

ТЕОРЕТИЧНИЙ І НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ
ІНЖЕНЕРНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ

THEORETICAL AND APPLIED SCIENCE JOURNAL
ENGINEERING ACADEMY OF UKRAINE



В І С Н И К

ІНЖЕНЕРНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ

ВИПУСК 4

***BULLETIN OF ENGINEERING
ACADEMY OF UKRAINE***

Issue 4

ТЕОРЕТИЧНИЙ І НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ
ІНЖЕНЕРНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ

THEORETICAL AND APPLIED SCIENCE JOURNAL
ENGINEERING ACADEMY OF UKRAINE

Kyiv 2019 Kyiv

Журнал друкує статті науковців вузів та установ України, інших країн відповідно до рубрик:

Авіаційна і космічна техніка
Військово-технічні проблеми
Геологія, видобування та переробка корисних копалин
Інженерні проблеми агропромислового комплексу
Інформаційні системи, обчислювальна й електронна техніка, системи зв'язку та приладобудування
Матеріалознавство
Машинобудування
Медична інженерія
Металургія
Охорона навколишнього середовища (інженерна екологія) і ресурсозбереження
Стандартизація, метрологія і сертифікація
Будівництво та будіндустрія
Технологія легкої промисловості
Технологія харчової промисловості
Хімічні технології й інженерна біотехнологія
Економіка, право та керування в інженерній діяльності
Енергетика
Освіта та виховання

Journal submits articles of researchers of universities and institutions of Ukraine and other countries in accordance with headings:

Aviation and Space Engineering
Military-technical problems
Geology, Mining and Processing of Minerals
Engineering Problems of Agroindustrial Complex
Information systems , computers and electronic equipment , communication systems and instrumentation
Material Science
Mechanical Engineering
Medical Engineering
Metallurgy
Preservation of Environment (Ecological Engineering) and Resource Saving
Standardisation, Metrology and Certification
Building and Construction Engineering
Technology of Light Industry
Technology of Food Industry
Chemical Technologies and Engineering Biotechnology
Economics, law and management in engineering
Energetics
Education and training

Матеріали друкуються українською, російською або англійською мовами.

Materials are submitted in Ukrainian, Russian or English languages.

Номер затверджено на засіданні Вченої ради Центральноукраїнського національного технічного університету

The issue is approved at the meeting of Academic Council of Central Ukrainian National Technical University

Протокол № 8 від 25.11.2019р
Вісник Інженерної академії України включений у новий Перелік наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук в галузі технічних наук (Наказ МОН України від 13.07.2015р. №747)

Protocol No.8 dated 25.11.2019.
Bulletin of Engineering academy of Ukraine is included into the new List of Scientific special editions of Ukraine, in which results of dissertation works may be published for to be conferred with academic degrees of doctor and candidate of sciences in the field of engineering sciences (Decree of Ministry Education and Science of the Ukraine No.747 dated 13.07.2015)

Співзасновники:
Центральноукраїнський національний технічний університет
Інженерна академія України
Одеська державна академія технічного регулювання та якості

Cofounders:
Центральноукраїнський національний технічний університет
Engineering Academy of Ukraine
Odessa State Academy of Technical Regulation and Quality

Редакційна колегія:

Головний редактор – д.т.н., проф. **В.П. Квасніков**
Відповідальний секретар – к.т.н. **В.І. Савченко**
Редактор – **П.П.Дубина**

Члени редколегії:

А.І. Бабушкін - д.т.н., проф. (авіаційна і космічна техніка),
Л.Р. Вишняков – д.т.н.(матеріалознавство),
Р.Б. Гевко - д.т.н., проф. (машинобудування),
В.Л. Дикань - д.т.н., проф. (економіка, право та управління в інженерній діяльності),
В.В. Древецький - д.т.н., проф. (інформаційні системи, обчислювальна й електронна техніка, системи зв'язку та приладобудування),
Ігор Емрі - доктор, проф. (директор Інституту стійких інноваційних технологій, Словенія),
М.Ю. Ізбаш - д.т.н., проф. (будівництво і будіндустрія),
Л.В. Коломієць – д.т.н., проф.. (стандартизація, метрологія і сертифікація),
В.І. Литвиненко - д.х.н. (хімічні технології та інженерна біотехнологія),
А.П. Мельник - д.т.н., проф. (нафтогазові тех..і),
В.М. Мельник - д.т.н., проф. (геологія, добування та переробка корисних копалин),
Й.С. Мисак - д.т.н., проф. (енергетика),
О.О. Панасенко - д.т.н., проф. (водне господарство і гідротехніка),
В.В. Соловей - д.т.н., проф. (охорона навколишнього середовища і ресурсозбереження),
В.І. Ступа - д.т.н., проф. (технологія легкої промисловості),
О.К. Тришин - академік УААН, д.с/г.н., проф. (інженерні проблеми АПК),
М.І. Хвисьюк - д.м.н., проф. (медична інженерія),
О.І. Черевко - д.т.н., проф. (технологія харчової промисловості),
М.І. Черновол – член-кор. УААН, д.т.н., проф. (матеріалознавство),
С.Л. Ярошевський - д.т.н., проф. (металургія).

Editorial board:

Editor-in-chief – Dr. of Eng., Prof. **V.P. Kvasnikov**
Executive secretary – Cand. of Eng. **V.I. Savchenko**
Editor – **P.P.Dubyna**

Members of editorial board:

A.I. Babushkyn – Dr. of Eng., Prof. (Aviation and Space Engineering),
L.R. Vyshniakov - Dr. of Eng (Material Science),
R.B. Gevko – Dr. of Eng., Prof. (Mechanical Engineering),
V.L. Dykan' - Dr. of Eng., Prof.(Economics, law and management in engineering),
V.V. Drevets'kyi - Dr. of Eng., Prof. (Information systems , computers and electronic equipment , communication systems and instrumentation),
Ihor Emri – Dr., Prof. (Director of the Institute of sustainable innovative technologies, Slovenia),
M.Yu. Izbash - Dr. of Eng., Prof.(Building and Construction Engineering),
L.V. Kolomiets – Dr. of Eng., Prof. (Standardisation, Metrology and Certification),
V.I. Lytvynenko – Dr. of Chem. (Chemical Technologies and Engineering Biotechnology),
A.P. Melnyk – Dr. of Eng., Prof. (Oil-and-Gas Technologies),
V.M. Melnyk – Dr. of Eng., Prof. (Geology, Mining and Processing of Minerals),
I.S. Mysak – Dr. of Eng., Prof. (Power Engineering),
O.O. Panasenko – Dr. of Eng., Prof. (Water management and hydraulic engineering),
V.V. Solovey – Dr. of Eng., Prof. (Preservation of Environment (Ecological Engineering) and Resource Saving),
V.I. Stupa – Dr. of Eng., Prof. (Technology of Light Industry),
O.K. Tryshyn - academician of UAAS, Dr. of agriculture, Prof. (Engineering Problems of Agroindustrial Complex),
M.I. Khvysuk – Dr. of Med., Prof. (Medical Engineering),
O.I.Cherevko - Dr. of Eng., Prof. (Technology of Food Industry),
M.I. Chernovol – A corresponding-member of UAAS, Dr. of Eng., Prof. (Material Science),
S.L. Yaroshevsky – Dr. of Eng., Prof. (Metallurgy).

