Odessa National Polytechnic University, Ukraine

Prof., DrS **Malyar Vasyl**, Lviv Polytechnic National University, Ukraine

Prof., DrS **Oborskyi Hennadii**, Odessa National Polytechnic University, Ukraine

Prof., DrS **Orlowski Arkadiusz**, Warsaw University of Life Sciences, Poland

Prof., DrS **Peresada Sergei**, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Ukraine

Prof., DrS **Petrushyn Viktor**, Odessa National Polytechnic University, Ukraine

Prof., Dr **Phillips Chris**, Newcastle University, United Kingdom

Prof., DrS **Prokopovych Ihor**, Odessa National Polytechnic University, Ukraine

Prof., PhD **Rafajlovski Goran**, University of applied science Berlin, Germany

Prof., DrS **Romansky Radi**, Technical University of Sofia, Bulgaria

Prof., DrS **Sachenko Anatoly**, Ternopil National Economic University

Prof., DrS **Sytnikov Valeriy**, Odessa National Polytechnic University, Ukraine

Prof., DrS **Vodichev Volodymyr**, Odessa National Polytechnic University, Ukraine

Prof., DrS **Vostrov Georgy**, Odessa National Polytechnic University, Ukraine

Prof., DrS **Woo Wai Lok**, Northumbria University, United Kingdom

Prof., Dr **Zaitseva Elena**, Zilina University, Slovakia

Executive secretary Horokholynska H. M. (Odessa National Polytechnic University)

The Journal is included in the list of specialized scientific publications, which can be published results of theses for the degree of doctor and candidate of technical sciences (Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine dated 26.11.20, No. 1471) in the following specialties: 113 – Applied Mathematics, 122 – Computer Science and Information Technology, 123 – Computer Engineering, 124 – System Analysis, 125 – Cybersecurity, 126 – Information systems and technologies, 141 – Electricity, electrotechnic and electromechanics, 151 – Automation and computer-integrated technologies.

Journal articles are indexed in international databases: Index Copernicus International, Ulrich's Periodicals Directory, Electronic Journals Library, Google Scholar, Research Bib, and in National Library of Ukraine named after Vernadsky.

Manuscripts can be prepared in Ukrainian, English or Russian. Manuscripts are double-blind reviewing. Frequency of the magazine issue is three times a year.

Editorial board address: Odessa National Polytechnic University, Shevchenko Avenue, 1, Odessa, 65044, Ukraine

Phone: +38(048) 703-84-54, +38(093) 540-38-41, +38(099) 797-23-11

E-mail: eltecs@opu.ua

Web-site: <http://eltecs.opu.ua/index.php/journal>

ISSN 2221-3805 (print)

ISSN 2221-3937 (on line)

Министерство образования и науки Украины
Одесский национальный политехнический университет

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

- **Электротехнические системы**
- **Информационная и вычислительная техника**
- **Системная инженерия**
- **Инновации**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ОСНОВАН В 1965 ГОДУ

№ 32 (108)

Астропринт
2020

УДК 004.231.2

Издатель - Одесский национальный политехнический университет (ОНПУ)

В журнале печатаются результаты научных исследований, касающихся разработки современных автоматизированных электромеханических систем, проектирования электромеханических преобразователей и электрических аппаратов, мехатроники, компьютерных систем и их компонентов, информационных интеллектуальных систем, компьютерных сетей, моделирование динамических систем, а также защиты информации в компьютерных системах.

Журнал рассчитан на инженеров и научных работников, занимающихся исследованием, проектированием и эксплуатацией электротехнических и компьютерных систем и их компонентов, а также на преподавателей и студентов высших и средних учебных заведений соответствующих специальностей

Печатается по решению Ученого совета ОНПУ от 30. 11. 2020, протокол № 4

Главный редактор

Маевский Д. А. (Одесский нац. политехн. ун-т)

Заместители главного редактора: Шапорин Р. О., Бушер В. В. (Одесский нац. политехн. ун-т)

Редакционная коллегия

Проф., д.т.н. **Атаманиук Игорь**, Николаевский национальный аграрный университет, Украина

Проф., к.т.н. **Бардис Николаос**, Греческая военная академия, Афины, Греция

Проф., д.т.н. **Ву Вай Лок**, Нортумбрийский университет, Великобритания

Проф., д.т.н. **Водичев Владимир**, Одесский национальный политехнический университет, Украина

Проф., д.т.н. **Востров Георгий**, Одесский национальный политехнический университет, Украина

Проф., д.т.н. **Дрозд Александр**, Одесский национальный политехнический университет, Украина

Проф., к.т.н. **Зайцева Елена**, Университет Жилина, Словакия

Доц., к.т.н. **Кисилевская Алена**, Одесский национальный политехнический университет, Украина

Проф., д.т.н. **Маляр Василий**, Львовский политехнический национальный университет, Украина

Проф., д.т.н. **Оборский Геннадий**, Одесский национальный политехнический университет, Украина

Проф., д.т.н. **Орловский Аркадиус**, Варшавский университет естественных наук, Польша

Проф., к.т.н. **Пересада Сергей**, Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», Украина

Проф., д.т.н. **Петрушин Виктор**, Одесский национальный политехнический университет, Украина

Проф., д.т.н. **Прокопович Игорь**, Одесский национальный политехнический университет, Украина

Проф., к.т.н. **Рафайловский Горан**, Университет прикладных наук Берлина, Германия

Проф., д.т.н. **Романский Ради**, Технический Университет Софии, Болгария

Проф., д.т.н. **Саченко Анатолий**, Тернопольский национальный экономический университет

Проф., д.т.н. **Ситников Валерий**, Одесский национальный политехнический университет, Украина

Проф., к.т.н. **Филлипс Крис**, Университет Ньюкасла, Великобритания

Проф., д.т.н. **Харченко Вячеслав**, Национальный аэрокосмический университет имени

Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина

Ответственный секретарь Горохолинская А.Н. (Одесский нац. политехн. ун-т)

Журнал включен в Перечень научных профессиональных изданий, в которых могут быть опубликованы результаты диссертационных работ на соискание ученых степеней доктора и кандидата технических наук (Приказ МОН Украины № 1471 от 26.11.20) по специальностям: 113 – Прикладная математика, 122 – Компьютерные науки и информационные технологии, 123 – Компьютерная инженерия, 124 – Системный анализ, 125 – Кибербезопасность, 126 – Информационные системы и технологии, 141 – Электроэнергетика, электротехника и электромеханика, 151 – Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии.

Статьи журнала индексируются в международных базах данных: Index Copernicus International, Ulrich's Periodicals Directory, Electronic Journals Library, Google Scholar, Research Bib, а также в Национальной библиотеке Украины имени В. И. Вернадского.

Принимаются рукописи, подготовленные на украинском, английском или русском языке. Рукописи статей проходят двойное слепое рецензирование. Периодичность выхода журнала - три раза в год.

Адрес редакционной коллегии: Украина, 65044, г. Одесса, пр. Шевченко, 1

Одесский национальный политехнический университет.

Тел.: +38(048) 703-84-54, +38(093) 540-38-41, +38(099) 797-23-11

E-mail: eltecs @opu.ua

Сайт: <http://eltecs.opu.ua/index.php/journal>

ISSN 2221-3805 (Print)

ISSN 2221-3937 (on Line)