

Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

INFORMATION TECHNOLOGY: COMPUTER SCIENCE, SOFTWARE ENGINEERING AND CYBER SECURITY

Випуск 1



Видавничий дім
«Гельветика»
2021

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР:

Удовик Ірина Михайлівна, кандидат технічних наук доцент, доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

Алексєєв Михайло Олександрович, доктор технічних наук, професор, декан факультету інформаційних технологій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»;

Бердник Михайло Геннадійович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»;

Кабак Леонід Віталійович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»;

Корнієнко Валерій Іванович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри безпеки інформації та телекомунікацій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»;

Корченко Анна Олександрівна, доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри безпеки інформаційних технологій, Національний авіаційний університет;

Любченко Віра Вікторівна, доктор технічних наук, професор, професор кафедри системного програмного забезпечення, Державний університет «Одеська політехніка»;

Маттіас Реч, Ph.D, професор кафедри мехатроніки, Університет Ройтлінгену, Німеччина;

Мороз Борис Іванович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»;

Рак Тарас Євгенович, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри інформаційних технологій, ПЗВО «ІТ СТЕП Університет»;

Савенко Олег Станіславович, доктор технічних наук, професор, декан факультету програмування та комп'ютерних і телекомунікаційних систем, професор кафедри комп'ютерної інженерії та системного програмування, Хмельницький національний університет;

Сироткіна Олена Ігорівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».

Журнал ухвалено до друку Вченою радою
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

22 квітня 2021 р., протокол № 7

Науковий журнал «Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security» зареєстровано Міністерством юстиції України
(Свідectво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
серія KB № 24879–14819P від 17.06.2021 року)

Офіційний сайт видання: www.journals.politehnica.dp.ua/index.php/it

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення
StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

ISSN 2786-507X (Print)

ISSN 2786-5088 (Online)

© Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», 2021

УДК 621.391.14:519

DOI <https://doi.org/10.32782/IT/2021-1-1>

Михайло АЛЕКСЄЄВ

доктор технічних наук, професор, декан факультету інформаційних технологій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, alekseev.m.o@ntu.one

ORCID: 0000-0001-8726-7469

Scopus Author ID: 8987142500

Олексій АЛЕКСЄЄВ

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри системного аналізу і управління, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, aleksieiev.o.m@ntu.one

ORCID: 0000-0003-4793-6669

Scopus Author ID: 57208957637

Надія ЛІЙКА

студентка спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» другого (магістерського) рівня вищої освіти, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005

Бібліографічний опис статті: Алексєєв, М., Алексєєв, О., Лийка, Н. (2021) Інформаційні технології з використанням нейронних мереж при експериментальному дослідженні вібраційних сигналів роторних об'єктів. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 1, 3–7, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2021-1-1>

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ПРИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМУ ДОСЛІДЖЕННІ ВІБРАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ РОТОРНИХ ОБ'ЄКТІВ

У роботі показана актуальність використання нейромереж при контролі вібраційних параметрів роторних об'єктів. При цьому нейромережеві методи допускають емпіричний підхід до задачі класифікації. Для навчання нейронних мереж потрібна менша кількість реалізацій, ніж для статистичного аналізу вхідних сигналів. У загальному випадку мережа зі зворотним поширенням помилки дозволяє досягти меншої кількості помилок класифікації, ніж будь-який з варіантів ART. **Метою роботи** є обґрунтування вибору методу формування первинних інформативних ознак вібраційних сигналів об'єктів управління з використанням перебудовуються матричних спектральних операторів і використання нейронних мереж з метою контролю вібраційних параметрів. **Методологія** вирішення поставленого завдання полягає в використанні методів спектрального аналізу та нейромережевих методів для вирішення класифікації вібраційних сигналів роторних об'єктів, що забезпечує контроль параметрів об'єктів при їх функціонуванні. **Наукова новизна.** Вперше запропоновано використання перебудованих спектральних операторів для формування контрольної вибірки, що забезпечує класифікацію яку можна порівняти за ефективністю з класифікацією за допомогою двошарової нейронної мережі, в той же час забезпечуючи значно менший час навчання. **Висновки.** Використання інформаційної технології із застосуванням перебудованих спектральних операторів і нейронних мереж дозволяє ефективно контролювати параметри роторних об'єктів для оцінки їх функціонального стану по вібраційним сигналам, забезпечуючи значно менший час навчання.

Ключові слова: роторний об'єкт, контроль, вібраційний сигнал, нейромережа, перебудовані спектральні оператори.

Mykhailo ALEKSIEIEV

Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of Information Technology Faculty, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, aleksieiev.o.m@nmu.one

ORCID: 0000-0001-8726-7469

Scopus Author ID: 8987142500

Oleksii ALEKSIEIEV

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of System Analysis and Control Department, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, aleksieiev.o.m@nmu.one

ORCID: 0000-0003-4793-6669

Scopus Author ID: 57208957637

Nadiia LIKA

Student of specialty 121 "Software Engineering" of the second (master's) level of higher education, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005

To cite this article: Aleksieiev, M., Aleksieiev, O., Liika, N. (2021). Informatsiini tekhnolohii z vykorystanniam neironnykh merezh pry eksperymentalnomu doslidzhenni vibratsiinykh syhnaliv rotornykh ob'ektiv [Information technologies with the use of neural networks in the experimental study of vibration signals of rotary objects]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 1, 3–7, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2021-1-1>

INFORMATION TECHNOLOGIES WITH THE USE OF NEURAL NETWORKS IN THE EXPERIMENTAL STUDY OF VIBRATION SIGNALS OF ROTARY OBJECTS

The paper shows the relevance of the use of neural networks in the control of vibration parameters of rotary objects. In this case, neural network methods allow an empirical approach to the problem of classification. Neural networks require fewer implementations than statistical analysis of input signals. In the general case, the inverse error propagation network allows to achieve fewer classification errors than any of the ART variants. **The aim** of the work is to substantiate the choice of the method of formation of primary informative features of vibration signals of control objects with the use of tunable matrix spectral operators and the use of neural networks in order to control vibroparameters. **The methodology** for solving this problem is to use the methods of spectral analysis and neural network methods to solve the classification of vibration signals of rotary objects, which provides control of the parameters of objects during their operation. **Scientific novelty.** For the first time, the use of rearranged spectral operators is proposed to form a control sample that provides a classification that can be compared in efficiency with the classification using a two-layer neural network, while providing much less learning time. **Conclusions.** The use of information technology with the use of rebuilt spectral operators and neural networks allows you to effectively control the parameters of rotor objects to assess their functional state by the vibration signal, providing much less training time.

Key words: rotor object, control, vibration parameter, neural network, rearranged spectral operators.

Актуальність проблеми. Спектральні методи обробки інформації набули широкого поширення в задачах контролю вібраційних параметрів роторних об'єктів. Аналіз частотних параметрів вібрацій об'єктів управління дозволяє отримувати інформацію про їх технічний стан. У багатьох випадках рішення задач вібраційного контролю і діагностування роторних об'єктів пов'язано з класифікацією вібраційних сигналів. Однак традиційні спектральні методи не завжди задовольняють необхідним вимогам по точності контролю параметрів роторних об'єктів. Тому актуальним є вирішення завдання з використанням перебудованих спектральних операторів і штучних нейронних мереж. У цій

статті розглянемо застосування для цілей контролю параметрів роторних об'єктів відомі парадигми нейронних мереж [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Процедура використання методів контролю параметрів роторних об'єктів за спектрами в традиційних базисах добре відомо і широко описана в літературі. Відповідно до вимог, що пред'являються до ознак при вирішенні задач оперативного функціонального контролю, обґрунтований вибір базису розкладання необхідно проводити за комплексом критеріїв, що впливають з розгляду інформаційного та обчислювального аспектів методів формування ознак, а також вимоги простоти

апаратною і програмної реалізації методів. Згідно з підходом, який запропонований академіком Петровим Б.М., доцільно використання в якості інформаційного критерію при виборі ознак поняття ентропії. Основна ідея при інформаційно-енергетичному відборі і порядок ознак полягає в адекватності опису випадкового процесу з відомою матрицею коваріації спектральними складовими, які забезпечують найменшу ентропію коефіцієнтів розкладання, найбільше скупчення енергії випадкового процесу в мінімальній кількості членів розкладання, декореляції коефіцієнтів розкладання і пристосованість до вхідних даних. Цими властивостями володіють коефіцієнти розкладання в базисі Карунена-Лоева. Процедура діагоналізації матриці коваріації щодо просто реалізується для матриці коваріації циркулянтного типу і діагональної матриці коваріації. У першому випадку базисом Карунена-Лоева є базис Фур'є, у другому – Уолша. Однак матриці, які діагоналізуються для традиційних базисів, не цілком враховують особливості фізичних процесів. Запропонований метод контролю параметрів об'єктів управління, заснований на використанні субоптимальних по Карунену-Лоеву перебудованих матричних спектральних операторів, кожен з яких синтезований за зразком технологічної ситуації, завдяки чому підвищується ймовірність правильної класифікації параметрів і скорочується час на прийняття керуючого рішення.