Підписано до друку 25.11.2019р.

Ціна договірної

Адреса редакції: просп. Космонавта Комарова, 1,
корп. 11, кімн. 402, м. Київ, 03680, Україна

Тел.: +38(044)406-71-58

E-mail: kvp@nau.edu.ua

Signed for printing on 25.11.2019р .

Agreed price

Address of Editorial Staff: Cosmonaut Komarov St., 1,
build. 11, 402 room, Kyiv, 03680, Ukraine

Tel.: +38(044)406-71-58

E-mail: kvp@nau.edu.ua

ЗМІСТ

АВІАЦІЙНА І КОСМІЧНА ТЕХНІКА

Кулик М.С., Кірчу Ф.І., М.Ю. Богданов, Волянська Л.Г., Ганеш Хусейн	7
ЗАСТОСУВАННЯ АКУСТИЧНИХ РЕЗОНАТОРІВ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ВІДРИВНИМИ ТЕЧІЯМИ В СТУПЕНЯХ ОСЬОВИХ ВЕНТИЛЯТОРІВ	
Казак В.Н., Казак А.В., Шевчук Д.О., Прохоренко І.В., Тимошенко Н.А.	14
ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В ОСОБЫХ СИТУАЦИЯХ В ПОЛЕТЕ	
Туровський О.Л. МІНІМІЗАЦІЯ ДИСПЕРСІЇ ФАЗОВОЇ ПОМИЛКИ В СИСТЕМАХ ФАЗОВОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ ЗАМКНУТОГО ТИПУ В РЕЖИМІ СТЕЖЕННЯ ЗА НЕСУЧОЮ ЧАСТОТОЮ	22

ВІЙСЬКОВО-ТЕХНІЧНІ ПРОБЛЕМИ

Перепеліцин С., Лесько О. ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ НАДШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ ТА САМОНАЛАГОДЖУАНОЇ МЕРЕЖІ В УПРАВЛІННІ БПЛА ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	28
Левицький С.М. ЛАЗЕРНА БЕЗПЕКА	35
Даник Ю.Г., Балицький І.І. ПРОТИДІЯ БЕЗПЛОТНИМ АВІАЦІЙНИМ КОМПЛЕКСАМ ПРИ ОХОРОНІ ДЕРЖАВНОГО КОРДОНУ	43

ГЕОЛОГІЯ, ВИДОБУВАННЯ ТА ПЕРЕРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

Макаренко В.Д., Винников Ю.Л., Зезекало І.Г., Дмитренко В.І. СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ БУРИЛЬНИХ ТРУБ НАФТОВИХ РОДОВИЩ	49
---	-----------

ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА Й ЕЛЕКТРОННА ТЕХНІКА, СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ ТА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

Рудик А.В., Рудик В.А., Матей М.І. РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ПРИЛАДОВОЇ СИСТЕМИ МОБІЛЬНОГО РОБОТА	57
Кужильний О.В., Лебедев Д.Ю., Антонюк О.І. АРХІТЕКТУРА ОХОРОННОГО ІОТ КОМПЛЕКСУ	64
Аврука І.С., Романюк Д.Ю. ХВИЛЬОВИЙ АЛГОРИТМ ПОШУКУ НАЙКОРОТШОГО ШЛЯХУ В ЛАБИРИНТІ. АЛГОРИТМ ЛІ	68
Павлов Л.Н., Лебедев Д.Ю., Іванник Г.В. ПОМЕХИ В DVB И IPTV	75
Кузнецов А.В., ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ШИНИ SPI	82
Тристан А.В., Бережний А.О. МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОГО ПЛАНУВАННЯ МАРШРУТУ ПОЛЬОТУ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ ДЛЯ ПОШУКУ ДИНАМІЧНОГО ОБ'ЄКТУ	86
Петрено А.Б., Телющенко В.А., Зюбіна Р.В., Бойко Ю.П. РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ КРИТИЧНОЇ	92

ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА Й ЕЛЕКТРОННА ТЕХНІКА,
СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ ТА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

УДК 621.317.28

¹А. В. Рудик, д.т.н., доцент

²В. А. Рудик

²М. І. Матей

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ
ПРИЛАДОВОЇ СИСТЕМИ МОБІЛЬНОГО РОБОТА

¹Національний університет водного господарства та природокористування (м. Рівне),
a.v.rudyk@nuwm.edu.ua

²Київський національний університет будівництва і архітектури

Для реалізації високоточних обчислень відстані до перешкоди за кількістю лічильних імпульсів та швидкістю ультразвуку у повітрі в статті розроблені та проаналізовані моделі штучної нейронної мережі (ШНМ) типу Feed-forward (FF) та Cascade-forward (CF). Характер нелінійності та складність взаємозв'язку між параметрами заздалегідь невідомі, тому кількість прихованих шарів, нейронів у шарах та функції активації нейронів вибираються експериментально. В результаті аналізу розроблено та проаналізовано набір з 69 моделей ШНМ різних структур. Для навчання застосовувався метод зворотного поширення помилки.

Ключові слова: штучна нейронна мережа, мобільний робот, приладова система, навчання, нейрон, передавальна функція, функція активації, середньоквадратична помилка, прихований шар.

Вступ

Складна природа помилки приладових систем вимірювання прискорення мобільних роботів (МР) і виражена властивість до накопичення з часом обумовлює використання штучних нейронних мереж (ШНМ) як засобу оцінювання величини цієї помилки.

Завданням нейронної мережі є апроксимація нелінійної залежності між даними приладової системи МР і реальними даними (координатами МР, розрахованими за даними сенсорів приладової системи, і еталонними значеннями реальної позиції робота).

