

ISSN 2078-4481

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВІСНИК

ХЕРСОНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

2(89)

Рекомендовано до друку Вченою радою
Херсонського національного технічного університету
(протокол № 13 від 28.05.2024 року)

Журнал включено до Переліку наукових фахових видань України
категорії «Б» за економічними науками, спец. – 051, 071, 072, 073, 075, 076, 242
(Наказ МОН України від 17.03.2020 № 409),
281 (Наказ МОН України від 29.06.2021 № 735);
та за технічними науками, спец. – 121, 122, 123, 125, 126, 131, 132, 133, 151, 274, 275
(Наказ МОН України від 02.07.2020 № 886)
та спец. 141, 161, 182 (Наказ МОН України від 24.09.2020 № 1188)

Журнал включено до наукометричних баз, електронних бібліотек та репозитаріїв:
GoogleScholar, Crossref, National Library of Ukraine (Vernadsky)



Видавничий дім
«Гельветика»
2024

Редакційна колегія

Головний редактор

Литвиненко В.І.

д.т.н., професор, завідувач кафедри інформатики і комп'ютерних наук,
заслужений діяч науки і техніки України

Заступник головного редактора

Сарібєкова Ю.Г.

д.т.н., професор, проректор з наукової роботи та міжнародних зв'язків

Шерстюк В.Г.

д.т.н., професор, проректор з навчальної роботи

Відповідальний секретар

Лур'є І.А.

к.т.н., доцент, начальник навчально-методичного відділу, доцент кафедри інформатики і комп'ютерних наук

Члени редакційної колегії

Баганов Є.О.	к.т.н., доцент
Березовський Ю.В.	д.т.н., доцент
Бойко Г.А.	к.т.н., доцент
Вороненко М.О.	к.т.н., доцент
Гончар О.І.	д.е.н., професор
Горбачов П.Ф.	д.т.н., професор
Дімітрова В.	д.н., доцент
Джерелюк Ю.О.	д.е.н., професор
Євтушенко В.В.	к.т.н., доцент
Жарікова М.В.	д.т.н., професор
Зубкова К.В.	к.т.н., доцент
Корчевська Л.О.	д.е.н., професор
Кузьміна Т.О.	д.т.н., професор
Кунік О.М.	к.т.н., доцент
Луб'яний П.В.	к.т.н., доцент
Наумов О.Б.	д.е.н., професор
Олійник Н.М.	к.т.н., доцент
Плющ Р.М.	д.держ.упр., професор
Половцев О.В.	д.держ.упр., к.т.н., професор
Рудакова Г.В.	д.т.н., професор
Русанов С.А.	к.т.н., доцент
Савін С.Ю.	д.е.н., доцент
Салєба Л.В.	к.т.н., доцент
Семешко О.Я.	д.т.н., професор
Сідельникова Л.П.	д.е.н., професор
Smolarz A. (Польща)	dr.hab.inz.
Стоянова О.В.	к.т.н., доцент
Топалова Е.Х.	к.держ.упр., доцент
Філіппова В.Д.	д.держ.упр., професор
Хрущ Н.А.	д.е.н., професор
Чепелюк О.В.	д.т.н., професор
Шандова Н.В.	д.е.н., професор
Шарко О.В.	д.т.н., професор
Шарко М.В.	д.е.н., професор
Шевченко І.І.	д.т.н., професор

ISSN 2078-4481

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
KHERSON NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY**

VISNYK

**OF KHERSON NATIONAL
TECHNICAL UNIVERSITY**

2(89)

Recommended for publication by the Academic Council
of Kherson National Technical University
(Minutes № 13 on 28th May 2024)

The journal is included in the List of Scientific Professional Editions of Ukraine Category “B”
in economics, special. – 051, 071, 072, 073, 075, 076, 242
(Ukraine Education and Science Ministry Order dated 17.03.2020, № 409),
281 (Ukraine Education and Science Ministry Order dated 29.06.2021, № 735);
and technical sciences, special. – 121, 122, 123, 125, 126, 131, 132, 133, 151, 274, 275
(Ukraine Education and Science Ministry Order dated 02.07.2020, № 886)
and special. 141, 161, 182
(Ukraine Education and Science Ministry Order dated 24.09.2020, № 1188)

The journal is included in the scientometric bases, electronic libraries and repositories:
Google Scholar, Crossref, National Library of Ukraine (Vernadsky)



Publishing House
“Helvetica”
2024

Editorial Board

Editor-in-Chief

Litvinenko V.I.

Doctor of Engineering Science, Professor, Head of the Department of Informatics and Computer Science, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine

Deputy Editor-in-Chief

Saribekova Yu.G.

Doctor of Engineering Science, Professor, Vice-Rector for Scientific Work and International Relations

Sherstiuk V.H.

DSc (Engineering), Professor, Vice-Rector for Academic Affairs

Executive Secretary

Lurie I.Yu.

PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Educational and Methodical Department, Associate Professor of the Department of Informatics and Computer Sciences

Members of Editorial Board

Baganov Ye.O.	Ph.D., Associate Professor
Berezovsky Yu.V.	Doctor of Engineering Science, Associate Professor
Boiko H.A.	Ph.D., Associate Professor
Voronenko M.O.	Ph.D., Associate Professor
Honchar O.I.	Doctor of Economic Sciences, Professor
Horbachov P.F.	Doctor of Economics, Professor
Dimitrova V.Ya. (Bulgaria)	Ph.D., Associate Professor
Dzhereliuk Yu.A.	Doctor of Economics, Professor
Yevtushenko V.V.	Ph.D., Associate Professor
Zharikova M.V.	Doctor of Engineering Science, Professor
Zubkova K.V.	Ph.D., Associate Professor
Korchevska L.A.	Doctor of Economics, Professor
Kuzmina T.O.	Doctor of Technical Sciences, Professor
Kunyk O.N.	Ph.D., Associate Professor
Lubianyi P.V.	Ph.D., Associate Professor
Naumov O.B.	Doctor of Economics, Professor
Oliinyk N.M.	Ph.D., Associate Professor
Pliushch R.M.	Doctor of Sciences in Public Administration, Professor
Polovtsev O.V.	Doctor of Sciences in Public Administration, Professor
Rudakova H.V.	Doctor of Engineering Science, Professor
Rusanov S.A.	Ph.D., Associate Professor
Savin S.Yu.	Doctor of Economics, Associate Professor
Saleba L.V.	Ph.D., Associate Professor
Semeshko O.Ya.	Doctor of Engineering Science, Professor
Sidelnykova L.P.	Doctor of Economics, Professor
Smolarz A. (Poland)	Ph.D., Associate Professor
Stoianova O.V.	Ph.D., Associate Professor
Topalova E.K.	Ph.D., Associate Professor
Filippova V.D.	Doctor of Science in Public Administration, Professor
Khrushch N.A.	Doctor of Economics, Professor
Chepeliuk O.V.	Doctor of Technical Sciences, Professor
Shandova N.V.	Doctor of Economics, Professor
Sharko M.V.	Doctor of Economics, Professor
Sharko O.V.	Doctor of Engineering Science, Professor
Shevchenko I.I.	Doctor of Technical Sciences, Professor

ЗМІСТ

ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

Є. В. Гаврилко, В. Я. Савко. Розробка інтелектуального спеціального програмного забезпечення управління вентиляційних систем конфайнменту на основі урахування інерційності системи.....	11
І. М. Задорожня, М. О. Задорожній. Аналіз умов демпфування коливань в двомасовому електроприводі на основі ефекту резонансної електромеханічної взаємодії з додатковими зворотними зв'язками.....	20
А. В. Йовченко. Дослідження можливості енергосистеми України в забезпеченні обслуговування парку електромобілів.....	27
В. І. Кравченко. Виготовлення та експериментальна оцінка біопалива на основі осадів стічних вод для одержання теплової енергії та будівельного матеріалу.....	32
В. М. Литвиненко. Дослідження впливу технологічних факторів на параметри діодів з нікелевим контактом.....	38
В. С. Парненко, Є. В. Корбут. Покращення технологічності деталі типу «Тримач» з використанням програмного забезпечення Autodesk Fusion.....	44
L. M. Petrov, I. V. Kishianus, S. V. Verpivskiy, O. A. Malinovskyi, V. A. Nikishyn, S. V. Sheluhin. Elements of the theory of dynamic developed suspension military vehicle.....	50
С. А. Русанов, О. І. Ключев, І. А. Шадохіна. Відповідність теорії граничної рівноваги гіпотезам, що покладені в основу теорії Янсена механіки ґрунтів.....	57
А. І. Саченко. Система автоматичного керування режимами роботи розподільної електричної мережі з сонячними електростанціями при несиметричному навантаженні.....	63
І. М. Світій, О. І. Черняк. Про особливості автоматичного керування котлом ДКВр-10-13.....	72
А. А. Симонова, В. Д. Кулинич, Р. Г. Аргат, В. В. Драгобецький. Дослідження способів підвищення міцності поверхневого шару матеріалів, які не піддаються гартуванню.....	79
О. В. Степанов, І. Ю. Кобзар. Організаційно-правовий механізм регулювання безпеки автотранспорту в транспортному процесі.....	85

ТЕХНОЛОГІЯ ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Т. О. Кузьміна, Ю. В. Березовський, Є. О. Калінський, Ю. А. Арлюкова, А. О. Трофимчук. Інноваційні елементи інформаційно-комунікаційних технологій у стандартизації матеріалів та виробів легкої промисловості.....	90
--	----

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

С. Г. Антошук, Н. О. Комлева. Оптимізаційне моделювання інтелектуальних систем діагностування.....	99
Д. Я. Бейрак, Т. А. Вакалюк. Підходи до міжпроцесної комунікації у побудові мікросервісних систем в науковій літературі.....	109
В. О. Буренко. Групові експертні оцінки обробки інформації в комп'ютерних системах «Розумного міста».....	118
A. V. Vashchenko, Ie. A. Drozdova, O. O. Prykhodko. Determining optimal compression algorithm for files of different formats.....	126
М. О. Vernik. Comparison of classical and quantum computing for particle swarm optimization.....	134
К. П. Газдюк, М. Ю. Горбатенко, К. М. Дмитрашук, В. Ю. Водянчук. Дослідження інструментів збірки сучасних веб додатків.....	139
І. А. Гетьман, Ю. А. Солод, М. А. Держевецька. Дослідження застосування штучних нейронних мереж для підвищення точності прогнозування температури навколишнього середовища.....	145
Н. В. Головіна. Розроблення системи підтримки прийняття рішень для моніторингу та попередження лісових пожеж в Україні.....	150
О. Г. Зінов'єва. Огляд програмних засобів для роботи з нейронними мережами.....	157