Мета статті: обґрунтування вибору методу формування первинних інформативних ознак вібраційних сигналів роторних об'єктів з використанням перебудованих матричних спектральних операторів і використання нейронних мереж з метою контролю вібраційних параметрів.

Виклад основного матеріалу.

Контроль вібраційних параметрів роторних об'єктів виконувався за допомогою класифікації вібраційних сигналів з використанням багатошарової нейронної мережі без зворотних зв'язків. Мережа складалася з нейронів з нелінійної активаційної функцією у всіх шарах, крім останнього шару. Для навчання нейронної мережі використовувався метод зворотного поширення помилки, модифікований для підвищення стійкості навчання. В процесі моделювання нейронної мережі коефіцієнт інерційності навчання встановлювався рівним 0,5; коефіцієнт швидкості навчання підбирався максимально допустимим за умовою стійкості мережі (для різних мереж значення варіювалося в діапазоні 0,3-0,05). Метод класифікації за допомогою нейронних мереж моделювався

за допомогою спеціально створеного для цієї мети нейросимулятора, розробленого в середовищі Microsoft Visual C ++.

Порівняння методів класифікації сигналів проводилося на спектрограмах вібраційних сигналів. Спектрограми знімалися в характерних точках вентиляційних установок шахт Західного Донбасу.

Відібрані спектрограми були приведені до довжини спектра Фур'є в 128 відліків і нормовані до одиниці по амплітуді спектральних компонент. З відібраних для використання спектрів були сформовані 10 різних класів. Розбиття на класи сигналів виконувалося з урахуванням того, на яких об'єктах, в яких точках і за яких умов отримані спектри вібрацій.

В результаті були сформовані 10 вихідних класів, до яких віднесено спектри вібрацій, що характеризують різні стани об'єктів контролю. Спектри, віднесені до певного класу, в більшості випадків корельовані між собою в більшій мірі, ніж спектри з різних класів. Тим не менш, деякі спектри порівняно слабо корелюють з представниками «свого» класу. Зокрема, класи №№ 1, 3, 6 і 10 є багатозв'язними в просторі спектральних компонент. Кожен з сформованих вихідних класів випадковим чином був розділений на дві приблизно рівні частини, одна з яких використовувалася як сукупність вибірок для навчання розпізнає алгоритму, а друга – для перевірки якості розпізнавання.

В процесі експерименту порівнювалася ефективність класифікації вихідних спектрів з контрольної групи (в дужках – позначення методу класифікації, використане в табл. 1):

1. За евклідовим відстаням (ED).
2. За мінімуму ентропії спектральних коефіцієнтів перебудовуються матричних операторів (Entr).
3. За допомогою навченої нейромережі наступної конфігурації:
 - Один шар з 10 нейронів (NN-10).
 - Перший шар – 128, другий – 10 нейронів (NN-128-10).
 - Перший шар – 128, другий – 60, третій – 10 нейронів (NN-128-60-10).
 - перший шар – 128, другий – 300, третій – 10 нейронів (NN-128-300-10).
 - перший шар – 200, другий – 80, третій – 10 нейронів (NN-200-80-10).

Також в процесі експерименту була зроблена спроба використання мережі зі структурою 128-128-60-10 (4 шари). Однак внаслідок незадовільного часу навчання мережі результати роботи чотиришарової мережі в таблицю не включені.

Таблиця 1

Результати розпізнавання спектрів контрольної групи

Номер класу	Кількість помилок за методом класифікації						
	ED	Entr	NN-10	NN-128-10	NN-128-60-10	NN-128-300-10	NN-200-80-10
1	5	2	3	2	2	2	1
2		2	2	2	1	1	1
3	2	2	1	1	2	2	2
4		1	2	2	2	1	1
5	6	2	3	2	1	1	2
6	5	2	2	2	2	2	1
7	3	2	1	1	1	1	2
8		3	2	2	1	1	1
9	2	1	3	2	2	2	2
10	5	2	3	2	3	3	1
всього	28	19	22	18	17	16	14
всього, %	57%	19%	18%	17%	17%	16%	14%
Кількість епох			453	181	132	142	82

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.

У загальному випадку мережа зі зворотним поширенням помилки дозволяє досягти меншої кількості помилок класифікації, ніж будь-який з варіантів ART. Це обумовлено великим, ніж в ART, кількістю міжнейронних зв'язків і шарів нейронів, а, отже, і більшою ємністю мережі.

Мережа ART здатна виділяти тільки один зв'язні класи, так як вона фактично робить динамічну кластеризацію надходять на її вхід векторів за критерієм (зазвичай геометричний) близькості. Таким чином, мережа не здатна віднести до одного і того ж класу вектори, які розпадаються на дві геометрично віддалені групи. Слід зазначити, однак, що цей недолік властивий всім нейронним мережам, які навчаються без учителя. Для його подолання в мережі ART необхідно перевести мережу в режим навчання з учителем.

До переваг мереж ART слід віднести здатність до донавчання новим образам без втрати раніше набутих знань. За рахунок цього парадигма ART дозволяє поєднувати режим роботи з навчанням, чим і відрізняється від інших нейромережевих парадигм. У додатку до промислової діагностики це означає, що система функціонального контролю, що використовує ART, здатна приступити до роботи відразу, не вимагаючи попередньої настройки або навчання.

В процесі функціонування змінюються не тільки ваги міжнейронних зв'язків, але і конфігурація шару розпізнавання мережі ART, що ускладнює її апаратну реалізацію. З іншого боку, зважаючи на невисоку обчислювальну складність мережі і надзвичайно швидкого прогресу

мікропроцесорних засобів, програмна реалізація парадигми ART не представляє ніяких труднощів і легко може бути введена до складу існуючих систем управління, якщо в них використовуються комп'ютери або інші мікропроцесорні пристрої.

Варіант мережі ART з обмеженням кількості категорій дозволяє позбутися від необхідності налаштовувати параметри функціонування мережі ART. Замість цього достатньо лише встановити очікувана кількість різних класів вхідних сигналів. У разі, якщо класи розпізнаються сигналів можуть виявитися багатозв'язними, може знадобитися збільшення максимально допустимої кількості категорій.

Якщо для перекодування отриманих вихідних реакцій мережі ART-C в необхідні виходи використовує додаткове покриття Гроссберга, збільшення кількості категорій, які розпізнаються мережею, в 2–3 рази в порівнянні з кількістю класів вхідних сигналів дозволяє підвищити точність класифікації, особливо в разі складної конфігурації класів.

При використанні репрезентативною контрольної вибірки класифікація з використанням перебудовуються спектральних операторів по ефективності порівнянні з класифікацією за допомогою двошарової нейронної мережі, в той же час забезпечуючи значно менший час навчання.

Подальші дослідження доцільно проводити в напрямку розробки математичних методів синтезу дискретних параметрично перебудованих ортогональних спектральних операторів, розширення області використання запропонованої інформаційної технології для контролю функціонального стану різних об'єктів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс: пер. с англ. / Саймон Хайкин. Москва : Диалектика, 2019. 1104 с.
2. Alekseyev M. Dynamic objects parameters control on the basis of rebuilt spectral operators application / M. Alekseyev & T. Vysotskaya // Energy Efficiency Improvement of Geotechnical Systems : Proceedings of the international forum on energy efficiency, Dnipropetrovs'k, Ukraine, October 2013. Leiden : CRC Press/ Balkema, 2013. C. 133–136.

REFERENCES:

1. Haykin S. Neural Networks: A Comprehensive foundation / Simon Haykin. Moscow: Dialektika, 2019. 1104 p.
2. Alekseyev M. Dynamic objects parameters control on the basis of rebuilt spectral operators application / M. Alekseyev & T. Vysotskaya // Energy Efficiency Improvement of Geotechnical Systems : Proceedings of the international forum on energy efficiency, Dnipropetrovs'k, Ukraine, October 2013. Leiden: CRC Press/ Balkema, 2013. C. 133–136.