Постановка задачі

В статті необхідно:

- 1) розробити та проаналізувати варіанти реалізації ШНМ приладової системи МР;
- 2) провести навчання розроблених ШНМ на основній та тестування на додатковій вибірках;
- 3) вибрати оптимальну структуру ШНМ приладової системи МР за критерієм точності.

Вибір типу структури штучної нейронної мережі

На сучасному етапі розвитку обчислювальних пристроїв та інформаційних технологій завдяки використанню ШНМ можна значно підвищити точність обробки експериментальних даних при розв'язанні задач апроксимації функціональних залежностей. Технології ШНМ дозволяють знаходити складні зв'язки між деякими величинами при використанні непрямих методів вимірювання і застосовувати їх для

обробки первинної інформації, отриманої від сенсорів приладової системи МР. Ефективність використання ШНМ залежить від вибраної парадигми, загальної структури, методу навчання, а також способу апаратної і програмної реалізації [1]. В загальному випадку характер і складність взаємозв'язків між вхідними і вихідними параметрами невідомі, тому структуру ШНМ визначають експериментально.

Використовуючи середовище моделювання методом порівняння різних варіантів та комбінацій структур мереж, за допомогою тестових вибірок знаходять відхилення і коефіцієнти кореляції між вихідними даними мережі і дійсними значеннями, проводять аналіз ефективності їх роботи і за результатами аналізу вибирають відповідну модель для подальшого використання [2].

Враховуючи, що вимірювання вхідних параметрів (координат МР або відстані до перешкоди) проводяться циклічно, будемо розглядати односпрямовані моделі ШНМ без зворотних зв'язків та елементів затримок. В даному випадку доцільно використовувати ШНМ типу Feed-forward (FF) і Cascade-forward (CF), в яких інформація поширюється в одному напрямку, від входу до виходу.

Фактично мережі типу FF є багат шаровими перцептронами і відносяться до моделей прямого поширення, тобто в них інформація передається від входів через послідовно з'єднані приховані шари до вихідного шару [3]. При цьому кількість вхідних і вихідних параметрів залежить від

вимог задачі апроксимації, а кількість прихованих шарів – від типу нелінійних зв'язків між параметрами. Тому при визначенні відстані до перешкоди за допомогою розробленого в [4] ультразвукового далекоміра як вихідний параметр розглядається відстань, а вхідними параметрами є швидкість ультразвуку в повітрі та кількість імпульсів, підрахована лічильником мікроконтролера. ШНМ типу *CF* також є мережами прямого поширення і за структурою схожі з *FF* мережами, однак є більш складними для побудови і реалізації. В мережах даного типу разом з послідовними інформаційними зв'язками між шарами наявні каскадні зв'язки, тобто наявні зв'язки попередніх шарів з наступними [5].

Мережі таких типів зазвичай навчаються з “учителем”, тобто при використанні репрезентативних вибірок вхідних і вихідних даних за методом зворотного поширення похибки. Тому що характер взаємозв'язку між вхідними і вихідними параметрами заздалегідь невідомий, при аналізі ефективності роботи ШНМ будемо використовувати такі функції активації для шарів нейронів з різними комбінаціями: *Tansig* – сигмоїдальна функція гірболічного тангенса; *Logsig* – логарифмічна сигмоїдальна функція; *Purelin* – лінійна функція.

Кількість нейронів у шарах ШНМ визначається складністю взаємозв'язку між вхідними і вихідними параметрами, при цьому невелика кількість нейронів приводить до втрати деталізації нелінійних зв'язків, а надмірна кількість – підвищує складність мережі та час обчислень і навчання. Крім того, велика кількість нейронів зазвичай приводить до “перенавчання” (надмірного навчання або надмірної адаптації до навчальної вибірки) ШНМ, що негативно впливає на точність визначення вихідної величини. Тому при дослідженні ефективності роботи ШНМ кількість нейронів підбиралася експериментально в межах від 4 до 18.

Кожну з баз експериментальних даних для навчання і перевірки ШНМ було розділено на дві окремі вибірки: для визначення величин вагових коефіцієнтів та для незалежної оцінки ефективності функціонування ШНМ на додаткових даних, незадіяних в процесі навчання [6].

Розробка структури штучної нейронної мережі для приладової системи МР

Аналіз, проведений в [7, 8], показав, що існують сильні кореляційні взаємозв'язки між

відстанню до перешкоди, вимірюваною ультразвуковим далекоміром, та кількістю лічильних імпульсів і швидкістю ультразвуку в повітрі, яка є функцією кліматичних факторів. Тому саме ці параметри необхідно використовувати як інформаційні для визначення відстані до перешкоди.

Традиційно для дослідження похибки колісних МР використовується метод *UMBMark*, запропонований в [5] і оснований на аналізі переміщення робота по сторонах квадрату з розмірами 4 м при використанні різних алгоритмів оцінки якості такого руху. Однак даний метод складний у використанні і дає неточні результати при дослідженні МР малих розмірів. Тому для збору даних при постановці експериментів МР переміщувався по прямій зі швидкостями 0.25 м/с, 0.5 м/с та 0.75 м/с, а час переміщення вибирався таким чином, щоб переміщення МР складало приблизно (3...5) м. При переміщенні МР зчитувалися показання ультразвукового далекоміра з частотою 5 Гц, а кінцева точка переміщення фіксувалася за допомогою зовнішніх вимірювань. На основі отриманих даних розраховувалися 10 проміжних позицій МР за даними ультразвукового далекоміра.

Для дослідження взаємозв'язку між вищевказаними параметрами створено вибірку з 200 контрольних значень. Характер зв'язку між цими параметрами є складним і залежить від багатьох факторів, які важко встановити аналітично. Для обчислення з високою точністю відстані до перешкоди за значеннями кількості лічильних імпульсів та швидкості ультразвуку в повітрі проведено розробку та аналіз моделей ШНМ типу *FF* та *CF*. Характер нелінійності та складність взаємозв'язку між параметрами заздалегідь невідомі, тому кількість прихованих шарів, нейронів у шарах та функції активації нейронів вибиралися експериментально. В результаті проведеного аналізу створено і проаналізовано набір з 69 моделей ШНМ різної структури.

Для навчання використовувався метод зворотного поширення помилки. Значення СКП ШНМ розраховується за формулою

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^L \sum_j (y_j^k - m_{1,2}^k)^2,$$

де L – розмірність навчальної вибірки; $m_{1,2}$ – пара еталонних координат реальної позиції МР.

