

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

KHARKIV NATIONAL
UNIVERSITY OF RADIO ELECTRONICS

RADIOTEKHNKA

**All-Ukrainian
interdepartmental scientific and technical collection**

ISSN 0485-8972
eISSN 2786-5525

Founded in 1965

I S S U E 2 0 9

Kharkiv
Kharkiv National
University of Radio Electronics
2022

UDC 621.3

The collection is included in the List of scientific professional publications of Ukraine, category «Б», technical and physical-mathematical sciences (approved by orders of the Ministry of Education and Science from 17.03.2020 № 409; from 02.07.2020 № 886; from 24.09.2020 № 1188) by specialties: 171 – Electronics; 172 – Telecommunications and Radio Engineering; 173 – Avionics; 125 – Cybersecurity; 151 – Automation and Computer-Integrated Technologies; 152 – Metrology and Information-Measuring Equipment; 153 – Micro- and Nanosystem Technology; 163 – Biomedical Engineering; 105 – Applied Physics and Nanomaterials.

Website: rt.nure.ua

Registration certificate KV № 12098-969 PR dated 14. 12. 2006.

The authors are responsible for the content of the article.

Editorial Team

I.V. Svyd, *PhD, Assoc. prof.*, NURE, Ukraine (Chief Editor)
O.G. Avrunin, *Dr. Sc. (Tech.), prof.*, NURE, Ukraine
D.V. Ageiev, *Dr. Sc. (Tech.), prof.*, NURE, Ukraine
V.M. Bezruk, *Dr. Sc. (Tech.), prof.*, NURE, Ukraine
I.M. Bondarenko, *Dr. Sc. (Phys.-Math.), prof.*, NURE, Ukraine
I.D. Gorbenko, *Dr. Sc. (Tech.), prof.*, KhNU V. N. Karazin, Ukraine
D.V. Gretsikh, *Dr. Sc. (Tech.), Assoc. prof.*, NURE, Ukraine
K.Yu. Dergachov, *PhD, Senior Researcher, Sciences, prof.*, NAU «KhAI», Ukraine
V.O. Doroshenko, *Dr. Sc. (Phys.-Math.), prof.*, NURE, Ukraine
I.P. Zakharov, *Dr. Sc. (Tech.), prof.*, NURE, Ukraine
V.M. Kartashov, *Dr. Sc. (Tech.), prof.*, NURE, Ukraine
O.O. Konovalenko, *Dr. Sc. (Phys.-Math.), prof.*, Academician of NASU, IRA NASU, Ukraine
A.S. Kulik, *Dr. Sc. (Tech.), prof.*, NAU «KhAI», Ukraine
L.M. Lytvynenko, *Dr. Sc. (Phys.-Math.), prof.*, Academician of NASU, IRA NASU, Ukraine
A.I. Luchaninov, *Dr. Sc. (Phys.-Math.), prof.*, NURE, Ukraine
K.M. Muzyka, *Dr. Sc. (Tech.), Senior Researcher*, NURE, Ukraine
E.M. Odarenko, *Dr. Sc. (Tech.), prof.*, NURE, Ukraine
O.G. Pashchenko, *PhD, Assoc. prof.*, NURE, Ukraine
V.V. Semenets, *Dr. Sc. (Tech.), prof.*, NURE, Ukraine
S.I. Tarapov, *Dr. Sc. (Phys.-Math.), prof.*, member-cor. NASU, IRE NASU, Ukraine
V.M. Tkachov, *PhD, Assoc. prof.*, NURE, Ukraine
P.L. Tokarsky, *Dr. Sc. (Phys.-Math.), prof.*, IRA NASU, Ukraine
O.I. Filipenko, *Dr. Sc. (Tech.), prof.*, NURE, Ukraine
H.Z. Khalimov, *Dr. Sc. (Tech.), prof.*, NURE, Ukraine
O.M. Tsybal, *Dr. Sc. (Tech.), Assoc. prof.*, NURE, Ukraine
O.I. Tsopa, *Dr. Sc. (Tech.), prof.*, NURE, Ukraine

Members of the editorial board of foreign scientific institutions and educational institutions

Boris Chichkov (*Germany*), Marianna Ivashina (*Sweden*), Konstyantyn Markov (*Germany*), Georgiy Sevskiy (*Germany*), Larysa Titarenko (*Poland*), Vitaliy Zhurbenko (*Denmark*)

Responsible for the issue: *I.V. Svyd, PhD, Assoc. prof., I.D. Gorbenko, Dr. Sc. (Tech.), prof.*

Technical Secretary: *O.S. Polyakova.*

Recommended by the Scientific and Technical Council of Kharkiv National University of Radio Electronics, protocol № 5 dated 24.06.2022.

Address of the editorial board: Kharkiv National University of Radio Electronics (NURE), ave. Nauky, 14, Kharkiv, 61166, tel. (0572) 7021-397.

Journal "Radiotekhnika" is included in the Catalog of subscription editions of Ukraine, subscription index **08391**.

The use of materials is possible only with the consent of the editorial board.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

РАДІОТЕХНІКА

**Всеукраїнський
міжвідомчий науково-технічний збірник**

ISSN 0485-8972

eISSN 2786-5525

Засновано в 1965 р.