УДК 004.056:004.94

DOI <https://doi.org/10.32782/IT/2021-1-2>

Валерій КОРНІЄНКО

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри безпеки інформації та телекомунікацій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, korniienko.v.i@ntnu.one

ORCID: 0000-0002-0800-3359

Scopus Author ID: 56446921900

Олександра ГЕРАСІНА

кандидатка технічних наук, доцентка, доцентка кафедри безпеки інформації та телекомунікацій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, herasina.o.v@ntnu.one

ORCID: 0000-0002-8196-0657

Scopus Author ID: 55998621600

Дмитро ТИМОФЄЄВ

старший викладач кафедри безпеки інформації та телекомунікацій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, tytofieiev.d.s@ntnu.one

ORCID: 0000-0002-9718-6678

Scopus Author ID: 55437340600

Олександр САФАРОВ

кандидат технічних наук, доцент кафедри безпеки інформації та телекомунікацій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, safarov.o.o@ntnu.one

ORCID: 0000-0003-1489-2006

Scopus Author ID: 57191867000

Юлія КОВАЛЬОВА

асистентка кафедри безпеки інформації та телекомунікацій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, kovalova.yu.v@ntnu.one

ORCID: 0000-0002-9234-4454

Scopus Author ID: 55320891100

Бібліографічний опис статті: Корнієнко, В., Герасіна, О., Тимофєєв, Д., Сафаров, О., Ковальова, Ю. (2021). Оцінювання характеристик самоподібного трафіку інформаційно-комунікаційних мереж для систем виявлення атак. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 1, 8–15, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2021-1-2>

ОЦІНЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК САМОПОДІБНОГО ТРАФІКУ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ АТАК

У роботі визначена актуальність розробки та вдосконалення систем виявлення вторгнень, головним завданням яких є розпізнавання мережеских атак, спроб несанкціонованого доступу та використання ресурсів мережі. Ця проблема вирішується шляхом використання засобів моніторингу, здатних аналізувати трафік мережі в режимі реального часу. Для цього розроблена методика оцінювання та визначення характеристик самоподібного трафіку сучасних інформаційно-комунікаційних мереж, що дозволяє формувати вектор інформативних ознак щодо визначення аномалій для системи виявлення атак. На прикладі експериментального сигналу трафіка мережі Ethernet відповідно до запропонованої методики проаналізовані та визначені характеристики мережевого трафіка. **Метою роботи** є обґрунтування методики комплексного оцінювання характеристик самоподібного трафіка інформаційно-комунікаційних систем і мереж щодо визначення аномалій для систем виявлення атак. **Методологія** вирішення поставленого

завдання полягає у комплексному використанні методів час-частотного, статистичного, фрактального та мультифрактального аналізів, адекватних закономірностям сучасного трафіку інформаційно-комунікаційних мереж, що має самоподібний (фрактальний чи мультифрактальний) характер. **Наукова новизна.** Обґрунтована методика комплексної оцінки характеристик самоподібного трафіка інформаційно-комунікаційних мереж, що включає час-частотний, статистичний, фрактальний і мультифрактальний аналізи, яка дозволяє підвищити ймовірність визначення вторгнень для систем виявлення атак за рахунок підвищення достовірності інформативних ознак самоподібного трафіка. **Висновки.** Запропонована методика комплексного використання методів аналізу, адекватних закономірностям сучасного трафіку інформаційно-комунікаційних мереж, підвищує ефективність визначення аномалій за рахунок підвищення інформативності оцінюваних характеристик трафіку.

Ключові слова: оцінка, характеристика, самоподібний трафік, інформаційно-комунікаційна мережа, виявлення атак.

Valerii KORNIENKO

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Information Security and Telecommunication Department, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, kornienko.v.i@nmu.one

ORCID: 0000-0002-0800-3359

Scopus Author ID: 56446921900

Oleksandra HERASINA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Information Security and Telecommunication Department, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, herasina.o.v@nmu.one

ORCID: 0000-0002-8196-0657

Scopus Author ID: 55998621600

Dmytro TYMOFIEIEV

Senior Lecturer of Information Security and Telecommunication Department, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, tymofieiev.d.s@nmu.one

ORCID: 0000-0002-9718-6678

Scopus Author ID: 55437340600

Oleksandr SAFAROV

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Information Security and Telecommunication Department, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, safarov.o.o@nmu.one

ORCID: 0000-0003-1489-2006

Scopus Author ID: 57191867000

Yuliia KOVALOVA

Assistant of Information Security and Telecommunication Department, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, kovalova.yu.v@nmu.one

ORCID: 0000-0002-9234-4454

Scopus Author ID: 55320891100

To cite this article: Kornienko, V., Herasina, O., Tymofieiev, D., Safarov, O., Kovalova, Yu. (2021) Otsiniuvannia kharakterystyk samopodibnoho trafiku informatsiino-komunikatsiinykh merezh dlia system vyavlennia atak [Estimation of self-similar traffic characteristics of information and communication networks for attack detection systems]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*. 1, 8–15, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2021-1-2>

ESTIMATION OF SELF-SIMILAR TRAFFIC CHARACTERISTICS OF INFORMATION AND COMMUNICATION NETWORKS FOR ATTACK DETECTION SYSTEMS

The urgency of development and improvement of intrusion detection systems, the main task of which is to recognize network attacks, attempts of unauthorized access and use of network resources, is determined in the work. This problem is solved by using monitoring tools that can analyze network traffic in real time. For this

purpose, a method of estimating and determining the characteristics of self-similar traffic of modern information and communication networks has been developed, which allows to form a vector of informative features for determining anomalies for the attack detection system. On the example of the experimental signal of Ethernet traffic in accordance with the proposed method, the characteristics of network traffic are analyzed and determined. **The aim** there is a substantiation of a technique of complex estimation of characteristics of self-similar traffic of information and communication systems and networks concerning definition of anomalies for systems of detection of attacks. **The methodology** the solution of this problem is the integrated use of methods of time-frequency, statistical, fractal and multifractal analysis, adequate to the laws of modern traffic of information and communication networks, which has a self-similar (fractal or multifractal) nature. **Scientific novelty.** The method of complex estimation of self-similar traffic characteristics of information and communication networks, including time-frequency, statistical, fractal and multifractal analyzes, which allows to increase the probability of intrusion detection for attack detection systems by increasing the reliability of informative features of self-similar traffic. **Conclusions.** The offered technique of complex use of the methods of the analysis adequate to laws of modern traffic of information and communication networks, increases efficiency of definition of anomalies at the expense of increase of informativeness of the estimated characteristics of traffic.

Key words: estimation, characteristics, self-similar traffic, information and communication network, detection of attacks.

Актуальність проблеми. Стрімкий розвиток інформаційно-комунікаційних систем і мереж (ІКМ) та інформаційних технологій викликає ряд проблем, пов'язаних з безпекою мережевих ресурсів. Тому актуальною є розробка та вдосконалення систем виявлення та запобігання вторгнень, головним завданням яких є розпізнавання мережевих атак, спроб несанкціонованого доступу та використання ресурсів мережі [1; 2].

Ця проблема вирішується шляхом використання засобів моніторингу, здатних аналізувати трафік мережі в режимі реального часу. До таких засобів моніторингу відносяться системи виявлення та запобігання атак (СВА).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Захист критично важливих об'єктів інфраструктури від навмисних кібернетичних вторгнень зі сторони окремих осіб, організацій або країн є надзвичайно актуальним. Наприклад, до основних загроз для промислових систем управління відносяться, зокрема: мережеві атаки через корпоративні мережі; атаки на стандартні мережеві компоненти; атаки типу «відмова в обслуговуванні» [3].

Засобом захисту ІКМ від інформаційно руйнівних втручань у вигляді кібернетичних вторгнень є системи СВА, основне завдання яких полягає в оперативному їх виявленні та в ініціюванні ефективного захисного сценарію щодо припинення факту порушення конфіденційності, доступності та цілісності інформаційних ресурсів та сервісів.

Наразі сформувались два напрямки протидії вторгнень: виявлення зловживань та виявлення аномалій [4; 5].

При виявленні мережевих аномалій [1] даними для аналізу є мережевий трафік, представлений як інтенсивність (швидкість) передачі даних або набір мережевих пакетів, в загальному випадку фрагментованих на

рівні IP. Дані можуть бути агреговані за певний часовий інтервал і нормалізовані, по ним оцінюються характеристики (набір ознак) трафіку. Створений набір ознак порівнюється з набором характеристик нормальної діяльності об'єкта (користувача або системи) – шаблоном нормальної поведінки. Якщо спостерігається суттєва розбіжність порівнюваних наборів, то фіксується мережева аномалія. В іншому випадку відбувається уточнення шаблону нормального трафіку за допомогою зміни параметрів його настройки з урахуванням поточного спостережуваного профілю мережевої активності.

На такий алгоритм виявлення аномалій орієнтуються поведінкові методи аналізу мережевого трафіку, до яких можна віднести: вейвлет-аналіз; статистичний аналіз; аналіз ентропії; спектральний аналіз; фрактальний аналіз; кластерний аналіз [1; 6; 7].