Для навчання ШНМ в якості еталонних значень використовуються координати

реальної позиції робота, яка оцінюється за допомогою двох підходів – відеореєстрації робота за допомогою камери, закріпленої на стелі, і ручного вимірювання. Була здійснена спроба вимірювання реальної позиції на основі інфрачервоних далекомірів, але похибки даних сенсорів не дозволили зробити висновок про реальну якість роботи нейронної мережі. Для навчання нейронної мережі була підготовлена навчальна вибірка загальним розміром $L = 120$, при цьому власне для навчання використано вибірку розміром 70, а для перевірки при навчанні та тестування – вибірки розміром по 25.

Навчання і тестування проводилося засобами додатку *Neural network toolbox* пакету прикладного програмного забезпечення *MatLab* за допомогою функції *trainlm*, тобто з використанням алгоритму, що модифікує вагові коефіцієнти і зсуви за методом оптимізації Левенберга-Марквардта [9]. Критерієм ефективності навчання була СКП, а максимальна кількість епох становила 100 без часового обмеження процесу. Роботу кожної з створених моделей ШНМ було протестовано на додатковій вибірці з 25 значень, які не використовувались в процесі навчання. Основними критеріями для вибору оптимальної структури і параметрів ШНМ були середньоквадратична (*MSE*) та середня абсолютна (*MAE*) похибки при порівнянні дійсних значень з даними, отриманими в результаті роботи ШНМ. В результаті даного вибору було відкинуто надмірно адаптовані моделі, що не підходять для реалізації, а також ті, що мають відносно високі похибки за рахунок структури, невідповідної характеру взаємозв'язку. Далі розглянемо ШНМ, при моделюванні яких було отримано кращі результати.

За результатами аналізу 18 розроблених моделей типу *FF* з одним прихованим шаром найкращі результати за критерієм максимальної точності отримано при використанні ШНМ, яка має прихований шар (*Hidden Layer*), що складається з восьми нейронів з *tansig*-функцією активації, і вихідний шар (*Output Layer*), який складається з одного нейрона з *logsig*-функцією активації. Навчання ШНМ продовжувалось від 20 до 100 епох, при цьому СКП залежно від структури мережі (кількості нейронів у прихованому

шарі) та кількості епох навчання знаходилася в межах від 1.357 мм до 2.352 мм. Структура такої мережі наведена на рис. 1, а, а вибіркові дані щодо результатів оцінки СКП навчання ШНМ в залежності від структур мереж типів *Feed-forward* і *Cascade-forward* – в таблиці 1.

В процесі досліджень кількість нейронів у прихованому шарі змінювалась від 6 до 12. При збільшенні кількості нейронів до 15 ШНМ запам'ятовувала вхідні образи і на нових даних показувала незадовільні результати. При порівнянні значень відстані до перешкоди (поточного положення *MP*), отриманих за допомогою ШНМ, з дійсними значеннями визначено, що СКП становить 2.943 мм, а середня абсолютна похибка складає 3.862 мм.

Найкращі результати при аналізі 16 мереж типу *FF* з двома прихованими шарами отримано при тестуванні ШНМ, структура якої наведена на рис. 1, б. Приховані шари такої ШНМ складаються відповідно з 11 та 7 нейронів з передавальними функціями *tansig*, а вихідний шар – з одного нейрона з аналогічною передавальною функцією. Навчання мережі тривало 26 епох, а СКП навчання становила 1.143 мм (таблиця 1). За результатами тестування ШНМ на додатковій вибірці отримано СКП 2.492 мм та середню абсолютну похибку 3.251 мм.

При дослідженні каскадних ШНМ типу *CF* з одним прихованим шаром серед 15 варіантів максимальну точність при навчанні отримано в мережі, структура якої наведена на рис. 2, а. Прихований шар даної ШНМ складається з 7 нейронів з передавальними функціями *tansig*, а вихідний шар – з одного нейрона з ПФ *logsig*. Навчання ШНМ проходило 32 епохи, при цьому СКП навчання складає 1.045 мм (таблиця 1). Однак при порівнянні дійсних значень з визначеними ШНМ СКП становила 2.247 мм, а середня абсолютна похибка – 2.919 мм [10].

Тому що точнісні характеристики даної каскадної ШНМ приблизно такі самі, що і у мережі, наведеної на рис. 1, б, було розроблено, навчено і проаналізовано 20 ШНМ *CF*-типу з двома прихованими шарами. За результатами проведеного аналізу найбільш точною є ШНМ (рис. 2, б), яка складається з 6 нейронів з ПФ *tansig* і 9 нейронів з ПФ *purelin* у прихованих шарах та одного нейрона з ПФ *purelin* у вихідному шарі.

Таблиця 1

Результати оцінки СКП навчання ШНМ в залежності від структур мереж типів *Feed-forward* та *Cascade-forward*

Кількість нейронів у прихованих шарах та кількість епох навчання (значення в дужках)				Середньоквадратична похибка навчання ШНМ, мм			
<i>Feed-forward</i>		<i>Cascade-forward</i>		<i>Feed-forward</i>		<i>Cascade-forward</i>	
шар 1	шари 1 і 2	шар 1	шари 1 і 2	шар 1	шари 1 і 2	шар 1	шари 1 і 2
6 (100)	8 і 4 (40)	5 (25)	6 і 8 (28)	2.352	1.989	1.767	1.388
6 (50)	8 і 4 (26)	6 (26)	6 і 8 (36)	2.097	1.761	1.544	1.159
6 (20)	10 і 4 (30)	6 (32)	7 і 9 (32)	1.783	1.663	1.431	1.212
8 (100)	10 і 4 (16)	7 (26)	7 і 9 (40)	1.649	1.526	1.372	1.034
8 (50)	11 і 5 (26)	7 (32)	6 і 9 (36)	1.516	1.478	1.045	0.865
8 (20)	11 і 5 (16)	7 (40)	6 і 9 (42)	1.357	1.367	1.154	0.723
10 (50)	11 і 7 (26)	8 (22)	7 і 8 (30)	1.492	1.143	1.267	0.882
10 (20)	11 і 7 (16)	8 (30)	7 і 8 (44)	1.565	1.259	1.193	0.911
12 (50)	12 і 6 (30)	9 (26)	8 і 10 (32)	1.886	1.371	1.233	1.055
12 (20)	12 і 6 (20)	9 (34)	8 і 10 (42)	1.674	1.292	1.248	1.107