В. В. Кальченко, В. К. Ободяк, І. О. Пугач. Нормативні вимоги України в сфері кіберзахисту персональних даних в інформаційно-комунікаційних системах у порівнянні з вимогами США та ЄС.....	162
О. І. Кучеренко, Т. А. Вакалюк. Огляд технічних та програмних засобів керування БПЛА.....	170
В. Г. Мартінович, А. В. Боровко. Еволюція ключових етапів формування інформаційної економіки.....	177
Р. О. Новачук, Д. С. Антонюк. Оцінка ефективності систем електронної комерції на основі багаторитеріального аналізу прийняття рішень.....	183
Є. В. Огінський, Д. С. Антонюк. Моделювання впливу доходності та ризикованості інвестицій у контексті управління персональними фінансами.....	188
О. С. Орехов, Т. А. Фаріонова. Математичні моделі для оцінювання розміру java-застосунків.....	196
Б. В. Пашковський, М. І. Слабінога. Удосконалення автоматизованого процесу визначення ділянок та місць концентрації дорожньо-транспортних пригод на території Івано-Франківської міської територіальної громади.....	204
В. В. Прачик, О. М. Ляшенко. Моделювання та розроблення програмного забезпечення для оперативно-рятувальної служби цивільного захисту ДСНС України.....	211
Н. П. Соколова, І. В. Прохоренко, Н. А. Тимошенко, Т. А. Мазур, Б. О. Денисенко. Автоматизована система управління авіаперевезень.....	219
І. О. Suprunenko, V. M. Rudnytskyi. Comparison of message passing systems in context of adaptive logging method.....	228
Н. О. Фесьоха. Стан та тенденції розвитку кібербезпеки в епоху цифрової трансформації – аналіз сучасних загроз та заходів захисту.....	235
О. У. Chaplia, Н. І. Клим. Microservice architecture for cyber-physical systems.....	242
В. Г. Шерстюк, Р. М. Захарченко. Використання можливостей згорткової нейромережі для виявлення позитивного оцінювання недоброчесних студентів.....	251

УПРАВЛІННЯ ТА АДМІНІСТРУВАННЯ

Ю. О. Джерелюк. Методичний підхід до оцінювання адаптаційного потенціалу забезпечення антикризової стійкості туристичного підприємства.....	259
V. V. Yevtushenko, O. O. Semchenko, Y. O. Kalinsky, V. M. Bezpalchenko. Market of products of the feed industry in today's conditions.....	265
Є. О. Калінський, С. А. Дrajниця. Особливості проведення товарознавчих експертиз із визначення кодів товару згідно з УКТ ЗЕД.....	269

ПУБЛІЧНЕ УПРАВЛІННЯ ТА АДМІНІСТРУВАННЯ

Т. М. Безверхнюк, І. Б. Азарова. Проблемні питання планування відновлення територіальних громад і регіонів у контексті євроінтеграції України і викликів воєнного стану.....	273
О. М. Вольська. Застосування інформаційних систем в механізмі комунікації місцевої влади та громадськості з метою формування позитивного іміджу України на міжнародній арені.....	280
М. І. Губа. Прозорість місцевого самоврядування як фактор забезпечення інституційної стійкості системи публічного управління в умовах воєнного стану.....	285
В. М. Демченко. Від Петра I до сучасної Росії: імперські традиції та ознаки.....	291
Н. М. Ковальська. Державна політика гендерної рівності та її міжнародне врегулювання.....	297
О. В. Козир. Модель системних перетворень соціального розвитку міста.....	303
І. М. Перестюк. Дефолт і фінансова система України: перегляд регуляторної політики.....	310
Н. О. Серьогіна, І. О. Климчук. Типологія корупційних ризиків у військових конфліктах.....	315
О. С. Семілетов. Особливості формування енергетичної автономії в Україні.....	320
Л. Я. Слободян. Державна політика створення безбар'єрного середовища в Україні: напрямки та реалії.....	326
В. Д. Філіппова. Сучасні орієнтири іміджевої політики України.....	332

СФЕРА ОБСЛУГОВУВАННЯ

Л. В. Чорна, Л. В. Ковальська, Л. В. Польова. Розвиток франчайзингу в туризмі в постковідний період: світова та вітчизняна практика.....337

СОЦІАЛЬНІ ТА ПОВЕДІНКОВІ НАУКИ

Н. В. Шандова, Р. А. Шандов. Особливості формування бізнес-моделей стратегічних альянсів..... 345

CONTENTS

ENGINEERING SCIENCES

E. V. Gavrillo, V. Y. Savko. Development of intellectual special software for secure control of ventilation systems for confinement based on the secure inertition of the system.....	11
I. M. Zadorozhniaia, M. O. Zadorozhni. Analysis of the damping conditions of oscillations in a two-mass electric drive based on the effect of resonant electromechanical interaction with additional feedback.....	20
A. V. Yovchenko. Study of the possibility of the energy system of Ukraine in providing service to the fleet of electric vehicles.....	27
V. I. Kravchenko. Production and experimental evaluation of biofuels based on sewage sludge for heat energy and building materials.....	32
V. M. Lytvynenko. Study of the influence of technological factors on the parameters of diodes with nickel contact.....	38
V. S. Parnenko, Ie. V. Korbut. Improving the manufacturability of the “Holder” part using Autodesk Fusion software.....	44
L. M. Petrov, I. V. Kishianus, S. V. Verpivskyi, O. A. Malinovskyi, V. A. Nikishyn, S. V. Sheluhin. Elements of the theory of dynamic developed suspension military vehicle.....	50,
S. A. Rusanov, O. I. Kliuiev, I. A. Shatokhina. Compliance of the theory of limiting equilibrium with the hypotheses underlying Jansen’s theory of soil mechanics.....	57
A. I. Sachenko. Automatic control system of the operation modes of the power distribution network with solar power plants under unbalanced load.....	63
I. M. Svityi, O. I. Cherniak. About features of automatic control of DKVr-10-13 boiler.....	72
A. A. Symonova, V. D. Kulynych, R. H. Argat, V. V. Drahobetskyi. Research of ways to increase the strength of the surface layer of not hardenable materials.....	79
O. V. Stepanov, I. Y. Kobzar. Organizational and legal mechanism for regulating the safety of motor vehicles in the transportation process.....	85