Трафік в ІКМ є нелінійним стохастичним процесом з властивостями самоподоби та з хаотичною і фрактальною динамікою. Крім того, встановлено, що агрегований трафік від різних джерел на малих часових масштабах проявляє мультифрактальний характер [8].

Таким чином, актуальною задачею є комплексне спостереження інформативних ознак мережевого самоподібного трафіка для визначення аномалій в системах виявлення атак.

Мета статті: Обґрунтування методики комплексного оцінювання характеристик самоподібного трафіка інформаційно-комунікаційних систем і мереж щодо визначення аномалій для систем виявлення атак.

Виклад основного матеріалу.

Комплексна оцінка характеристик трафіку. Фрактальним (самоподібним) є стаціонарний випадковий процес x із постійним середнім і автокореляційною функцією (АКФ), яку можна записати як:

$$r(k) \sim L_1(t)k^{-\beta} \text{ при } k \rightarrow \infty, \quad (1)$$

де L_1 – поволі змінювана на нескінченності функція, тобто для $x > 0$ вона має $\lim_{t \rightarrow \infty} L_1(xt)/L_1(t) = 1$; $\beta = 2 - 2H$; $0 < \beta < 1$; H – параметр Херста.

Час-частотний аналіз. Для самоподібних процесів з довготривалою (поволі убуваючою – ПУЗ) залежністю АКФ гіперболічно убуває зі зростанням часової затримки k . Навпаки, процеси з короткостроковою (швидко убуваючою – ШУЗ) залежністю характеризуються експоненційно спадаючою інтегрованою АКФ. Для визначення типу залежності в експериментальному часовому ряді необхідно його АКФ апроксимувати за величиною похибки встановити тип процесу (ПУЗ або ШУЗ).

Спектральна щільність самоподібного процесу підкорюється ступеневому закону:

$$S(f) \sim L_2(t)f^{-\gamma} \text{ при } f \rightarrow 0, \quad (2)$$

де $L_2(t)$ – поволі змінювана в нулі функція; $0 < \gamma < 1$; $\gamma = 2H + 1$.

Спектральний аналіз дозволяє виділяти найбільш інформативні складові досліджуваного процесу за допомогою зміни розмірності вихідного простору ознак. Головні компоненти обираються таким чином, щоб вони відповідали найбільшій мінливості процесу. Інші компоненти можуть бути розглянуті як складові шуму.

Вейвлет-аналіз полягає у визначенні коефіцієнтів розкладання вихідного сигналу по базисним функціям. Як сигнал може розглядатися інтенсивність мережевого трафіку або дані про кореляцію IP-адрес призначення [1].

Виконання вейвлет-перетворення дозволяє виділити найбільш вагому інформацію за рівнем коефіцієнтів перетворення. Наприклад, воно дозволяє виділити [1]: аномалії, викликані помилками в налаштуваннях мережевого обладнання, а також збоєм в роботі обладнання; мережеві атаки класом «відмова в обслуговуванні»; перевантаження в мережі та інші.

Скелетон (потужність коефіцієнтів вейвлет перетворення) показує наявність самоподоби у вигляді розвиненої деревоподібної структури з розгалуженнями (гілками), залежність від масштабу яких описується по ступеневому закону.

Підраховуючи число точок максимумів коефіцієнтів вейвлет-перетворення $N(\eta)$ уздовж параметра зсуву в області масштабу η можна оцінити значення параметра Херста:

$$H = \log[N(\eta)] / \log(\eta). \quad (3)$$

Статистичний аналіз. Якщо дисперсія процесу поволі убуває, тобто дисперсія вибір-

кового середнього має повільніший спад, ніж величина, зворотна довжині вибірки:

$$\sigma^2(x^{(m)}) \sim m^{-\beta} \text{ при } m \rightarrow \infty, \quad (4)$$

то даний процес є самоподібним ($\beta = [0, 1]$).

Інструментом статистичного аналізу є дослідження функції розподілу. Для самоподібних процесів зі ступеневим (гіперболічним) убаванням АКФ характерним є розподіл з «важким хвостом».

Випадкова величина Z має розподіл з «важким хвостом», якщо

$$P[Z > x] \sim cx^\alpha \text{ при } x \rightarrow \infty, \quad (5)$$

де $0 < \alpha < 2$ – параметр форми (показник «тяжкості хвоста»), c – позитивна константа.

Найчастіше для апроксимації гістограм експериментальних даних самоподібних процесів застосовуються функції субекспоненціальних законів розподілу: Парето, Вейбулла, логнормальний тощо. Для перевірки адекватності теоретичних розподілів експериментальним даним використовуються критерії згоди Колмогорова і Пірсона.

Показник «тяжкості хвоста» (параметр форми) α визначають по методу Хілла або шляхом побудови графіка додаткового розподілу в подвійному логарифмічному масштабі (LLCD).

Для перевірки нульової гіпотези про незалежність і тотожність розподілу значень часового ряду запропоновано BDS-тест, який також дозволяє виявити нелінійність породжуючої системи, відрізнити випадкові системи від детермінованого хаосу або від нелінійних стохастичних систем [8].

BDS-статистика w є нормально розподіленою: якщо w приймає значення $|w| \leq 1,96$, то нульову гіпотезу з вірогідністю 95% можна прийняти (спостерігається стохастичний процес, відліки якого незалежні, однаково розподілені випадкові величини), інакше $|w| > 1,96$ – нульову гіпотезу необхідно відхилити (спостерігається хаотичний процес). Якщо в результаті виконання BDS-тесту для залишків (похибки) лінійної моделі виявиться, що нульову гіпотезу потрібно відхилити, то даний процес є нелінійним.

Статистичний аналіз [1; 7; 8] є ядром методів виявлення аномалій в мережі. Перевагами статистичних систем є їх адаптація до зміни поведінки користувача, а також здатність до виявлення модифікацій атаки. Серед недоліків можна відзначити високу ймовірність виникнення помилкових повідомлень про атаки і залежність від порядку проходження подій.

Фрактальний аналіз. Сучасний мережевий трафік є самоподібним і має фрактальну (дробову) розмірність в часі.

За часовим рядом при відомому значенні кореляційного інтеграла $C(\varepsilon)$ визначається кореляційна розмірність D_C :

$$D_C = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log C(\varepsilon)}{\log(\varepsilon)}, \quad (6)$$

де ε – мінімальна відстань у просторі.

Показник Херста H характеризує ступінь самоподоби процесу. Для його визначення використовують: метод періодограм, вейвлет-аналіз, метод агрегованих дисперсій і R/S-аналіз. Згідно з останнім показник Херста визначається по формулі

$$H = \frac{\log(R/S)}{\log(cN)}, \quad (7)$$

де S – середньоквадратичне відхилення спостережуваного часового ряду, R – розмах накопиченого відхилення, N – число періодів спостережень, c – позитивна константа.

Даний показник свідчить про наявність тренда або про випадковість процесу, а також характеризує еволюцію досліджуваного процесу. Якщо $0,5 < H < 1$, то даний процес характеризується довготривалою пам'яттю і є персистентним, якщо ж $0 < H < 0,5$, то це говорить про антиперсистентність процесу. Значення $H = 0,5$ характерне для броунівського руху з незалежними добутками і відповідає випадковим відхиленням процесу від середнього.

Для визначення режиму породжуючого процесу, оцінюють його ентропію Колмогорова K , яка дорівнює сумі старших показників Ляпунова і характеризує швидкість втрати інформації про стан динамічної системи в часі. К-ентропія дорівнює нулю при регулярному русі, нескінченна для випадкових систем, позитивна і обмежена для систем з динамічним хаосом.

Значення кореляційної ентропії оцінюють по кореляційному інтегралу $C(\varepsilon, d)$, залежному як від відстані ε , так і від розміру фазового простору d :

$$K_C(\varepsilon, d) = \frac{C(\varepsilon, d)}{C(\varepsilon, d+1)}. \quad (8)$$

Кореляційна ентропія також дозволяє визначити оцінку інтервалу точної передбачуваності процесу:

$$T_C = \frac{1}{K_C} \ln\left(\frac{1}{\varepsilon}\right). \quad (9)$$

Кореляційна ентропія K_C є нижньою межею К-ентропії. За час, більший T_C можливе тільки статистичне прогнозування.

Мультифрактальний аналіз. Агрегований трафік від різних джерел на малих часових масштабах проявляє мультифрактальний характер, тобто має гнучкий закон масштабування.

