

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



ВІСНИК

ЧЕРКАСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Науковий збірник

**Том 29,
№ 3. 2024**

**ЧЕРКАСИ
2024**

ISSN: 2306-4412
E-ISSN: 2708-6070

Засновник:

Черкаський державний технологічний університет

Рік заснування: 1996

*Рекомендовано до друку та поширення
через мережу Інтернет Вченою радою
Черкаського державного технологічного університету
(протокол № 3 від 21 жовтня, 2024 р.)*

Державна реєстрація: Ідентифікатор медіа R30-04613.

Рішення Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення
№ 1916, протокол № 17 (30.05.2024 р.).

Науковий збірник входить до переліку наукових фахових видань України

Категорія «Б». Спеціальності:

122 – Комп'ютерні науки, 123 – Комп'ютерна інженерія, 125 – Кібербезпека,
126 – Інформаційні системи та технології, 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології, 172 – Телекомунікації та радіотехніка
(наказ Міністерства освіти і науки України від 28 грудня 2019 року № 1643)

**Науковий збірник представлено у міжнародних наукометричних базах даних,
репозитаріях та пошукових системах:** Bielefeld Academic Search Engine (BASE), Crossref, CiteFactor,
Ulrich's Periodicals Directory, WorldCat, Eurazian Scientific Journal Index (ESJI),
Directory of Open Access Journals (DOAJ), Open Ukrainian Citation Index (OUCI), Наукова періодика
України, Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського (НБУВ), Dimensions, UCSB Library,
Google Академія, German Union Catalogue of Serials (ZDB), Бібліотека Університету Осло,
Бібліотека Університету Халла, SOLO - Search Oxford Libraries Online, Інститут Європейського
університету, Бібліотека Лейпцизького університету (UBL),
Бібліотека Кембриджського університету

Адреса редакції:

Черкаський державний технологічний університет
18006, бульв. Шевченка, 460, м. Черкаси, Україна
E-mail: info@bulletin-chstu.com.ua
<https://bulletin-chstu.com.ua/uk>

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
CHERKASY STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY



BULLETIN OF CHERKASY STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

Scientific Collection

**Volume 29,
No. 3. 2024**

CHERKASY
2024

ISSN: 2306-4412
E-ISSN: 2708-6070

Founder:

Cherkasy State Technological University

Year of foundation: 1996

*Recommended for printing and distribution
via the Internet by the Academic Council
of Cherkasy State Technological University
(Minutes No. 3 of October 21, 2024)*

State Registration: Media identifier R30-04613.

Decision of the National Council of Television and Radio Broadcasting of Ukraine
No. 1916, Minutes No. 17, dated 30.05.2024.

The scientific collection is included in the list of Professional Scientific Publications of Ukraine

Category "B". Specialties: 0613 – Software and applications development and analysis,
0611 – Computer use, 0612 – Database and network design and administration,
0714 – Electronics and automation

(order of the Ministry of Education and Science of Ukraine No. 1643, dated December 28, 2019)

**The scientific collection is presented international scientometric databases, repositories
and scientific systems:**

Bielefeld Academic Search Engine (BASE), Crossref, CiteFactor,
Ulrich's Periodicals Directory, WorldCat, Eurasian Scientific Journal Index (ESJI),
Directory of Open Access Journals (DOAJ), Open Ukrainian Citation Index (OUCI),
Scientific Periodicals of Ukraine, Vernadsky National Library of Ukraine (VNLU), Dimensions,
UCSB Library, Google Scholar, German Union Catalogue of Serials (ZDB), University of Oslo Library,
University of Hull Library, SOLO - Search Oxford Libraries Online, European University Institute,
Leipzig University Library (UBL), Cambridge University Library

Editors office address:

Cherkasy State Technological University
18006, 460 Shevchenko Blvd., Cherkasy, Ukraine
E-mail: info@bulletin-chstu.com.ua
<https://bulletin-chstu.com.ua/en>

Редакційна колегія

Головний редактор:
Еміль Фауре

Доктор технічних наук, професор кафедри інформаційної безпеки та комп'ютерної інженерії, проректор з науково-дослідної роботи та міжнародних зв'язків, Черкаський державний технологічний університет, Україна

Національні члени редколегії:

Віктор Антонюк

Доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій виробництва приладів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

Володимир Артемчук

Доктор технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова Національної академії наук України, Україна

Костянтин Базіло

Доктор технічних наук, професор, доцент кафедри приладобудування, мехатроніки та комп'ютеризованих технологій, Черкаський державний технологічний університет, Україна