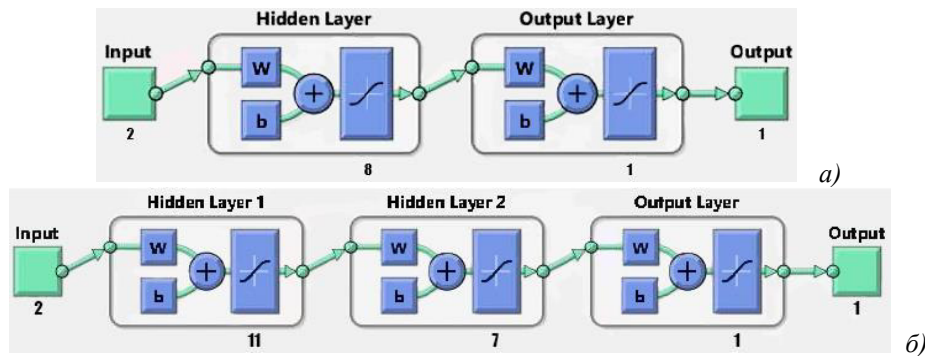


Рис. 1. Структури ШНМ типу *Feed-forward* з одним (а) та двома (б) прихованими шарами

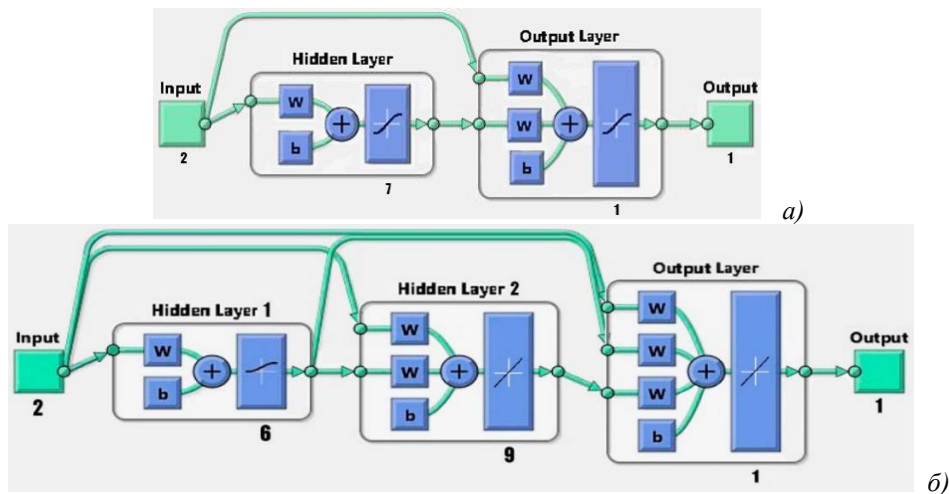


Рис. 2. Структури ШНМ типу *Cascade-forward* з одним (а) та двома (б) прихованими шарами

За результатами навчання такої ШНМ тривалістю 42 епохи отримано СКП навчання 0.723 мм (таблиця 1), а за результатами тестування ШНМ на додатковій вибірці отримано СКП 1.526 мм та середню абсолютну похибку 1.965 мм [11].

Тому що в процесі навчання загальна вибірка розділена на частини (60% для навчання, 20% для перевірки при навчанні та 20% для тестування), то адекватність розроблених моделей не перевірялася на навчальних векторах даних.

Для остаточного вибору структури ШНМ об'єднаємо вибірки для тестування і перевірки при навчанні загальним розміром 50 та перевіримо на цій об'єднаній вибірці точність моделей, що попередньо показали найкращі результати. За результатами проведеного аналізу ШНМ типу *Cascade-forward* показали кращі результати, ніж ШНМ типу *Feed-forward*, при цьому *CF*-мережі (рис. 2) за точністю мають приблизно однакові результати (для ШНМ з одним прихованим шаром $MSE=1.577$ мм, $MAE=2.035$ мм, а для ШНМ з двома прихованими шарами $MSE=1.412$ мм, $MAE=1.892$ мм). Однак за рахунок кращих точнісних характеристик для використання в приладових системах МР пропонується ШНМ *CF*-типу з двома прихованими шарами (рис. 2, б).

Розрахунок значення відстані до перешкоди (поточної координати МР), що здійснюються такою ШНМ, за результатами оцінки швидкості ультразвуку в повітрі та кількості лічильних імпульсів проводиться за такими формулами [12]:

$$L = f(w_1^{31} f(V_3) + w_2^{31} f(N) + \sum_{n=1}^6 (a_n^1 w_n^{32}) + \sum_{k=1}^9 (a_k^2 w_k^{33}) + b^3);$$

$$a_n^1 = f(w_{1,n}^{11} f(V_3) + w_{2,n}^{11} f(N) + b_n^1);$$

$$a_k^2 = f\left(w_{1,k}^{21} f(V_3) + w_{2,k}^{21} f(N) + \sum_{n=1}^6 (a_n^1 w_{k,n}^{22}) + b_k^2\right)$$

де f – функція активації нейрона; n, k – порядкові номери нейронів першого та другого шарів; $f(V_3), f(N)$ – приведені сигнали швидкості ультразвуку в повітрі та кількості лічильних імпульсів; w_i^j – вагові коефіцієнти нейронів; b_i^j – зсуви нейронів; a_n^1, a_k^2 – вихідні сигнали нейронів першого і другого

прихованих шарів.

Розробка *Simulink*-моделі штучної нейронної мережі

Існує три основних підходи до організації ШНМ: апаратний, апаратно-програмний і програмний. При апаратній та апаратно-програмній реалізаціях ШНМ є набором електронних та оптичних компонентів (нейрочіпи, нейрокомп'ютери, спеціалізовані мікропроцесори, карти розширення для ПК та ПЛІСи, які здійснюють паралельну обробку інформації). Такі реалізації забезпечують високу швидкість та можливість роботи в системах реального часу, де синхронність подій є пріоритетною.

Програмна реалізація зазвичай здійснюється на ПК або *PCbased* контролері, тобто є емуляцією ШНМ на ПК. Однак реалізувати на ПК ідеальну паралельність нейромережевих процесів неможливо, тому що архітектура процесорного ядра ПК обмежує можливість повного розпаралелювання обчислювальних процесів. Крім того, операційна система ПК виконує багато службових сервісних програм, які викликають переривання в роботі прикладних програм, що сповільнює процес реалізації нейроалгоритмів [13]. Однак для систем, не критичних для часового фактору, даний метод є більш простим і дозволяє використовувати існуюче базове програмне забезпечення. Тому в роботі використовується програмний спосіб реалізації ШНМ для апроксимації функціональних залежностей.