THE TECHNOLOGY OF LIGHT AND FOOD INDUSTRY

T. O. Kuzmina, Yu. V. Berezovsky, E. O. Kalinsky, Ju. A. Arlyukova, A. O. Trofymchuk. Innovative elements of information and communication technologies in the standardization of materials and products of light industry.....	90
--	----

INFORMATION TECHNOLOGIES

S. G. Antoshchuk, N. O. Komleva. Optimization modeling of intelligent diagnostic systems.....	99
D. Ya. Beirak, T. A. Vakaliuk. Approaches to inter-process communication in microservice systems in the scientific literature.....	109
V. O. Burenko. Group expert judgments of information processing in computer systems of the smart city.....	118
A. V. Vashchenko, Ie. A. Drozdova, O. O. Prykhodko. Determining optimal compression algorithm for files of different formats.....	126
M. O. Vernik. Comparison of classical and quantum computing for particle swarm optimization.....	134
K. P. Hazdiuk, M. Yu. Gorbatenko, K. M. Dmytrashchuk, V. Yu. Vodianchuk. Investigation of modern web application bundlers.....	139
I. A. Getman, Y. A. Solod, M. A. Derzhevetska. Exploring the application of artificial neural networks for improved accuracy in environmental temperature prediction.....	145
N. V. Holovina. Decision support system development for monitoring and prevention of forest fires in Ukraine.....	150
O. G. Zinovieva. Overview of software for working with neural networks.....	157

V. V. Kalchenko, V. K. Obodiak, I. O. Puhach. Regulatory requirements of Ukraine in the field of cyber protection of personal data in information and communication systems in comparison with the requirements of the USA and the EU.....	162
O. I. Kucherenko, T. A. Vakaliuk. Overview of technical and software means of UAV control.....	170
V. H. Martinovych, A. V. Borovko. Evolution of the key stages of the formation of the information economy.....	177
R. O. Novachuk, D. S. Antoniuk. Evaluation of e-commerce solution efficiency based on multi-criteria decision making analysis.....	183
Ye. V. Ohinskyi, D. S. Antoniuk. Modeling the impact of investment returns and risks in the context of personal finance management.....	188
O. S. Oriekhov, T. A. Farionova. Mathematical models for the size estimating of Java applications.....	196
B. V. Pashkovskiy, M. I. Slabinoha. Wimprovement of the automated process of determining areas and places of concentration of road and transport accidents in the urban territorial community of Ivano-Frankiv.....	204
V. V. Prachik, O. M. Liashenko. Simulation and development of software for the operational and rescue service of the civil protection of the SES of Ukraine.....	211
N. P. Sokolova, I. V. Prokhorenko, N. A. Timoshenko, T. A. Mazur, B. O. Denysenko. Automated management system of air transportations.....	219
I. O. Suprunenko, V. M. Rudnytskyi. Comparison of message passing systems in context of adaptive logging method.....	228
N. O. Fesokha. The state and trends of cybersecurity development in the era of digital transformation – analysis of current threats and protection measures	235
O. Y. Chaplia, H. I. Klym. Microservice architecture for cyber-physical systems.....	242
V. G. Sherstyuk, R. N. Zakharchenko. Using the possibilities of a convulsional neural network to detect positive assessment of discontinued students.....	251

MANAGEMENT AND ADMINISTRATION

J. O. Dzhereliuk. Methodical approach to the assessment of the adaptation potential of ensuring anti-crisis sustainability of the tourism enterprise.....	259
V. V. Yevtushenko, O. O. Semenchenko, Y. O. Kalinsky, V. M. Bezpalchenko. Market of products of the feed industry in today's conditions.....	265
E. O. Kalinsky, S. A. Drazhnytsia. Features of conducting commodity expertise for determining product codes according to UCG FEA.....	269

PUBLIC MANAGEMENT AND ADMINISTRATION

T. M. Bezverkhniuk, I. B. Azarova. Problem issues of planning the restoration of territorial communities and regions in the context of the European integration of Ukraine and the challenges of martial state.....	273
O. M. Volska. Application of information systems in the communication mechanism of local government and the public with the purpose of forming a positive image of Ukraine on the international arena.....	280
M. I. Huba. Transparency of local self-government as a factor in ensuring the institutional stability of the public administration system under martial law.....	285
V. M. Demchenko. Imperial trade from Peter 1-st to modern Russia how a threat for Ukrainian government.....	291
N. M. Koval'ska. State policy of gender equality and its international regulation.....	297
O. V. Kozyr. Model of systemic transformations of city social development.....	303
I. M. Perestyuk. Default and financial system of Ukraine: review of regulatory policy.....	310
N. O. Seruohina, I. O. Klymchuk. Typology of corruption risks in military conflicts.....	315
O. S. Siemilietov. Features of the formation of energy autonomy in Ukraine.....	320
L. Ya. Slobodian. State policy of creating a barrier-free environment in Ukraine: directions and realities.....	326
V. D. Filippova. Current guidelines of the image policy of Ukraine.....	332

SERVICE SECTOR

L. V. Chorna, L. V. Kovalska, L. V. Polyova. Tourism franchising development in the post-Covid period:
global and domestic practice 337

SOCIAL AND BEHAVIORAL SCIENCES

N. V. Shandova, R. A. Shandov. Specifics of forming business models for strategic alliances..... 345

І. А. ГЕТЬМАН

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерних інформаційних технологій
Донбаська державна машинобудівна академія
ORCID: 0000-0003-1835-425