Олександр Батраченко

Доктор технічних наук, професор, професор кафедри проектування харчових виробництв та верстатів нового покоління, Черкаський державний технологічний університет, Україна

Максим Бондаренко

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри приладобудування, мехатроніки та комп'ютеризованих технологій, Черкаський державний технологічний університет, Україна

Юлія Бондаренко

Кандидат технічних наук, професор, старший науковий співробітник Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Україна

Вячеслав Ващенко

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри фізики, Черкаський державний технологічний університет, Україна

Тетяна Вітенько

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри обладнання харчових технологій, Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя, Україна

Сергій Вербицький

Кандидат технічних наук, Інститут продовольчих ресурсів Національної академії аграрних наук, Україна

Віталій Вязовик

Доктор технічних наук, доцент кафедри хімічних технологій та водоочищення, Черкаський державний технологічний університет, Україна

Володимир Гальченко

Доктор технічних наук, професор кафедри приладобудування, мехатроніки та комп'ютеризованих технологій, Черкаський державний технологічний університет, Україна

Віктор Гевод

Доктор хімічних наук, доцент, професор кафедри технології неорганічних речовин та екології, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет», Україна

Олександр Зайчук

Доктор технічних наук, професор, професор кафедри хімічних технологій кераміки, скла та будівельних матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет», Україна

Сергій Заболотній

Доктор технічних наук, доцент, професор кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних технологій, Черкаський державний бізнес коледж, Україна

Ігор Коваленко

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології неорганічних речовин та екології, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет», Україна

Олександр Лобода

Доктор хімічних наук, професор кафедри екології, Черкаський державний технологічний університет, Україна

Валентина Лукашенко

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри робототехніки та спеціалізованих комп'ютерних систем, Черкаський державний технологічний університет, Україна

Максим Мусієнко	Доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій навчально-наукового інституту інформаційних та освітніх технологій Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького, Україна
Василь Осипенко	Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри проектування харчових виробництв та верстатів нового покоління, Черкаський державний технологічний університет, Україна
Володимир Палагін	Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри радіотехніки та інформаційно-телекомунікаційних систем, Черкаський державний технологічний університет, Україна
Олександр Півоваров	Доктор технічних наук, професор кафедри технології неорганічних речовин і екології, Український державний хіміко-технологічний університет, Україна
Олександр Плахотний	Доктор технічних наук, доцент кафедри енерготехнологій, Черкаський державний технологічний університет, Україна
Тетяна Прокопенко	Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій проектування, Черкаський державний технологічний університет, Україна
Олександр Ситник	Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електротехнічних систем, Черкаський державний технологічний університет, Україна
Маргарита Скиба	Кандидат технічних наук, доцент кафедри технології неорганічних речовин та екології, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет», Україна
Роман Смотраєв	Кандидат технічних наук, доцент кафедри технології неорганічних речовин та екології, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет», Україна
Геннадій Столяренко	Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри хімії та хімічних технологій неорганічних речовин, Черкаський державний технологічний університет, Україна
Владислав Сухенко	Доктор технічних наук, професор кафедри харчових технологій, Черкаський державний технологічний університет, Україна
Тетяна Уткіна	Кандидат технічних наук, доцент кафедри робототехніки та спеціалізованих комп'ютерних систем, Черкаський державний технологічний університет, Україна
Євген Федоров	Доктор технічних наук, професор кафедри робототехніки та спеціалізованих комп'ютерних систем, Черкаський державний технологічний університет, Україна
Лілія Фролова	Доктор технічних наук, професор кафедри технології неорганічних речовин та екології, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет», Україна
Олена Хоменко	Кандидат хімічних наук, доцент, завідувач кафедри екології, Черкаський державний технологічний університет, Україна
Ірина Яценко	Доктор технічних наук, професор кафедри електротехнічних систем, Черкаський державний технологічний університет, Україна
Міжнародні члени редколегії:	
Джаміль Аль-Аззех	Кандидат наук з комп'ютерної інженерії, доцент, Прикладний університет Аль-Балка, Йорданія
Казис Римантас Йонас	Доктор технічних наук, професор, керівник інституту ультразвуку, академік Академії наук Литви, Каунаський технологічний університет, Литва
Максим Явіч	Доктор філософії, професор, Кавказький університет, Грузія

Editorial Board

Editor-in-Chief:**Emil Faure**

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Information Security and Computer Engineering, Vice-Rector for Research and International Relations, Cherkasy State Technological University, Ukraine