Залежність узагальненої статистичної функції Q від відстані ε та значення порядку q описується як

$$Q(q, \varepsilon) \approx \varepsilon^{\tau_q}, \quad (10)$$

де τ_q – скейлінгова експонента (масштабна функція), що визначається як

$$\tau_q = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln Q(q, \varepsilon)}{\ln \varepsilon}, \quad (11)$$

$$\tau_q = (q-1)D_q, \quad (12)$$

де D_q – спектр сингулярностей, який характеризує розподіл точок в деякій області і показує наскільки неоднорідною є досліджувана множина точок.

Якщо D_q залежить від q , то даною множиною точок є мультифрактал (неоднорідна фрактальна множина) з нелінійною функцією τ_q .

Для аналізу властивостей самоподоби і довготривалої залежності нестационарних часових рядів застосовують мультифрактальний аналіз детрендових флуктуацій (АДФ), який є різновидом дисперсійного аналізу.

Часовий ряд $x(k)$ розбивається на m підпослідовностей довжини n ($nm = N$), для кожного з яких обчислюється локальний тренд $x_n(k)$ та середньоквадратична похибка такої апроксимації $F(n)$. Відповідні розрахунки повторюються для відрізків різної довжини. Про наявність самоподоби свідчить ступеневий характер залежності:

$$F(n) \sim n^\alpha; \alpha \sim \log F(\log n). \quad (13)$$

Залежно від значення показник скейлінга α можна класифікувати часовий ряд. Так, для випадкового процесу (некорельована поведінка) $\alpha = 0,5$; $0 < \alpha < 0,5$ відповідає антиперсистентному ряду; $0,5 < \alpha < 1$ визначає персистентні довготривалі кореляції; $\alpha = 1$ характерне для 1/f-шуму. При $\alpha > 1$ кореляції існують, проте ступеневу залежність вони не відображають; $\alpha = 1,5$ характерне для броунівського шуму.

При мультифрактальному АДФ обчислюється кумулятивний ряд $x(k)$, що потім розділяється на $N_s = N/s$ непересічних відрізків довжини s , для яких обчислюється дисперсія $F^2(s)$.

Функції флуктуацій q -го порядку визначається усередненням цих дисперсій:

$$F_q(s) = \left\{ \frac{1}{2N_s} \sum_{v=1}^{2N_s} [F_v^2(s)]^{q/2} \right\}^{1/q}. \quad (14)$$

Якщо залежність $F_q(s)$ від s має ступеневий характер

$$F_q(s) \sim s^{h(q)}, \quad (15)$$

то даний часовий ряд зводиться до самоподібної множини, що проявляє довготривалі кореляції.

З виразів (14), (15) випливає, що при $q = 2$ показник Гельдера (узагальнений показник Херста) $h(q) = H$. Для монофрактальних часових рядів узагальнений показник Херста не залежить від q , а флуктуаційна функція $F^2(s)$ постійна.

Для мультифрактальних рядів $h(q)$ – нелінійна функція. При позитивних значеннях q основний внесок у функцію $F_q(s)$ дають сегменти з великими відхиленнями $F^2(s)$, а при негативних – з малими. Таким чином, при негативних значеннях q узагальнений показник Херста $h(q)$ описує поведінку сегментів, що проявляють малі флуктуації, а при позитивних – великі.

Методика оцінки характеристик мережевого трафіку на основі вищевикладеного включає наступні етапи.

1. Час-частотний аналіз:

- визначення по АКФ процесу виду залежності (короткострокова або довготривала);
- побудова і аналіз графіка спектральної щільності потужності (вираз (2));
- аналіз виду вейвлет перетворення (оцінка показника Херста H (вираз (3)).

2. Статистичний аналіз:

- аналіз дисперсії вибіркового середнього (вираз (4));
- побудова гістограми експериментального розподілу і визначення його адекватності теоретичним розподілам за допомогою критеріїв згоди Колмогорова і Пірсона;
- визначення показника «тяжкості хвоста» α розподілу методом Хілла та/або методом LLCD
- застосування BDS-тесту для перевірки нульової гіпотези про незалежність і тотожність розподілу значень часового ряду та виявлення нелінійної залежності.

3. Фрактальний аналіз:

- обчислення кореляційної розмірності атратора D_C за виразом (6);

– визначення показника Херста H за виразом (7);

– обчислення кореляційної ентропії K_C за виразом (8);

– обчислення кореляційного інтервалу прогнозованості (глибини прогнозу) процесу T_C за виразом (9).

4. Мультифрактальний аналіз:

– визначення показника скейлінга α (вираз (13));

– обчислення скейлінгової експоненти τ_q (вираз (11));

– обчислення показника Гельдера $h(q)$ (вираз (15));

– визначення спектра сингулярностей D_q (вираз (12)).

Таким чином формується вектор інформативних ознак (характеристик і параметрів) мережевого самоподібного трафіку для подальшого виявлення аномалій для СВА.

Приклад аналізу та оцінки характеристик мережевого трафіку. Відповідно до методики, розглянутої вище, був виконаний аналіз сигналу трафіку мережі Ethernet [8], який був агрегований з кроком 5 с.

Процес, що породжує експериментальний сигнал трафіку має властивості, притаманні самоподібним процесам: гіперболічне убавання АКФ із зростанням часової затримки (рис. 1,а), ступеневий закон його спектральної щільності (рис. 1,б) та поволі убаваючу дисперсію (рис. 1,в).

Сигнал має (табл. 1) розподіл з «важким хвостом» (показник форми становить $\alpha = 1,4$), гістограма експериментального розподілу згідно з критеріями згоди Колмогорова і Пірсона відповідає розподілу Парето, скейлетон вейвлет-перетворення сигналу має деревоподібну структуру, а показник Херста має діапазон значень $[0,888; 0,980]$. Процес також є нелінійним відповідно до результатів BDS-тесту.

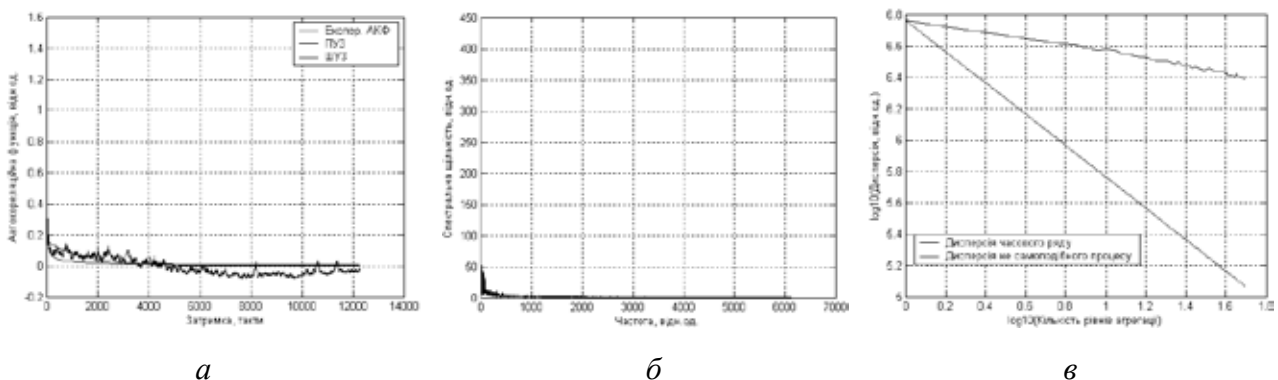


Рис. 1. АКФ (а), спектр (б) та дисперсія (в) сигналу трафіка

Таблиця 1

Таблиця вектору ознак мережевого трафіку

Показник	Сигнал трафіку
АКФ	ПУЗ
Спектр	Ступеневий закон
Вейвлет-перетворення	Деревоподібна структура скейлєтона
Дисперсія	Поволі убуваюча
Закон розподілу за критерієм: – Колмогорова – Пірсона	Парето Парето
Показник «важкості хвоста»	1,40
BDS-тест	Хаотичний нелінійний процес
Показник Херста – періодограмний метод – метод агрегованої дисперсії – R/S аналіз	0,980 0,888 0,913
Кореляційна розмірність	2,956
Кореляційна ентропія	0,640
Інтервал прогнозованості	2,525
Показник скейлінга	0,980
Скейлінгова експонента*	- 0,253
Показник Гельдера*	0,212
Спектр сингулярностей*	0,614

* Значення функцій для порядку $q=2$.

Гіпотези про тотожність розподілу значень сигналу приймалися з вірогідністю 95 %.

Аналіз детрендових флуктуацій проводився на всьому сигналі трафіку (довжиною 16384 такти тривалістю 5 с), а також на малій частині цього сигналу (довжиною 256 тактів) – сигнал 1.

Для сигналу трафіка значення показника скейлінга склало $\alpha = 0.980$, що близьке до 1 (рис. 2, а) і це властиво для флікер-шума, у якого енергія спектра зворотно пропорційна частоті. Слід відмітити, що отримане значення показника скейлінга α співпадає зі значеннями

показника Херста, отриманим періодограмним методом. (див. табл. 1).