Ю. А. СОЛОД

магістр кафедри комп'ютерних інформаційних технологій
Донбаська державна машинобудівна академія
ORCID: 0009-0000-2350-8403

М. А. ДЕРЖЕВЕЦЬКА

кандидат економічних наук,
доцент кафедри цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень
Технічний університет «Метінвест Політехніка»
ORCID: 0000-0002-9952-4992

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Штучні нейронні мережі стають все більш популярним інструментом у дослідженні та прогнозуванні погодних умов. Використання цих мереж для прогнозування температури навколишнього середовища на короткочасний період має великий потенціал у сферах, де точні та швидкі прогнози є критично важливими. Попередження про погоду вважаються ключовими інформаційними продуктами, оскільки вони допомагають захистити життя та майно від небезпек, пов'язаних з екстремальними погодними умовами. Велике значення має не лише сам факт попередження, а й достовірність та своєчасність отриманої інформації. Метою роботи було збільшення точності прогнозування температури та вибір найбільш ефективної моделі нейронної мережі для вирішення задачі прогнозування температури. Погодні параметри для дослідження були зібрані з кліматичного центру даних та поділені на три набори (навчальний, тестувальний та валідаційний). Було проведено навчання та тестування нейронних мереж. Як перспективний підхід для збільшення точності прогнозу було обрано рекурентну нейронну мережу (RNN) та комбінацію нейронних мереж (згорткової та повнозв'язної). З використанням наборів даних за цими моделями було зроблено прогноз майбутньої температури. Перевірка точності цих прогнозів проводилась за допомогою метрик якості, таких як середня абсолютна похибка (MAE), середня квадратична похибка (MSE), середня абсолютна відсоткова похибка (MAPE). Доведено, що запропоновані моделі мають похибку у 15.46% та 14.22% для прогнозування температури рекурентною нейронною мережею та їх комбінацією. Результати підтверджують, що запропоновані моделі мають потенціал для успішного застосування при прогнозуванні температури.

Ключові слова: прогнозування температури, комбінація нейронних мереж, рекурентні нейронні мережі, метрики якості.

I. A. GETMAN

Ph.D. (Technology),

Lecturer at the Department of Computer Information Technologies

Donbass State Engineering Academy

ORCID: 0000-0003-1835-425

Y. A. SOLOD

Master at the Department of Computer Information Technologies

Donbass State Engineering Academy

ORCID: 0009-0000-2350-8403

M. A. DERZHEVETSKA

Ph.D. (Economics),

Lecturer at the Department of Digital Technologies

and Project-Analytical Solutions

Technical University "Metinvest Polytechnic" LLC

ORCID: 0000-0002-9952-4992

EXPLORING THE APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR IMPROVED ACCURACY IN ENVIRONMENTAL TEMPERATURE PREDICTION

Artificial neural networks are becoming increasingly popular tools in researching and forecasting weather conditions. The use of these networks for predicting ambient temperature in the short term holds great potential in fields where accurate and rapid forecasts are critically important. Weather warnings are considered key informational products as they help protect lives and property from dangers associated with extreme weather conditions. The reliability and timeliness of the received information are of significant importance, not just the fact of the warning itself. The aim of the research was to increase the accuracy of temperature forecasting and select the most effective neural network model for addressing the temperature prediction task. Weather parameters for the research were collected from the climate data center and divided into three datasets (training, testing, and validation). Neural networks were trained and tested. A recurrent neural network (RNN) and a combination of neural networks (convolutional and fully connected) were chosen as promising approaches to increase forecast accuracy. Using these models with the datasets, forecasts of future temperatures were made. The accuracy of these forecasts was verified using quality metrics such as mean absolute error (MAE), mean squared error (MSE), and mean absolute percentage error (MAPE). It was demonstrated that the proposed models have errors of 15.46% and 14.22% for forecasting temperature with the recurrent neural network and its combination, respectively. The results confirm that proposed models have the potential for successful application in temperature forecasting.

Key words: temperature prediction, neural network combination, recurrent neural networks, quality metrics.

Постановка проблеми

Погода має великий вплив на різні сторони життя людини. Прогнози температури використовуються в багатьох місцях. Наприклад, комунальними компаніями для оцінки попиту на постачання енергії протягом найближчих днів. Також вони важливі для сільського господарства, адже погода прямо впливає на кількість врожаю [1]. Помітний економічний ефект дає використання метеорологічної інформації в авіації, будівництві і багатьох інших сферах. Для виконання прогнозування на початку проводять моніторинг (збір даних про поточний стан атмосфери) [2]. Дані для метеорологічних прогнозів збирають на спеціалізованих метеорологічних станціях. За зміною навколишнього середовища розрізняють глобальний, державний, регіональний, локальний і детальний моніторинг. Різниця між ними в тому, яку територію вони охоплюють. Найбільшу територію охоплює глобальний моніторинг (міждержавна система), найменшу – детальний (система підприємств, родовищ).

Система прогнозування з роками залишається незмінною, а саме використовують чисельні (гідродинамічні) методи. Вони включають в себе вирішення системи гідродинамічних рівнянь [3]. За підсумками відомостей про метеодані створюється комп'ютерна модель атмосфери – програма, в якій з урахуванням систем рівнянь гідротермодинаміки виконуються метеорологічні прогнози. Вирішення цієї системи – складна задача та точність такого прогнозу складає близько 70% для прогнозу на 5–10 днів [4]. Точність таких прогнозів залежить від швидкості розрахунку обчислювальних систем, кількості та якості інформації, що надходить з метеостанцій. Чим більше буде даних, тим точніше буде розрахунок.