За результатами, отриманими в попередньому пункті, побудуємо *Simulink*-модель ШНМ для визначення відстані до перешкоди (координат МР) (рис. 2, б), що забезпечуватиметься тришаровою каскадною нейромережею. Для цього згенеруємо її модель у додатку *Simulink* прикладного програмного забезпечення *MatLab*, що дозволяє отримати розгорнуту структуру ШНМ у вигляді розгорнутої блок-схеми нейромережевого алгоритму з позначеними напрямками інформаційних потоків. *Simulink*-модель такої ШНМ наведено на рис. 3 [14].

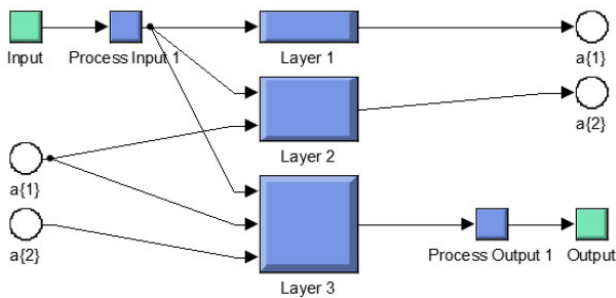
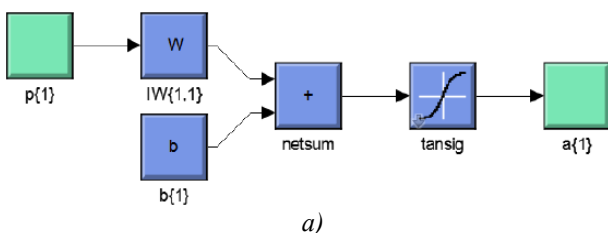


Рис. 3. Simulink-модель тришарової каскадної ШНМ для визначення відстані до перешкоди

На вхід нейромережі *Input* подається вектор вхідної інформації (швидкість ультразвуку в повітрі та кількість лічильних імпульсів), який проходить через блок нормалізації сигналу *Process Input 1* і надходить на входи прихованих шарів (*Layer 1* і *Layer 2*) та вихідного шару (*Layer 3*). За концепцією побудови каскадних ШНМ кожен шар отримує інформацію від кожного з попередніх, тобто при використанні ШНМ з двома прихованими шарами перший шар нейронів має один вхід, другий – два, а вихідний – три. Порти $a\{1\}$ та $a\{2\}$ використовуються для реалізації взаємозв'язків між шарами, а інформація з вихідного нейрона має пройти блок нормалізації сигналу (*Process Output 1*) для перетворення у відповідне значенні відстані та потрапити на вихід системи (*Output*). Для подальшого аналізу інформаційних процесів ШНМ розглянемо перший прихований шар (рис. 4), який складається з 6 нейронів з ПФ *tansig*.



а)

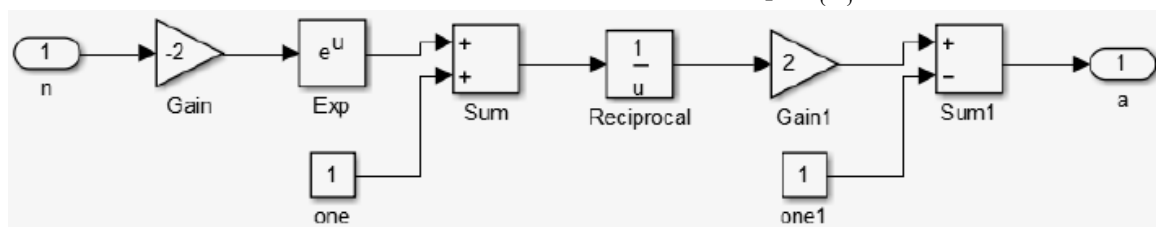


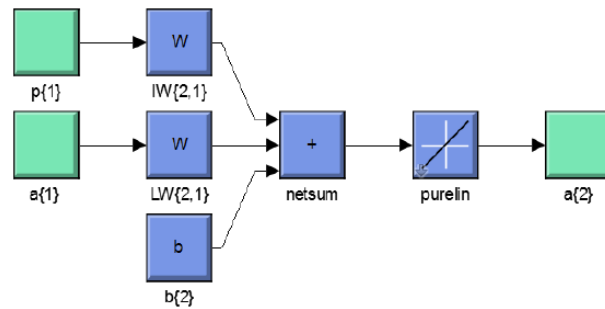
Рис. 5. Структура блоку функції активації *tansig*

Третій вихідний шар (*Layer 3*) подібний до попереднього і має таку саму ПФ за виключенням того, що до його складу входить один нейрон, який має три входи від попередніх шарів, три набори вагових коефіцієнтів і один

вихід.

Висновки

1. Для реалізації високоточних обчислень відстані до перешкоди розроблені та проаналізовані ШНМ типу *Feed-forward (FF)*



б)

Рис. 4. Структура першого (а) та другого (б) прихованих шарів ШНМ

Порт $p\{1\}$ використовується для отримання вхідного нормалізованого сигналу шаром нейронів після блоку *Process Input 1*, після чого інформаційний потік проходить паралельне множення на набір вагових коефіцієнтів першого шару $IW\{1,1\}$ і додається до значень зсувів шару $b\{1\}$ за допомогою суматора *netsum*. Після операції додавання сигнал проходить блок функції активації *tansig*, структура якого наведена на рис. 5.

Послідовністю даних блоків реалізується сигмоїдальна функція активації гіперболічного тангенса для перетворення вхідного інформаційного сигналу n у вихідний a , що математично описується рівнянням виду

$$a = \frac{2}{1 + e^{-2n}} - 1.$$

Другий прихований шар (*Layer 2*) складається з 9 нейронів з лінійною ПФ, а його структура наведена на рис. 4, б. Даний шар має два входи $p\{1\}$ та $a\{1\}$ з відповідними наборами вагових коефіцієнтів $IW\{2,1\}$ і $LW\{2,1\}$ для сигналів від вхідного і першого шару, блок зсувів $b\{2\}$, суматор *netsum*, передавальну функцію нейрона *purelin* та вихідний порт $a\{2\}$.

та *Cascade-forward (CF)*. Характер нелінійності та складність взаємозв'язку між параметрами заздалегідь невідомі, тому кількість прихованих шарів, нейронів у шарах та функції активації нейронів вибираються експериментально.