Аналіз сигналу 1 дозволив виділити різні режими стану мережі (його трафіку). Поведінка сигналу 1 (рис. 2, б) на інтервалі від 10 до 86 тактів некорельована, оскільки показник скейлінга $\alpha_1 = 0,5$.

Проміжку часу від 87 до 129 тактів відповідає $\alpha_2 = 1,793 > 1$, що свідчить про кореляції, проте ступеневу залежність вони не мають. На інтервалі більше 129 тактів показник приймає значення $0,5 < \alpha = 0,921 < 1$, що властиве для персистентних процесів, які мають тренд.

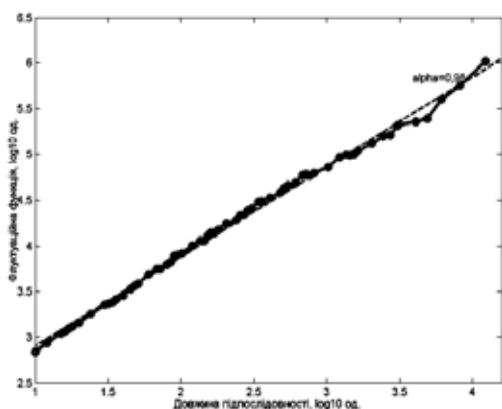
Таким чином, використання АДФ на малих часових інтервалах дозволяє визначити різні стани мережі та класифікувати її аномалії.

Сигнал трафіку в цілому виявив мультифрактальні властивості: його графіки скейлінгової експоненти та показника Гельдера є кривими лініями, що залежать від значення порядку, а спектр сингулярностей не є компактною множиною.

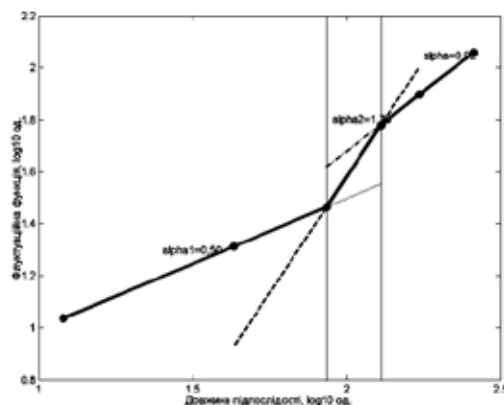
Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку. Обгрунтована методика комплексної оцінки характеристик самоподібного трафіка ІКМ, що включає час-частотний, статистичний, фрактальний і мультифрактальний аналізи, що дозволяє підвищити ймовірність визначення вторгнень для СВА за рахунок підвищення достовірності інформативних ознак самоподібного трафіка.

На прикладі експериментального сигналу трафіку мережі Ethernet проведений аналіз та визначені його характеристики.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку адекватних прогнозуючих моделей мережевого самоподібного трафіку для підвищення ефективності оперативного визначення вторгнень для СВА.



а



б

Рис. 2. Показники скейлінга сигналу трафіка (а) та сигналу 1 (б)

ЛІТЕРАТУРА:

1. Браницкий А.А., Котенко И.В. Анализ и классификация методов обнаружения сетевых атак. *Труды СПИИРАН*. 2016. Вып. 2(45). С. 207–244. URL: www.proceedings.spiiras.nw.ru.
2. Носенко К.М., Півторак О.І., Ліхоузова Т.А. Огляд систем виявлення атак в мережевому трафіку. *Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління»*. 2014. № 1(24). С. 67–75.
3. Лукова-Чуйко Н., Наконечный В., Толюпа С., Зюбіна Р. Проблемы захисту критично важливых объектов инфраструктуры. *Безпека інформаційних систем і технологій*. 2020. № 1(2). С. 31–39.
4. Довбешко С.В., Толюпа С.В., Шестак Я.В. Застосування методів інтелектуального аналізу даних для побудови систем виявлення атак. *Сучасний захист інформації*. 2019. № 1(37). С. 6–15.
5. Лазаренко С.В. Особенности функционирования систем выявления атак на автоматизованные системы. *Сучасний захист інформації*. 2015. № 1. С. 33–40.
6. Смирнов А., Дрейс Ю., Даниленко Д. Имитационная модель NIPDS для обнаружения и предотвращения вторжений в телекоммуникационных системах и сетях. *Ukrainian Scientific Journal of Information Security*. 2014. Vol. 20. Issue 1. P. 29–35.
7. Радівілова Т.А., Кіріченко Л.О., Тавалбех М.Х., Ільков А.А. Виявлення аномалій в телекомунікаційному трафіку статистичними методами. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2021. № 3 (11). С. 183–194.
8. Корнієнко В.І., Гусев О.Ю., Герасіна О.В. Інтелектуальне моделювання нелінійних динамічних процесів у системах керування, кібербезпеки, телекомунікацій: підручник. Дніпро : НТУ «ДП», 2020. 536 с.

REFERENCES:

1. Branitskii A.A., Kotenko I.V. Analiz i klassifikatsiia metodov obnaruzheniia atak. *Trudy SPIIRAN*. 2016. Vyp. 2(45). S. 207–244. Access mode: www.proceedings.spiiras.nw.ru.
2. Nosenko K.M., Pivtorak O.I., Lichouzova T.A. Ogljad system vyjavlennia atak v merezhevomu trafiku. *Mizhvidomchii naukovo-technichniy zbirnyk «Adaptyvni systemy avtomatychnogo upravlinnia»*, 2014, № 1(24). S. 67–75.
3. Lukova-Chuiko N., Nakonechnyi V., Toliupa S., Ziubina R. Problemy zachystu krytychno vazhlyvykh ob'ektiv infrastruktury. *Bezpeka informatciinykh system i technologii*, 2020, № 1(2). S. 31–39.
4. Dovbeshko S.V., Toliupa S.V., Shestak Ya.V. Zastosuvannia metodiv intelektualnogo analizu danykh dla pobudovy system vyjavlennia atak. *Suchasnyi zachyst informatsii*. 2019, № 1(37). S. 6–15.
5. Lazarenko S.V. Osoblyvosti funktsionuvannia system vyjavlennia atak na avtomatyzovani systemy. *Suchasnyi zachyst informatsii*. 2015, № 1. S. 33–40.
6. Smirnov A., Dreis Yu., Danylenko D. Smstatsionnaia model NIPDS dla obnaruzheniia i predotvrascheniia vtorzhenii v telekommunikatsionnykh sistemakh i setiach. *Ukrainian Scientific Journal of Information Security*. 2014, vol. 20, issue 1, p. 29–35.
7. Radivilova T.A., Kirichenko L.O., Tavalbech M.Ch., Il'kov A.A. Vyjavlennia anomalii v telekommunikatsiinomu trafiku statystychnymy metodamy. *Kiberbezpeka: osvita, nauka, technika*. 2021, № 3 (11). S. 183–194.
8. Korniienko V.I., Husiev O.Yu., Herasina O.V. Intelktualne modeliuvannia nelineinykh dynamichnykh protsesiv u systemakh keruvannia, kiberbezpeky, telekomunikatsii: pidruchnyk. Dnipro: NTU «DP», 2020. 536 s.

УДК 681.325.2:621.771.25

DOI <https://doi.org/10.32782/IT/2021-1-3>

Володимир КУВАЄВ

доктор технічних наук, професор кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, kuvaiev.v.m@ntu.one

ORCID: 0000-0001-6329-071X

Scopus Author ID: 6602411915

Павло ІЩУК

асистент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, yshchuk.p.o@ntu.one

ORCID: 0000-0001-6399-6771

Артем ПОЛІТОВ

студент факультету фізики, електроніки та комп'ютерних систем, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, просп. Гагаріна, 72, м. Дніпро, 49000, politov3601@gmail.com

ORCID: 0000-0003-2822-8026

Владислав БУРЯК

студент спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» другого (магістерського) рівня вищої освіти, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005

Бібліографічний опис статті: Куваєв, В., Іщук, П., Політов, А., Буряк, В. (2021). Програмні рішення по забезпеченню надійного функціонування складних інформаційно-керуючих систем критичних до режиму реального часу. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 1, 16–24, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2021-1-3>