Існує й інший метод для отримання прогнозованих даних температури – статистичний. Він дозволяє спрогнозувати різні метеоеlementи на певний період часу, використовуючи дані про стан погоди за минуле і сьогоднішнє. До нього й відносяться нейронні мережі. Основа статистичного методу полягає в узагальненні усіх отриманих даних з вибірки і навчання нейронних мереж. Воно відбувається таким чином, що при отриманні у вихідному шарі початкових метеоданих, нейронна мережа віддавала би результат щодо подальшого значення температури,

заснований на математичній обробці даних. Цей метод прогнозування засновується лише на використанні минулих даних, тому доволі чутливий до можливих «викидів», тож якнайкраще показує тенденцію зміни температури за певний період часу у майбутньому. Для нас це є важливою перевагою, адже в такому випадку ми отримуємо прогнозоване значення, яке майже дорівнює фактичному значенню.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Існує багато варіантів архітектури штучних нейронних мереж, але в залежності від них та заданих налаштувань буде змінюватися точність отриманого нами результату. Питанням комплексного аналізу застосування штучних нейронних мереж (ШНМ) приділяли увагу багато вчених.

Г'янеш Шривастава виявив, що архітектури ШНМ, такі як BPN, RBFN, найкраще створені для прогнозування хаотичної поведінки та достатньо ефективні для прогнозування мусонних дощів, а також інших явищ прогнозування параметрів погоди в меншому географічному регіоні [5]. Дорошенко А.Ю. запропонував власну архітектуру нейронної мережі, яка дозволяє прогнозувати помилки прогнозів чисельної регіональної моделі, з метою подальшого коригування прогнозу неперервних метеорологічних величин [6]. Кайфен Бі займався системою прогнозу погоди за допомогою глибокого навчання та розглядав точне середньострокове глобальне прогнозування погоди за допомогою 3D-нейронних мереж (3D Earth-specific transformer 3DEST) [7]. Ajina розробив додаток, завдяки якому можна як прогнозувати погоду в конкретному місті, так і порівнювати різні погодні умови в різних містах [8]. К. Абгішек, Baboo, Shereef представили дослідження використання мережі прямого зв'язку із зворотним розповсюдженням та розглядали застосовність підходу ШНМ шляхом розробки ефективних і надійних нелінійних прогностичних моделей для аналізу погоди [9; 10]. Зараз найчастіше для прогнозування температури використовуються ШНМ, які пропонував Брайан Сміт [11].

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є збільшення точності прогнозування температури та вибір найбільш ефективної моделі нейронної мережі для вирішення задачі прогнозування температури.

Викладення основного матеріалу дослідження

Для досягнення мети були використані дві основні архітектури нейронних мереж: рекурентна мережа та комбінація мереж (згортової та повнозв'язної мереж).

Розпочато дослідження з моделі рекурентної мережі, після чого перейшли до комбінації нейронних мереж. Основною метою є створення та навчання мережі, яка може передбачати температуру на найближчий час для конкретної станції та конкретного дня, враховуючи погоду за попередній дні (вхідні дані). У дослідженні розглядалися чотири погодні змінні: температуру, вологість, швидкість вітру та атмосферний тиск.

Вхідний набір даних складається з 248 зразків, що відповідають 31 дню місяця, розташованих у стовпцях на аркуші Excel, який пізніше імпортується в програму. Кожен рядок таблиці містить інформацію яка збиралася на метеостанції впродовж місяця. Спостереження проводились кожні 3 години: о 00:00, 03:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00 і 21:00 по Гринвічу. Для використання нейронними мережами всі зібрані дані було розбито на три групи: тренувальні (60% зразків), тестувальні (20%) та валідаційні (20%).

Для дослідження було зібрано 248 зразків вхідних даних, але відомо, що навчання нейронної мережі краще з більшим обсягом вибірки. Тому існуючий набір даних було збільшено в 3 рази (744 зразки).

Рекурентні нейронні мережі уявляють собою нейронні мережі із зворотним зв'язком між різними шарами нейронів. Наявність в ній зворотного зв'язку дозволяє передавати інформацію від одного кроку навчання мережі до іншого. Для нормалізації вхідних даних рекурентної нейронної мережі була використана функція активації виду гіперболічного тангенса. Це дозволило стабілізувати та нормалізувати вхідні дані перед подальшим їхнім аналізом мережею. Процес навчання RNN включав обчислення значень прихованого шару на кожному кроці навчання. Він здійснювався за допомогою алгоритму Backpropagation Through Time (BPTT), що розширює стандартний алгоритм зворотного поширення помилок (backpropagation) на випадок часових послідовностей. Тривалість навчання та розмір пакету оптимізували експериментально.

Відповідний вибір кількості шарів і кількості нейронів в кожному з них потребують експериментів. У початковому експерименті було два рекурентні шари. Після чого збільшували їх кількість та змінювали кількість нейронів в них до отримання більш точних результатів прогнозу. На кожному кроці навчання значення прихованого шару нейронної мережі $k_t \in IR^m$ обчислювали за формулою:

$$k_t = f(Wx_t + Uk_{t-1} + b_k) \quad (1)$$

де: $x_t \in IR^m$ – вхідний вектор в момент часу t ; $W \in IR^{m \times n}$, $U \in IR^{m \times n}$ та $b_k \in IR^{m \times n}$ – параметри нейронної мережі, які обчислюються при навчанні; f – функція активації.