National Members of the Editorial Board:**Viktor Antonyuk**

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Computer-Integrated Instrumentation Manufacturing Technologies, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

Volodymyr Artemchuk

Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, G.E. Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering of National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

Kostiantyn Bazilo

Doctor of Technical Sciences, Professor, Associate Professor of the Department of Instrumentation, Mechatronics and Computerized Technologies, Cherkasy State Technological University, Ukraine

Oleksandr Batrachenko

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Design of Food Production and New Generation Machine Tools, Cherkasy State Technological University, Ukraine

Maksym Bondarenko

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Instrumentation, Mechatronics and Computerized Technologies, Cherkasy State Technological University, Ukraine

Iuliia Bondarenko

PhD in Technical Sciences, Professor, Senior Researcher at the State Research Institute for Testing and Certification of Arms and Military Equipment, Ukraine

Viacheslav Vashchenko

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Physics, Cherkasy State Technological University, Ukraine

Tetiana Vitenko

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Food Technology Equipment, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ukraine

Sergii Verbytskyi

PhD in Technical Sciences, Institute of Food Resources of National Academy of Agrarian Sciences, Ukraine

Vitalii Viazovyyk

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemical Technology and Water Treatment, Cherkasy State Technological University, Ukraine

Volodymyr Halchenko

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Instrumentation, Mechatronics and Computerized Technologies, Cherkasy State Technological University, Ukraine

Viktor Gevod

Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Inorganic Substances Technology and Ecology, State Higher Educational Institution "Ukrainian State University of Chemical Technology", Ukraine

Aleksandr Zaichuk

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Chemical Technologies of Ceramics, Glass and Building Materials, State Higher Educational Institution "Ukrainian State University of Chemical Technology", Ukraine

Serhii Zabolotnii

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Computer Engineering and Information Technologies, Cherkasy State Technological University, Ukraine

Ihor Kovalenko

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Inorganic Substances Technology and Ecology, State Higher Educational Institution "Ukrainian State University of Chemical Technology", Ukraine

Oleksandr Loboda

Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Department of Ecology, Cherkasy State Technological University, Ukraine

Valentyna Lukashenko

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Robotics and Specialized Computer Systems, Cherkasy State Technological University, Ukraine

Maksym Musienko	Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Computer Engineering, Black Sea National University named after Petro Mohyla, Ukraine
Vasyl Osypenko	Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies of the Educational and Research Institute of Information and Educational Technologies of Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, Ukraine
Volodymyr Palahin	Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Radio Engineering and Information and Telecommunication Systems, Cherkasy State Technological University, Ukraine
Oleksandr Pivovarov	Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Inorganic Substances Technology and Ecology, Ukrainian State University of Chemical Technology, Ukraine
Oleksandr Plachotnyi	Doctor of Engineering, Associate Professor of the Department of Energy Technologies, Cherkasy State Technological University, Ukraine
Tetiana Prokopenko	Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Information Technology Design, Cherkasy State Technological University, Ukraine
Oleksandr Sytnyk	Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Electrical Engineering Systems, Cherkasy State Technological University, Ukraine
Margarita Skiba	PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Inorganic Substances Technology and Ecology, State Higher Educational Institution "Ukrainian State University of Chemical Technology", Ukraine
Roman Smotraiev	PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Inorganic Substances Technology and Ecology, Ukrainian State University of Chemical Technology, Ukraine
Hennadii Stoliarenko	Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Chemistry and Chemical Technologies of Inorganic Substances, Cherkasy State Technological University, Ukraine
Vladyslav Sukhenko	Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Food Technologies, Cherkasy State Technological University, Ukraine
Tetiana Utkina	PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Robotics and Specialized Computer Systems, Cherkasy State Technological University, Ukraine
Eugene Fedorov	Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Robotics and Specialized Computer Systems, Cherkasy State Technological University, Ukraine
Liliya Frolova	Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Inorganic Substances Technology and Ecology, State Higher Educational Institution "Ukrainian State University of Chemical Technology", Ukraine
Olena Khomenko	PhD in Chemical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Ecology, Cherkasy State Technological University, Ukraine
Irina Yatsenko	Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Electrical Engineering Systems, Cherkasy State Technological University, Ukraine

International Members of the Editorial Board:

Jamil Al-Azzeh	PhD in Computer Engineering, Associate Professor, Al-Balqa' Applied University, Jordan
Kažys Rymantas Jonas	Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Ultrasound Institute, Academician of the Lithuanian Academy of Sciences, Kaunas University of Technology, Lithuania
Maksim Iavich	Doctor of Philosophy, Professor, Caucasus University, Georgia