ПРОГРАМНІ РІШЕННЯ ПО ЗАБЕЗПЕЧЕННЮ НАДІЙНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ СКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ КРИТИЧНИХ ДО РЕЖИМУ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Більшість складних систем автоматизації гірничо-металургійного комплексу України потребують докорінної модернізації. У сучасних умовах така модернізація передбачає використання комп'ютерних технологій для створення інформаційно-керуючих систем які працюють в режимі реального часу, а вимоги до надійності їх функціонування є критично високими. Враховуючи багатofункціональність і складність систем автоматизації, що забезпечують керування технологічними процесами гірничо-металургійними виробництвами, проблема забезпечення їх надійного функціонування в режимі реального часу не зводиться до вибору відповідного апаратно-програмного інструментарію, а потребує особливих підходів до проектування прикладного програмного забезпечення. **Метою роботи** є обґрунтування програмних рішень по забезпеченню надійного функціонування складних інформаційно-керуючих систем критичних до режиму реального часу. Реалізація поставленої мети передбачає вирішення завдання створення надійно функціонуючого в режимі реального часу програмного забезпечення складних інформаційно-керуючих систем, що ґрунтується на послідовному аналізі функціональної структури системи, структури її обчислювальних вузлів, які прив'язані до топографії розміщення місць вводу-виводу інформації і постів керування технологічним процесам, та розподілу функціональних задач між програмними потоками з урахуванням критичних обмежень на час їх виконання. **Методологія** вирішення поставленого завдання полягає у послідовному аналізі загальних функціональних задач, що вирішує інформаційно-управляюча система, аналізу структури технічних засобів системи, декомпозиції загальних функціональних задач системи на підзадачі та розподілу цих підзадач між програмними задачами з урахуванням обмежень на час їх реалізації. **Наукова новизна.** У статті показано, що при розробці програмних рішень які забезпечують надійне функціонування складних інформаційно-керуючих систем критичних до режиму реального часу програмні задачі формуються виходячи, перш за все, з вимог до часу їх реалізації та урахуванням розподілу інформаційно-керуючого завантаження обчислювальних вузлів системи.

Ключові слова: системи реального часу, надійність функціонування, програмні задачі, функціональна структура, інформаційно-керуючі системи.

Volodymyr KUVAIEV

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Computer Systems Software, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, kuvaiev.v.m@nmu.one

ORCID: 0000-0001-6329-071X

Scopus Author ID: 6602411915

Pavlo ISHCHUK

Assistant of Department of Computer Systems Software, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, yshchuk.p.o@nmu.one

ORCID: 0000-0001-6399-6771

Artem POLITOV

student of the Faculty of Physics, Electronics and Computer Systems, Oles Honchar Dnipro National University, 72 Gagarina ave., Dnipro, 49000, politov3601@gmail.com

ORCID: 0000-0003-2822-8026

Vladyslav BURIK

student of specialty 121 "Software Engineering" of the second (master's) level of higher education, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005

To cite this article: Kuvaiev, V., Ishchuk, P., Politov, A., Burik, V. (2021). Prohramni rishennia po zabezpechenniu nadiinoho funktsionuvannia skladnykh informatsiino-keruiuchykh system krytychnykh do rezhymu realnoho chasu [Software solutions to ensure the reliable operation of complex information and control systems critical to real-time]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 1, 16–24, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2021-1-3>

SOFTWARE SOLUTIONS TO ENSURE THE RELIABLE OPERATION OF COMPLEX INFORMATION AND CONTROL SYSTEMS CRITICAL TO REAL-TIME

Most complex automation systems of the mining and metallurgical complex of Ukraine need radical modernization. In modern conditions, such modernization involves the use of computer technology to create information and control systems that work in real time, and the requirements for the reliability of their operation are critically high. Given the versatility and complexity of automation systems that control the processes of mining and metallurgical production, the problem of ensuring their reliable operation in real time is not limited to the selection of appropriate hardware and software tools, but requires special approaches to application software design. **The purpose** of the work is to substantiate software solutions to ensure the reliable operation of complex information and control systems critical to real-time. Realization of the set purpose provides the decision of a problem of creation of reliably functioning in real time software of difficult information and control systems based on the consecutive analysis of functional structure of system, structure of its computer knots which are tied to a topography of placement of input-output of information and control posts. technological processes, and the distribution of functional tasks between program flows, taking into account the critical constraints on their execution time. **The methodology** for solving this problem is a consistent analysis of general functional problems solved by the information management system, analysis of the structure of technical means of the system, decomposition of general functional problems of the system into subtasks and distribution of these subtasks between program tasks. **Scientific novelty.** The article shows that in the development of software solutions that ensure the reliable operation of complex information and control systems critical to real-time software tasks are formed based primarily on the requirements for the time of their implementation and taking into account the distribution of information and control load of computer nodes.

Key words: real-time systems, reliability of operation, software tasks, functional structure, information-control systems.

Актуальність проблеми. Більшість складних систем автоматизації, зокрема гірничо-металургійного комплексу України, потребують докорінної модернізації. У сучасних умовах така модернізація передбачає використання комп'ютерних технологій для створення інформаційно-керуючих систем які працюють в режимі реального часу, а вимоги до надійності

їх функціонування є критично високими. Враховуючи багатофункціональність і складність систем автоматизації, що забезпечують керування технологічними процесами гірничо-металургійними виробництвами, проблема забезпечення їх надійного функціонування в режимі реального часу не зводиться до вибору відповідного апаратно-програмного інструментарію, а потре-

бує особливих підходів до проектування прикладного програмного забезпечення. Сучасні комп'ютерні технології і, перш за все, системне програмне забезпечення надає інструментарій для реалізації режимів реального часу, в складних багатофункціональних системах, але воно не дає рекомендацій по розробці прикладного програмного забезпечення для них. Тому вирішення задачі створення надійного прикладного програмного забезпечення складних багатофункціональних систем технологічної автоматизації є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Аналіз літературних джерел показує існування двох основних напрямів розвитку програмного забезпечення систем з жорсткими вимогами до часу реакції на зовнішні та внутрішні події – систем реального часу (СРЧ). Це системне прикладне програмне забезпечення яке функціонує під керівництвом спеціалізованої операційної системи реального часу (ОС РЧ), які не орієнтовано на апаратні платформи конкретного виробника, та системи, де операційна система є частиною спеціалізованого апаратно-програмного комплексу. До першого напрямку розвитку системного програмного забезпечення належить ОС РЧ QNX – одна з найбільш поширених операційних систем такого класу, до другого – ОС РЧ контролерів SIMATIC S7 фірми Siemens і програмованих логічних контролерів інших виробників.

Основні інструментарії ОС РЧ QNX і особливості їх практичного використання описані в роботах [1–5]. У той же час там не наводиться навіть загальних рекомендацій щодо компонування прикладного програмного забезпечення з розподілом функціональних алгоритмічних блоків між програмними задачами, процесами і потоками при реалізації паралельної багатозадачності реального часу, залишаючи це на розсуд програміста.

Аналогічна ситуація має місце і при створенні прикладного програмного забезпечення і для контролерів SIMATIC S7 фірми Siemens. Так в [6–9] наводиться в подробицях інструментарій, що надає системне програмне забезпечення STEP 7 з прив'язкою його апаратного забезпечення SIMATIC S7, але немає рекомендацій щодо конфігурування складних багатофункціональних систем і розподілення алгоритмічних блоків і відповідного прикладного програмного забезпечення між організаційними блоками в середовищі загально системного програмного забезпечення

Метою статті є дослідження формування прикладного програмного забезпечення багато-

функціональних інформаційно-керуючих систем критичних до режиму реального часу на прикладі систем управління швидкісним режимом прокатки безперервного дрібносортового стана.

Виклад основного матеріалу. Сучасні системи автоматизації складних технологічних об'єктів до яких, зокрема, відносяться об'єкти гірничо-металургійного комплексу, базуються на сучасних комп'ютерних технологіях, що дозволяє функціонально об'єднувати в одній системі декілька різномірних за своїм призначенням локальних систем і, завдяки спільній інформаційній базі, досягати синергетичного ефекту управління технологічним об'єктом. У той же час інтеграція прикладного програмного забезпечення локальних систем при створенні комплексної багатофункціональної інформаційно-керуючої системи стикається з проблемою забезпечення часових параметрів вирішення локальних задач критичних до режиму реального часу.

Таким чином одним з напрямків забезпечення надійного функціонування складних багатофункціональних інформаційно-керуючих систем критичних до режиму реального часу лежить в площині підходів щодо проектування прикладного програмного забезпечення таких систем і використання апробованих програмних рішень, які адекватно відображають функціональну та технічну структуру інформаційно-керуючої системи.

Такі рішення були відпрацьовані при створенні і впровадженні систем керування швидкісним режимом прокатки безперервних дрібносортових прокатних станів. Загальний опис цих систем наведено в [10; 11].

Системи керування швидкісним режимом прокатки є одними з основних систем технологічної автоматизації безперервних сортових станів. Ці системи багато в чому визначають точність сортового прокату, витрати часу на настроювання швидкісного режиму прокатки, стабільність роботи механізмів вихідного боку станів.