Результат на виході, тобто значення прогнозованої температури було розраховано за формулою:

$$y_t = f(Wk_t + b_y) \quad (2)$$

Початково у кожному шарі встановили кількість у 50 нейронів. Після чого змінювали їх значення для досягнення кращого результату. Результат записується, щоб побачити, наскільки добре мережа здатна передбачити результат, використовуючи скориговані ваги мережі.

Інша архітектура, за якою було виконано прогнозування, – це комбінація нейронних мереж. У ній використовувались шари двох видів нейронних мереж, а саме повнозв'язної та згорткової. Повнозв'язані шари дозволяють агрегувати ознаки, отримані з попередніх шарів, і створюють зв'язок між ними для фінального прогнозу. А згорткові шари можуть ефективно обробляти різні типи вхідних даних, такі як зображення чи послідовності числових значень та виявляти локальні шаблони та ознаки. В нашому випадку вони виявляли локальні залежності між температурою, швидкістю вітру, атмосферним тиском та вологістю. Для цієї архітектури використовували функцію активації ReLU (Rectified Linear Unit) для нелінійності.

З огляду на те, що повнозв'язні шари допомагають агрегувати ознаки, тому першим шаром було обрано саме його. Повнозв'язний шар у нейронній мережі складався з n нейронів, а саме з 64. Кожен нейрон повністю з'єднаний з кожним вхідним значенням. Якщо приймати x_1, x_2, \dots, x_n вхідні значення, а w_1, w_2, \dots, w_n – ваги, то вихід у обчислюється за формулою:

$$y = f(w_1 * x_1 + w_2 * x_2 + \dots + w_n * x_n + b) \quad (3)$$

де: w_1, w_2, \dots, w_n – ваги, присвоєні кожному вхідному з'єднанню; x_1, x_2, \dots, x_n – вхідні значення; b – зсув або bias; $f()$ – функція активації, яка введе нелінійність в модель.

Після чого передавали інформацію на згортковий шар. Це дозволяє визначити кількість внутрішніх представлень (feature maps), що відображаються в моделі. Для початку встановлювали 32 фільтри та розмір 4×4 .

Загортковий шар розраховували за такою формулою:

$$x^l = f(x^{l-1} * k^l + b^l) \quad (4)$$

де: x^l – вихід шару l ; $f()$ – функція активації; b^l – коефіцієнт зсуву ядра l ; $*$ – операція згортки входу x з ядром k .

Наступним використовували шар згорткового пулінгу, щоб виділити найважливіші ознаки. Було повторено згортковий шар та шар пулінгу. Зроблено декілька таких блоків для виокремлення ієрархічних ознак. У кінці знову було перейдено до повнозв'язного шару.

Для оцінки точності прогнозування були використані метрики, такі як середня абсолютна похибка (MAE), середня квадратична похибка (MSE), середня абсолютна відсоткова похибка (MAPE). Кожен експеримент був проведений на окремих наборах даних для уникнення перенавчання та забезпечення узагальненості результатів.

У результаті було отримано, що при використанні 2 шарів RNN з кількістю нейронів 50 в кожному шарі середня квадратична похибка склала 1.68, середня абсолютна похибка склала 1.109. Після розрахунку середньої абсолютної відсоткової похибки між фактичними значеннями та прогнозованими значеннями було отримано такий результат $MAPE = 15.4561$. Це говорить про те, що середня абсолютна відсоткова похибка між фактичними та прогнозованими значеннями становить приблизно 15.46%. Чим менше значення MAPE, тим краще прогноз. Таким чином, якщо середня температура становить 20°C , то прогноз з такою помилкою може відхилитися в середньому на приблизно 3.09°C від фактичної температури.

При додаванні ще одного шару RNN з 50 нейронами похибка трохи збільшилась. $MSE = 2.11$ $MAE = 1.23$.

Змінюючи кількість нейронів у першому шарі з 50 до 100 у моделі з двома шарами можемо побачити збільшення значення похибок $MSE = 4.2265$, $MAE = 1.7283$, $MAPE = 26.4\%$. Тобто з збільшенням кількості нейронів у першому шарі вдвічі точність прогнозу зменшується. Збільшивши кількість нейронів у другому шарі, похибка зменшилась у порівнянні з першим варіантом $MSE = 2.72$, $MAE = 1.335$, $MAPE = 19.89\%$.

Під час прогнозування температури за комбінацією нейронних мереж було виявлено, що початковий варіант моделі, що має першим шаром повнозв'язний з 64 нейронами, другим – згортковий з 32 фільтрами та розміром 4×4 , третім шар пулінгу та знов повнозв'язний, має значення середньої абсолютної відсоткової похибки $MAPE = 19.6$, тобто 19.6%. Значення середньої квадратичної похибки та середньої абсолютної похибки склало: $MSE = 5.3074$, $MAE = 1.883$. При збільшенні кількості фільтрів до 64 результат трохи покращився. В цьому випадку $MSE = 4.7840$, $MAE = 1.7247$, а $MAPE = 18.74\%$. При додаванні ще одного згорткового шару на 64 фільтри маємо покращення прогнозу $MSE = 2.5241$, $MAE = 1.2898$, а $MAPE = 14.36\%$. При збільшенні кількості нейронів до 150 у повнозв'язному шарі покращення прогнозу майже не відбувається, $MAPE$ у такому випадку 14.22%.

Висновки

Дослідження в галузі застосування штучних нейронних мереж у прогнозуванні температури навколишнього середовища відкриває перспективи для подальших досліджень та розвитку нових алгоритмів, спрямованих на поліпшення точності та надійності передбачень у цій сфері.

Отримані результати свідчать про потенційне використання штучних нейронних мереж для прогнозування температури в реальному часі. Такий підхід може знайти широке застосування у сферах, де важлива точність передбачень та реагування на температурні зміни, таких як метеорологія, енергетика та екологія.

