

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

Північно-Східний науковий центр  
Транспортної академії України

## **ВІСНИК**

ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНЬОГО УНІВЕРСИТЕТУ

---

Збірник наукових праць  
Випуск 110

## **BULLETIN**

of

KHARKIV NATIONAL  
AUTOMOBILE AND HIGHWAY UNIVERSITY

---

Collection of Scientific Works

Issue 110

Харків  
ХНАДУ  
2025

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

|                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Головний редактор<br>Заст. гол. редактора<br>Помічник гол. редактора<br>Відповідальний секретар | <b>Батракова Анжеліка Геннадіївна</b><br><b>Гурко Олександр Геннадійович</b><br><b>Бережна Катерина Вікторівна</b><br><b>Захарова Єліна Володимирівна</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | докт. техн. наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи, ХНАДУ<br>докт. техн. наук, професор, професор кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, ХНАДУ<br>канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри мостів, конструкцій і будівельної механіки ім. В.О. Російського, ХНАДУ<br>асистент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою, ХНАДУ.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Члени редколегії:                                                                               | <b>Богомолов Віктор Олександрович</b><br><b>Клец Дмитро Михайлович</b><br><b>Батишкін Юрій Вікторович</b><br><b>Бугарський Сергій Олександрович</b><br><b>Бондаренко Володимир Васильович</b><br><b>Вдовченко Володимир Олексійович</b><br><b>Волков Володимир Петрович</b><br><b>Воронков Олександр Іванович</b><br><b>Внукова Наталія Володимирівна</b><br><b>Глушкова Діана Борисівна</b><br><b>Горбачов Петро Федорович</b><br><b>Золотарьов Віктор Олександрович</b><br><b>Жданюк Валерій Кузьмович</b><br><b>Кириченко Ігор Георгійович</b><br><b>Клименко Валерій Іванович</b><br><b>Кожушко Віталій Петрович</b><br><b>Колопаяжний Володимир Максимович</b><br><b>Левтеров Андрій Іванович</b><br><b>Подригало Михайло Абович</b><br><b>Поліарус Олександр Васильович</b><br><b>Прийлучка Людмила Анатоліївна</b><br><b>Нікітіна Тетяна Борисівна</b><br><b>Сасенко Наталія Віталіївна</b><br><b>Солодов Валерій Григорович</b><br><b>Толмачов Сергій Михайлович</b><br><b>Величко Геннадій Вікторович</b><br><b>Golovashchenko Sergey Fedorovich</b><br><b>Hartmut Beckedahl</b><br><b>Igors Tipans</b><br><b>Ireneusz Zbicinski</b><br><b>Laurinavicius Alfredas</b><br><b>Mikhailenko Vladimir</b><br><b>Prentkovskis Olegas</b><br><b>Puodziukas Virgaudas</b><br><b>Radovskiy Boris S.</b><br><b>Roland Lachmayer</b><br><b>Teltayev Bagdat Burkhanbauly</b><br><b>Tyrsa Vira</b><br><b>Sidi Mochammed Senouci</b><br><b>Tropina Albina Albertovna</b><br><b>Vrublevsky Aleksandr Nikolaevich</b> | докт. техн. наук, професор, ректор, ХНАДУ<br>докт. техн. наук, професор, ХНАДУ<br>канд. техн. наук, професор, завідувач кафедри фізики, ХНАДУ<br>канд. техн. наук, доцент, декан дорожньо-будівельного факультету, ХНАДУ<br>канд. пед. наук, доцент, професор кафедри філософії та педагогіки професійної підготовки, ХНАДУ<br>докт. техн. наук, доцент, професор кафедри транспортних технологій, ХНАДУ<br>докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри технічної експлуатації і сервісу автомобілів ім. М.Я. Говорущенка, ХНАДУ<br>докт. техн. наук, професор, професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння, ХНАДУ<br>докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри екології, ХНАДУ<br>докт. техн. наук, доцент, завідувач кафедри технології металів і матеріалознавства ім. О.М. Петриченка, ХНАДУ<br>докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри транспортних систем і логістики, ХНАДУ<br>докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії ім. М.І. Волкова, ХНАДУ<br>докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри будівництва і експлуатації автомобільних доріг ім. О.К. Бірulia, ХНАДУ<br>докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри автомобілів ім. А.Б. Гредескула, ХНАДУ<br>докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри мостів, ХНАДУ<br>докт. ф-м. наук, професор, професор кафедри інформатики і прикладної математики, ХНАДУ<br>канд. техн. наук, професор, завідувач кафедри інформатики і прикладної математики, ХНАДУ<br>докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри технології машинобудування і ремонту машин, ХНАДУ<br>докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри метрології і безпеки життєдіяльності, ХНАДУ<br>канд. іст. наук, доцент, вчений секретар, ХНАДУ<br>докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри природничих і гуманітарних дисциплін, ХНАДУ<br>докт. пед. наук, професор, завідувач кафедри іноземних мов, ХНАДУ<br>докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри теоретичної механіки і гідравліки, ХНАДУ<br>докт. техн. наук, професор, професор технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії ім. М.І. Волкова, ХНАДУ<br>канд. техн. наук, головний конструктор СП «Кредо-Діалог», Мінськ<br>Ph.D., Technical Leader Manufacturing Research Department, Ford Research & Advanced Engineering Research and Innovation Center, USA<br>Ing, prof. Bergische Universität Wuppertal, Institute of Pavement Construction and Pavement Design, Germany<br>Dr., Deputy Rector for International Academic Cooperation and Studies, Riga Technical University, Institute of Mechanics, Latvia<br>Ph.D., prof., Department of heat and mass transfer, Technical University of Lodz, Poland<br>Dr., prof., vice-rector, Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania<br>S. Dr., prof., Pusan National University, Plasma Research Center, Busan, South Korea<br>Dr., prof., Dean of faculty of Transport engineering, Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania<br>Dr., assos. prof., head of department of Roads, Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania<br>prof. consultant, Radnat Consulting, Irvine, United States<br>Ph.D., Dr.-Ing, Leibniz Universität Hannover, Institute of product development, Germany<br>Dr., prof., Kazakh Academy of Transport and Communication, Kazakhstan<br>Dr., prof., Baja California Autonomous University, Mexico<br>Ph.D., prof., Institut Supérieur Automobile et Transport, France<br>Dr., prof., Texas A and M University, Department of Aerospace Engineering, United States<br>prof. D. Sc., University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Poland. |