В И П У С К 2 0 9

Харків
Харківський національний
університет радіоелектроніки
2022

УДК 621.3

Збірник включено до Переліку наукових фахових видань України, категорія "Б", технічні та фізико-математичні науки (затверджено наказами МОНУ від 17.03.2020 № 409; від 02.07.2020 № 886; від 24.09.2020 № 1188) за спеціальностями: 171 – Електроніка; 172 – Телекомунікації та радіотехніка; 173 – Авіоніка; 125 – Кібербезпека; 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології; 152 – Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка; 153 – Мікро- та наносистемна техніка; 163 – Біомедична інженерія; 105 – Прикладна фізика та наноматеріали.

Сайт: rt.nure.ua

Реєстраційне свідоцтво КВ № 12098-969 ПР від 14. 12. 2006.

За зміст статті відповідальні автори.

Редакційна колегія

І.В. Свид, *к.т.н., доц., ХНУРЕ, Україна (головний редактор)*
О.Г. Аврунін, *д.т.н., проф., ХНУРЕ, Україна*
Д.В. Агеев, *д.т.н., проф., ХНУРЕ, Україна*
В.М. Безрук, *д.т.н., проф., ХНУРЕ, Україна*
І.М. Бондаренко, *д.ф.-м.н., проф., ХНУРЕ, Україна*
І.Д. Горбенко, *д.т.н., проф., ХНУ ім. В.Н. Каразіна, Україна*
Д.В. Грецьких, *д.т.н., доц., ХНУРЕ, Україна*
К.Ю. Дергачов, *к.т.н., с.н.с., НАУ ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Україна*
В.О. Дорошенко, *д.ф.-м.н., проф., ХНУРЕ, Україна*
І.П. Захаров, *д.т.н., проф., ХНУРЕ, Україна*
В.М. Карташов, *д.т.н., проф., ХНУРЕ, Україна*
А.А. Коноваленко, *д.ф.-м.н., академік НАНУ, РІАН, Україна*
А.С. Кулік, *д.т.н., проф., НАУ ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Україна*
Л.М. Литвиненко, *д.ф.-м.н., академік НАНУ, РІАН, Україна*
А.І. Лучанінов, *д.ф.-м.н., проф., ХНУРЕ, Україна*
К.М. Музика, *д.т.н., с.н.с., ХНУРЕ, Україна*
Є.М. Одаренко, *д.т.н., проф., ХНУРЕ, Україна*
О.Г. Пащенко, *к.ф.-м.н., доц., ХНУРЕ, Україна*
В.В. Семенець, *д.т.н., проф., ХНУРЕ, Україна*
С.І. Тарапов, *д.ф.-м.н., проф., член-кор. НАНУ, ІРЕ НАНУ, Україна*
В.М. Ткачов, *к.т.н., доц., ХНУРЕ, Україна*
П.Л. Токарський, *д.ф.-м.н., проф., РІАН, Україна*
О.І. Филипенко, *д.т.н., проф., ХНУРЕ, Україна*
Г.З. Халімов, *д.т.н., проф., ХНУРЕ, Україна*
О.М. Цимбал, *д.т.н., доц., ХНУРЕ, Україна*
О.І. Цопа, *д.т.н., проф., ХНУРЕ, Україна*

Міжнародна редакційна колегія

Boris Chichkov (*Німеччина*), Marianna Ivashina (*Швеція*), Konstantyn Markov (*Німеччина*), Georgiy Sevskiy (*Німеччина*), Larysa Titarenko (*Польща*), Vitaliy Zhurbenko (*Данія*)

Відповідальні за випуск: *І.В. Свид, канд. техн. наук, доц., І.Д. Горбенко, д-р техн. наук, проф.*

Технічний секретар: *О.С. Полякова.*

Рекомендовано Науково-технічною радою Харківського національного університету радіоелектроніки, протокол № 5 від 24.06.2022.

Адреса редакційної колегії: Харківський національний університет радіоелектроніки (ХНУРЕ), просп. Науки, 14, Харків, 61166, тел. (0572) 7021-397.

Збірник «Радіотехніка» включено до Каталогу передплатних видань України, передплатний індекс **08391**.

Використання матеріалів можливе лише за згодою редколегії.

COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS
RADIOTEKHNIKA
Issue 209
In English and Ukrainian

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
РАДИОТЕХНІКА
Випуск 209
Англійською та українською мовами

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ
РАДИОТЕХНИКА
Выпуск 209
На английском и украинском языках

Коректор Л.І. Сащенко

Підп. до друку 30.06.2022. Формат 60x90/8. Папір офсет. Гарнітура Таймс. Друк. ризограф.
Ум. друк. арк. 13,4. Обл.-вид. арк. 12,3. Тираж 300 прим. Зам. № 485. Ціна договір.

Харківський національний університет радіоелектроніки (ХНУРЕ)
Просп. Науки, 14, Харків, 61166.

Оригінал-макет підготовлено і збірник надруковано у ПФ „Колегіум”, тел. (057) 703-53-74.
Свідоцтво про внесення суб’єкта видавничої діяльності до Державного реєстру видавців.
Сер. ДК №1722 від 23.03.2004.