2. В результаті аналізу розроблено та проаналізовано набір з 69 моделей ШНМ різних структур. Для навчання застосовано метод зворотного поширення помилки. На основі результатів аналізу 20 ШНМ типу *CF* найбільш точною виявилася ШНМ, що складається з 6 нейронів з ПФ *tansig* та 9 нейронів з ПФ *purelin* у прихованих шарах та одного нейрона з ПФ *purelin* у вихідному шарі. Проведено навчання такої ШНМ тривалістю 42 епохи.

3. Оскільки в процесі навчання повна вибірка ділилася на частини, то адекватність розроблених моделей не перевірялася на векторах даних про навчання. Для остаточного відбору структури ШНМ вибірки для тестування та тестування під час навчання були об'єднані загальним розміром 50, а точність моделей, які раніше показували найкращі результати, перевірялася на цій комбінованій вибірці. За результатами аналізу ШНМ типу *CF* показали кращі результати, ніж ШНМ типу *FF*, при цьому мережі *CF* мають приблизно однакову точність. Тому завдяки кращим характеристикам точності для використання в приладових системах МР пропонується ШНМ типу *Cascade-forward* з двома прихованими шарами.

Список літературних джерел

1. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс. – М.: Издат.дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
2. Тарик, Р. Создаем нейронную сеть / Р. Тарик. – М. : Издат. дом «Вильямс», 2017. – 272 с.
3. Дорогов, А. Теория и проектирование быстрых перестраиваемых преобразований и слабосвязанных нейронных сетей / А. Дорогов. – СПб. : «Политехника», 2014. – 344 с.
4. Рудык, А. В. Исследование влияния климатических факторов на оценку точности ультразвукового дальномера системы технического зрения мобильного робототехнического комплекса / Вестник Азербайджанской инженерной академии. – 2018. – Т. 10, № 1. – С. 122-132.

5. Borenstein, J. Measurement and correction of systematic odometry errors in mobile robot / IEEE Transactions on Robotics and Automation. – 1996. – Vol. 12, № 6. – P. 869-880.

6. Клепач, М. М. Вибір оптимальної структури штучної нейронної мережі для визначення октанового числа бензинів / Авіа-2013. Матеріали 6-ої МНПК. – Київ: НАУ, 2013. – С. 1.81-1.84.

7. Рудик, А. В. Методи оцінки просторового положення об'єктів / А. В. Рудик // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси. Матеріали 9-ої МНПК. – Київ: НАУ, 2016. – С. 31-33.

8. Рудик, А. В. Оцінка швидкості ультразвуку в повітрі при реалізації системи ультразвукового зору / А. В. Рудик // Інформаційно-обчислювальні технології, автоматика та електротехніка (ІТАЕ-2016). Матеріали міжнародної НПК. – Рівне : НУВГП, 2016. – С. 273-275.

9. Priddy, K. L. Artificial Neural Networks: An Introduction / K. L. Priddy, P. E. Keller. – Bellingham, Washington : SPIE-International Society for Optical Engineering, 2005. – 165 p.

9. Рудик А.В., Квасніков В.П. Наукові основи та принципи побудови приладової системи вимірювання прискорення мобільного робота. Монографія. – Харків : Мачулін, 2018. – 272 с.

10. Рудик, А. В. Розробка структури штучної нейронної мережі приладової системи мобільного робота / А. В. Рудик, В. А. Рудик // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. Матеріали 18-ої міжнародної НТК. – Одеса : ОНАЗ ім. Попова, 2018. – С. 99-101.

11. Клепач, М. М. Методи та технічні засоби контролю якісних показників нафтопродуктів з використанням нейромережевих технологій: автореферат дис. на здобуття наук. ступ. к.т.н. / М. М. Клепач. – Івано-Франківськ : Івано-Франківський НТУ нафти і газу, 2015. – 21 с.

12. Бураков М.В. Нейронные сети и нейроконтроллеры. – СПб.: Издат. ГУАП, 2013.–283 с.

13. Рудик, А. В. Наукові основи та принципи побудови приладової системи вимірювання прискорення мобільного робота: дис. на здоб. наук. ступ. д.т.н. / А. В. Рудик. – Київ : НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2018. – 460 с.

УДК 621.396.67

ПРОТИДІЯ БЕЗПЛОТНИМ АВІАЦІЙНИМ КОМПЛЕКСАМ ПРИ ОХОРОНІ ДЕРЖАВНОГО КОРДОНУ \ Ю.Г. Даник, І.І. Балицький \ Вісник Інженерної академії України. - 2019. - № - 4

Розглянуті сучасні підходи до вирішення проблеми боротьби з безпілотними авіаційними комплексами в контексті задач з охорони кордонів. Проведений аналіз використання безпіотної авіації для здійснення контрабандної діяльності та протидії цьому. Для ефективної боротьби з безпілотними авіаційними комплексами запропоновано комплексне використання різних засобів деструктивного впливу: фізичного, енергетичного, інформаційного. Основна увага зосереджена на деструктивних впливах на канали управління безпілотними літальними апаратами з використанням комплексіврадіоподавлення.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат (БПЛА), безпілотний авіаційний комплекс (БАК), протидія безпілотним авіаційним комплексам.

УДК 665.7(075.8)

СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ БУРИЛЬНИХ ТРУБ НАФТОВИХ РОДОВИЩ \ В.Д. Макаренко, Ю.Л. Винников, І.Г. Зезекало, В.І. Дмитренко \ Вісник Інженерної академії України. - 2019. - № - 4

Аналітичний огляд літературних джерел показав, що при бурінні нафтових свердловин аварії з бурильною колоною і її елементами здійснюються внаслідок недостатньої втомно-корозійної міцності металу труб. Експериментально-розрахунковим шляхом визначено критичні глибини втомних тріщин в бурильних трубах різних діаметрів. Запропоновано рівняння множинної регресії для визначення параметрів корозійно-втомних тріщин у бурильних трубах, що можуть бути використані для прогнозного інженерного оцінювання роботоздатності бурильних колон. Досліджено стійкість проти сульфідно-корозійного напруження під напругою (СКРН), воднем індукованого руйнування (ВІР) і корозійно-механічної втомності сталей бурильних трубних колон, призначених для нафтової промисловості.

Ключевые слова: корозія, метал, втомність, тріщиностійкість, несуча здатність, міцність, модифікування, буріння, бурильні труби, нафтове родовище.