EDITORIAL BOARD

|                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Editor-in-Chief<br>Vice Editor-in-Chief<br>Assistant of Editor-in-Chief<br>Executive Secretary: | <b>Batrakova Angelika Gennadiivna</b><br><b>Gurko Alexander Gennadiyovich</b><br><b>Berezina Kateryna</b><br><b>Zakharova Elina Volodymyrivna</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | DSci, Prof., Vice-rector for Research and Education, KhNAHU<br>DSci, Assoc. Prof., Professor of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, KhNAHU<br>PhD, Assoc. Prof. of Department of Bridges, Constructions and Building Mechanics, KhNAHU<br>assistant of the department of road design, geodesy and land management, KhNAHU.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Editorial Board Members:                                                                        | <b>Bogomolov Viktor Oleksandrovych</b><br><b>Klets Dmytro Mykhailovych</b><br><b>Batygin Yuriy Viktorovich</b><br><b>Bondarenko Volodymyr Vasylovych</b><br><b>Bugaryevskiy Segey Oleksandrovych</b><br><b>Golovashchenko Sergey Fedorovich</b><br><b>Hartmut Beckedahl</b><br><b>Hlushkova Diana Borysivna</b><br><b>Horbachov Petro Fedorovich</b><br><b>Igors Tipans</b><br><b>Ireneusz Zbicinski</b><br><b>Klimenko Valeriy Ivanovich</b><br><b>Kozhushko Vitalii Petrovich</b><br><b>Kolodyazhny Volodymyr Maksymovych</b><br><b>Kirichenko Igor Heorhiyovich</b><br><b>Laurinavicius Alfredas</b><br><b>Levtarov Andrii Ivanovich</b><br><b>Mikhailenko Vladimir S.</b><br><b>Nikitina Tatyana Borysivna</b><br><b>Podrigalo Mykhailo Abovych</b><br><b>Poliarus Olexsandr Vasylovych</b><br><b>Prentkovskis Olegas</b><br><b>Prylutska Liudmyla</b><br><b>Puodziukas Virgaudas</b><br><b>Radovskiy Boris S.</b><br><b>Roland Lachmayer</b><br><b>Saenko Natalia Vitaliivna</b><br><b>Sidi Mochammed Senouci</b><br><b>Solodov Valery Gryhorovich</b><br><b>Teltayev Bagdat Burkhanbauly</b><br><b>Tolmachov Serhiy Mykolaiovych</b><br><b>Tropina Albina Albertovna</b><br><b>Tyrsa Vira</b><br><b>Vdovychenko Volodymyr Olexsiiovych</b><br><b>Velychko Hennadii Viktorovich</b><br><b>Vnuкова Natalia Volodymyrivna</b><br><b>Volkov Volodymyr Petrovych</b><br><b>Voronkov Olexsandr Ivanovich</b><br><b>Vrublevsky Aleksandr Nikolaevich</b><br><b>Zhdanyuk Valerii Kuzmovich</b><br><b>Zolotarev Viktor Oleksandrovych</b> | DSci, Prof., Rector of the KhNAHU;<br>DSci, Prof., KhNAHU;<br>DSci, Prof., Head of Physics Department, KhNAHU;<br>PhD, Assoc. Prof., Professor of the Department of Philosophy and Pedagogy of Professional Training, KhNAHU;<br>PhD, Assoc. Prof., Dean of Road-Construction Faculty, KhNAHU;<br>PhD, Technical Leader of Manufacturing Research Department, Ford Research & Advanced Engineering Research and Innovation Center, USA;<br>Dr.