Список використаної літератури

1. Івус Г.П. Спеціалізовані прогнози погоди: підручник. 2012. URL: <http://surl.li/tdgwk>
2. Перелигін Б.В., Ткач Т.Б. Застосування штучних нейронних мереж для обробки інформації в технічних системах моніторингу навколишнього середовища: навч. посіб. Одеса: ОДЕУ, 2014. 218 с. URL: <http://surl.li/rrgro>
3. Хоменко І.А. Динаміка атмосфери: навчальний посібник. Одеса: Одеський державний екологічний університет. 2022. URL: <http://surl.li/tdgrg>
4. Технології у сфері погоди: як далеко зайшли синоптики. URL: <https://marketer.ua/ua/weather-technology-how-far-forecasters-have-come/>
5. Shrivastava G. Application of Artificial Neural Networks in Weather Forecasting: A Comprehensive Literature Review / International Journal of Computer Applications. 2012. Vol. 51, no. 18. P. 17–29. URL: <https://doi.org/10.5120/8142-1867>
6. Дорошенко А.Ю., Шпиг В.М., Кушніренко Р.В. Застосування машинного навчання для уточнення чисельних метеорологічних прогнозів // Проблеми програмування. Київ. 2020. С. 375–385. URL: <https://doi.org/10.15407/pp2020.02-03.375>
7. Bi K. Accurate medium-range global weather forecasting with 3D neural networks. Nature. 2023. URL: <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06185-3>
8. Ajina A. Prediction of weather forecasting using artificial neural networks : Journal of Applied Research and Technology. 2023. No. 2. P. 205–211. URL: <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2023.21.2.1698>
9. Abhishek K. Weather Forecasting Model using Artificial Neural Network: Procedia Technology. 2012. Vol. 4. P. 311–318. URL: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2012.05.047>
10. Baboo S. S., Shereef I. K. An Efficient Weather Forecasting System using Artificial Neural Network. International Journal of Environmental Science and Development. 2010. P. 321–326. URL: <https://doi.org/10.7763/ijesd.2010.v1.63>
11. Smith B. A. Air temperature prediction using artificial neural networks. International Journal of Computational Intelligence Volume 3 Number 3, 2006. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&>
12. Гетьман І., Держевецька М., Бауліна Т., Кухтік Т., & Жуков М. Розробка програмного комплексу для коригування ваги хворих на цукровий діабет на основі використання нейронної мережі з логістичною регресією. *Itsynergy*, (1), 2022. С. 26–46. URL: <https://www.its.istu.edu.ua/ITS/article/view/10>

References

1. Ivus, G. P. (2012). *Spetsializovani prohnozy pohody* [Specialized weather forecast]. Odessa. URL: <http://surl.li/tdgwk>
2. Perelighin, B.V., Tkach, T.B. (2014). *Zastosuvannia shtuchnykh neuronnykh merezh dlia obrobky informatsii v tekhnichnykh systemakh monitorynhu navkolyshnoho seredovyshcha* [Application of artificial neural networks for information processing in technical systems of environmental monitoring] URL: <http://surl.li/rrgro>
3. Khomenko, I.A. (2022). *Dynamika atmosfery* [Atmospheric dynamics: a textbook. Odessa: Odessa State Environmental University]. URL: <http://surl.li/tdgrg>
4. *Tekhnolohii u sferi pohody: yak daleko zaishly synoptyky*. [Weather technology: how far forecasters have come] URL: <https://marketer.ua/ua/weather-technology-how-far-forecasters-have-come/>
5. Shrivastava G. Application of Artificial Neural Networks in Weather Forecasting: A Comprehensive Literature Review / International Journal of Computer Applications. 2012. Vol. 51, no. 18. P. 17–29. URL: <https://doi.org/10.5120/8142-1867>
6. Doroshenko, A. Yu., Shpyg, V. M., Kushnirenko, R. V. (2020) *Zastosuvannia mashynnoho navchannia dlia autochnennia chyselnykh meteorolohichnykh prohnoziv* [Application of machine learning to refine numerical meteorological forecasts] P. 375–385. URL: <https://doi.org/10.15407/pp2020.02-03.375>
7. Bi, K. (2023) Accurate medium-range global weather forecasting with 3D neural networks. URL: <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06185-3>
8. Ajina, A. (2023) Prediction of weather forecasting using artificial neural networks : Journal of Applied Research and Technology. P. 205–211. URL: <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2023.21.2.1698>
9. Abhishek, K. (2012) Weather Forecasting Model using Artificial Neural Network: Procedia Technology.. P. 311–318. URL: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2012.05.047>
10. Baboo, S. S., Shereef, I. K. (2010) An Efficient Weather Forecasting System using Artificial Neural Network. International Journal of Environmental Science and Development. P. 321–326. URL: <https://doi.org/10.7763/ijesd.2010.v1.63>
11. Smith, B. A. (2006) Air temperature prediction using artificial neural networks. International Journal of Computational Intelligence URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&>
12. Getman, I., Derzhevetska, M., Baulina, T., Kukhtik, T., & Zhukov, M. (2022). *Rozrobka prohramnoho kompleksu dlia koryhuvannia vahy khvorykh na tsukrovyy diabet na osnovi vykorystannia neuronnoi merezhi z lohistychnoiu rehresiiu* [Development of a software complex for adjusting the weight of patients with diabetes based on the use of a neural network with logistic regression]. *Itsynergy*, (1), P. 26–46. URL: <https://www.its.istu.edu.ua/ITS/article/view/10>