УДК 621.317.28

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ПРИЛАДОВОЇ СИСТЕМИ МОБІЛЬНОГО РОБОТА \ А.В. Рудик, В.А. Рудик, М.І. Матей \ Вісник Інженерної академії України. - 2019. - № - 4

Для реалізації високоточних обчислень відстані до перешкоди за кількістю лічильних імпульсів та швидкістю ультразвуку у повітрі в статті розроблені та проаналізовані моделі штучної нейронної мережі (ШНМ) типу Feed-forward (FF) та Cascade-forward (CF). Характер нелінійності та складність взаємозв'язку між параметрами заздалегідь невідомі, тому кількість прихованих шарів, нейронів у шарах та функції активації нейронів вибираються експериментально. В результаті аналізу розроблено та проаналізовано набір з 69 моделей ШНМ різних структур. Для навчання застосовувався метод зворотного поширення помилки.

Ключові слова: штучна нейронна мережа, мобільний робот, приладова система, навчання, нейрон, передавальна функція, функція активації, середньоквадратична помилка, прихований шар.

УДК 621.391

АРХІТЕКТУРА ОХОРОННОГО ІОТ КОМПЛЕКСУ \ О.В. Кукульний, Д.Ю. Лебедев, О.І. Антонюк \ Вісник Інженерної академії України. - 2019. - № - 4

У даній роботі розглянуто архітектуру сучасного охоронного IoT комплексу з використанням платформи Telegram для взаємодії з користувачькими додатками. Було розроблено бібліотеку для взаємодії мікроконтролеру з GSM модулем для генерації HTTP запитів з використанням примітивів синхронізації Queue, що входить у пакет з відкритим вихідним кодом системи реального часу – FreeRTOS.

Ключові слова: IoT, HTTPS, TCP/IP, GPRS, Security, Telegram, STM32, охорона.

УДК 004.9

ХВИЛЬОВИЙ АЛГОРИТМ ПОШУКУ НАЙКОРОТШОГО ШЛЯХУ В ЛАБІРИНТІ. АЛГОРИТМ ЛІ \ І.С. Аврука, Д.Ю. Романюк \ Вісник Інженерної академії України. - 2019. - № - 4

Проведено дослідження та аналіз алгоритму Лі або хвильового для знаходження найкоротшого шляху. Алгоритм складається з кількох етапів, серед яких основними можна виділити наступні: підготовчий етап, етап поширення хвилі та етап побудови шляху.

Ключові слова: алгоритм, трасування, шлях.

Кузнецов А.В., магістр, ФОП Кузнецова Л.В., vpvlad2012@gmail.com

Кулик М.С., д.т.н., Національний авіаційний університет, м.Київ.

Кухарчук В.В., Вінницький національний технічний університет

Кушнір О.О., Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ.

Лавренюк Т.О., Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ.

Лебедев Д.Ю., к.т.н, доц., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м.Київ, d.lebedev@kpi.ua

Левицький С.М., к.т.н., Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, Національна академія Національної гвардії України, levytskyi@ua.fm.

Лесько О., Національна академія НГУ, м. Харків.

Лісовець С.М., к.т.н., доц., Київський національний університет технологій та дизайну, ser.lis.290171@gmail.com

Ляшенко А.В., Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», anliashenko14@gmail.com

Макаренко В.Д., д.т.н., професор, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

Макаренко І.О., канд. наук з держ. упр., Чернігівський інститут ім. Героїв Крут Міжрегіональної Академії Управління Персоналом.

Марков В.С., магістрант, Національний університет водного господарства та природокористування м. Рівне.

Матей М.І. Київський національний університет будівництва і архітектури.

Машенко В.А., к.ф.-м.н., доцент, Одеська державна академія технічного регулювання та якості, e-mail: volodymyr_mashchenko@ukr.net

Мурашко М.І., к. е. н., доц., Чернігівський інститут ім. Героїв Крут Міжрегіональної Академії Управління Персоналом.

Нечай С.О., к.т.н., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут».

Ободяк В.К., к.т.н., Сумський державний університет, м. Суми.

Олексюк В.В., Черкаський державний технологічний університет, vadim.oleksuk@gmail.com

Павлов Л.Н., к.т.н., доц., ., Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского».

Паращанов В.Г., м.н.с., Національний авіаційний університет, м.Київ.

Первунінський С.М., д.т.н., професор, Черкаський державний технологічний університет.

Передерко А.Л., к.т.н., Одеська державна академія технічного регулювання та якості, pal88@ukr.net

Перепелицин С., Національна академія НГУ, м. Харків.

Петраш О.В., к.т.н., Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

Петрено А.Б., к.т.н., Національний авіаційний університет, pab.05@ukr.net

Прохоренко І.В., к.т.н., Національний авіаційний університет, м.Київ.

Реут Д.Т., Національний університет водного господарства та природокористування, d.t.reut@nuwm.edu.ua

Романюк Д.Ю., студент, Національний університет водного господарства та природокористування, м.Рівне, romaniuk_ak19@nuwm.edu.ua

Рудик А.В., д.т.н., доцент, Національний університет водного господарства та природокористування м. Рівне, a.v.rudyk@nuwm.edu.ua

Рудик В.А., Київський національний університет будівництва і архітектури.

Рудницький В.М., д.т.н., професор, Черкаський державний технологічний університет, rvn_2008@ukr.net

Рудніцька О.В., аспірант, ст. викладач, ¹Київський національний університет будівництва і архітектури, olena.rudnitska@gmail.com

Сморж М.В., Національний авіаційний університет, м.Київ.

Солдатов В.В., Національний науковий центр “Інститут метрології”, вул. Мירוносицька, 42, 61002, Харків, Україна, time.metrology@ukr.net

Стеблянко П.О., д. ф.-м. н., професор, Дніпровський університет митної справи та фінансів, caf-vmi@ukr.net

ТЕОРЕТИЧНИЙ І НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ
ІНЖЕНЕРНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ



В І С Н И К
ІНЖЕНЕРНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ

ВИПУСК 4 2019

Підп. до друку 25.11.2019р. Формат 60×84/8. Папір офсет. № 1.
Гарнітура Тип Таймс. Друк офсет. Ум. друк. арк. 33,1
Обл.-вид. арк. 35,6. Наклад 300 прим.

Віддруковано: СПД «Андрієвська Л.В.»
м. Київ, вул. Бориспільська, 9,
Свідоцтво серія ВОЗ № 919546 від 19.09.2004 р