-Ing, Prof., Bergische Universität Wuppertal, Institute of Pavement Construction and Pavement Design, Germany;<br>DSci, Assoc. Prof., Head of the Department of Metal Technology and Materials Science named after O. M. Petrychenko, KhNAHU;<br>DSci, Prof., Head of the Department of Transport Systems and Logistics, KhNAHU;<br>Dr., Deputy Rector for International Academic Cooperation and Studies, Riga Technical University, Institute of Mechanics, Latvia;<br>PhD, Prof., Department of Heat and Mass Transfer, Technical University of Lodz, Poland;<br>PhD, Prof., Head of the Department of Motor Vehicles named after A. B. Hredeskul, KhNAHU;<br>DSci, Prof., Head of Bridges, Constructions, Construction mechanisms Department, KhNAHU;<br>DSci, Prof., Professor of the Department of Informatics and Applied Mathematics, KhNAHU;<br>DSci, Prof., Dean of Mechanical Faculty, KhNAHU;<br>Dr., Prof., Vice-Rector, Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania;<br>PhD, Prof., Head of the Department of Informatics and Applied Mathematics, KhNAHU;<br>Dr., Prof., Pusan National University, Plasma Research Center, Busan, South Korea;<br>DSci, Prof., Head of the Department of Natural Sciences and Humanities, KhNAHU;<br>DSci, Prof., Head of the Department of Mechanical Engineering Technologies and Motor Vehicle Repair, KhNAHU;<br>DSci, Prof., Head of the Department of Metrology and Safety of Human Vital Activities, KhNAHU;<br>Dr., Prof., Dean of Faculty of Transport Engineering, Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania;<br>Ph.D., Assoc. Prof., Academic Secretary, KhNAHU;<br>Dr., Assoc. Prof., Head of the Department of Roads, Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania;<br>Prof. Consultant, Radnat Consulting, Irvine, United States;<br>PhD, Dr.-Ing, Leibniz Universität, Hannover, Institute of Product Development, Germany;<br>DSci, Prof., Head of the Department of Foreign Languages, KhNAHU;<br>PhD, Prof., Institut Supérieur Automobile et Transport, France;<br>DSci, Prof., Head of the Department of Theoretical Mechanics and Hydraulics, KhNAHU;<br>Dr., Prof., Kazakh Academy of Transport and Communication, Kazakhstan;<br>DSci, Prof., Professor of the Department of Technology of Road-Construction Materials and Chemistry named after M. I. Volkov, KhNAHU;<br>Dr., Prof., Texas A and M University, Department of Aerospace Engineering, United States;<br>Ph.D., Prof., Baja California Autonomous University, Mexico<br>PhD, Assoc. Prof., Prof. of Transport Technologies Department, KhNAHU;<br>PhD, Chief designer of «Credo-Dialogue», Minsk;<br>Dsci, Prof., Professor of the Department of Ecology, KhNAHU;<br>DSci, Prof., Head of the Department of Motor Vehicle Repair and Maintenance named after M. Ya. Hovorushchenko, KhNAHU;<br>DSci, Prof., Professor of the Department of Internal Combustion Engines, KhNAHU;<br>Prof., DSci, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Poland;<br>DSci, Prof., Head of the Department of Road Construction and Maintenance named after O. K. Birulia, KhNAHU;<br>DSci, Prof., Head of the Department of Technology of Road-Construction Materials and Chemistry named after M. I. Volkov, KhNAHU. |

«Вісник ХНАДУ»

- Входить до затвердженого ДАК Переліку наукових професійних видань України, в яких можуть бути опубліковані результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук.
- Реферується українським реферативним журналом «Джерело» і входить до загальнодержавної реферативної бази даних «Україніка наукова» (Україна).
- Включений до міжнародних наукометричних баз даних:
  - Index Copernicus (Польща);
  - Scholar Google.