Системи, що описані в [10; 11], з самого початку створювалися як багатофункціональні і багатозадачні з розгалуженими перехресними міжфункціональними і міжзадачними зв'язками та з можливістю розширення їх можливостей. В процесі розробки та відпрацювання систем склалася їх функціональна структура із задач з інформаційною взаємодією, що наведена на рис. 1.

Технічна реалізація системи керування швидкісним режимом прокатки базувалася на двох індустріальних комп'ютерах, об'єднаних

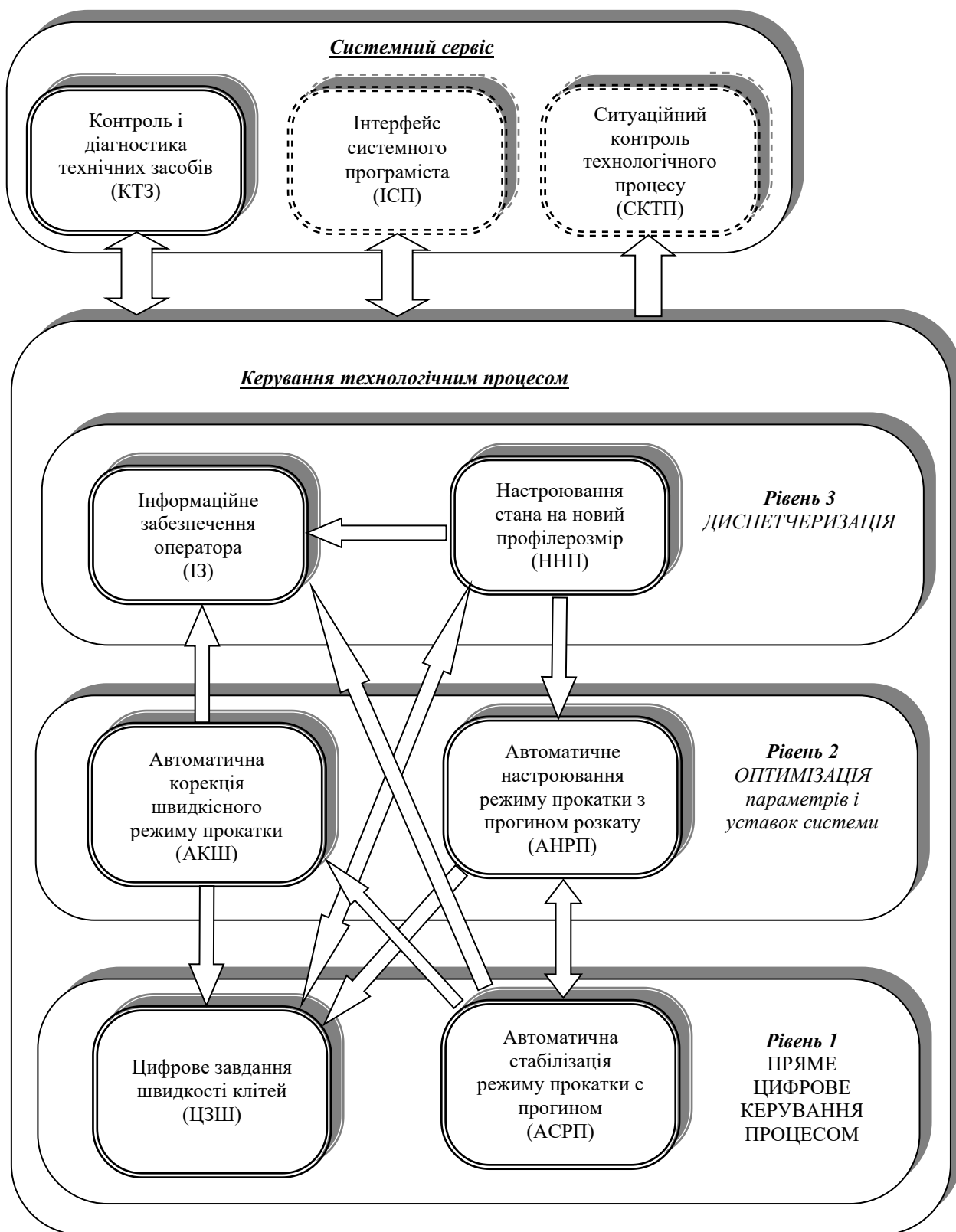


Рис. 1. Функціональна структура системи керування швидкісним режимом прокатки

в локальну обчислювальну мережу. Розподіл функціональних задач по вузлах обчислювальної мережі визначалася топографією розміщення постів керування, місць підключення до вхідних та вихідних сигналів і вимог щодо забез-

печення режиму реального часу при програмної реалізації задач керування відповідно до функціональної структури системи. На станцію оператора (вузол 1) були покладені інформаційні задачі і задачі по організації призначеного

для користувача інтерфейсу, а на контролер управління (вузол 2) – задачі прямого цифрового керування швидкісним режимом прокатки.

Операційним середовищем розробки програмного забезпечення (ПЗ) систем управління швидкісним режимом прокатки була операційна система (ОС) реального часу (РЧ) QNX, а базовою мовою програмування (мовним середовищем) – Си.

У структурі прикладного ПЗ системи керування швидкісним режимом прокатки виділяються дві основні групи задач: перша реалізує власне функції управління технологічним процесом в реальному масштабі часу (РЧ) – задачі керування технологічним процесом, а друга група задач забезпечує зручність обслуговування системи і ситуаційний аналіз роботи системи керування швидкісним режимом прокатки – системний сервіс.

Перша група задач досить чітко структурована за рівнями: прямого цифрового керування технологічним процесом, оптимізації параметрів і уставок системи керування, диспетчеризації, які однозначно пов'язані з їх інформаційної підпорядкованістю і критичністю до режиму РЧ.

Природно, найбільш жорсткі обмеження за часом виконання і періодичності повторення мають задачі першого рівня, тому що вони реалізують зовнішній контур керування електроприводу кліті, вимоги до швидкодії якого визначає частота зрізу контуру регулювання частоти обертання електроприводу кліті.

У первісному вигляді ПЗ однозначно відображало функціональну схему розв'язування технологічного завдання. В результаті цього окремі процеси обслуговування виявилися замкнутими на кожен з об'єктів керування (або його частини), виконуючи при цьому досить різнопланові функції, як то: операції настройки, регулювання, інформаційного обміну та ін. Однак подальше тестування моделі системи з ПЗ, побудованої за цим принципом, виявило її неефективність. Внаслідок неоднорідності одні компоненти кожного з об'єктів вимагали більш частого обслуговування з жорсткими тимчасовими обмеженнями, в той час як інші були менш критичні до цього або ж потребували лише асинхронне обслуговування. Це привело до необхідності розбити спочатку зібрані процеси обслуговування на окремі частини, які згодом були згруповані з урахуванням вимог щодо періодичності роботи, тимчасовим обмеженням, тривалості виконання та ін.

При подальшому проектуванні ПЗ використовувався метод руху в напрямку від задач і ресурсів більш високого рівня до більш низь-

кого. Особлива увага приділялася мінімізації міжзадачної пересилки даних. Підсумком декомпозиції стало угруповання даних, зв'язків і дій всередині автономних (відокремлених) задач (процесів), що виконуються зі своїми пріоритетами, періодичністю та тривалістю. В результаті структура ПЗ більшою мірою стала визначатися не тільки функціональною структурою задач, а й вимогами до режиму РЧ для їх складових частин (підзадач).

Остаточна структура ПЗ систем керування швидкісним режимом прокатки була сформована в процесі впровадження. Функції системи управління швидкісним режимом прокатки забезпечуються процесами, наведеними нижче в таблиці 1.

Найбільшому дробленню і перекомпонувannya піддалася, найбільш критична до режиму РЧ – АСРП.

В результаті процеси виявилися розподілені за такими групами:

- високопріоритетні, що працюють в жорсткому часовому режимі, процеси мають, по можливості, короткий повний цикл роботи, цілком вкладаються у відведений часовий квант. Виконують функції прямого управління об'єктом (PRIVOD2, DATA_FAKT1, OPER_ZADAN2, VKL_PROGIB2);

- фонові процеси, періодичність роботи яких значно нижче першої групи і процеси, що працюють в асинхронному режимі. Виконують підготовчі, настроювальні і допоміжні функції. (REG_SKOR1, COMM1, DIAGN_PROGIB2, NASTR_PROGIB2);

- процеси, які відіграють роль менеджерів керування міжзадачними інформаційними потоками. Режим роботи фоновий, кількість – по одному на кожен вузол мережі. (MNG1, MNG2);

- процес, який реалізує інтерактивний інтерфейс з користувачем (BAT);

- група процесів, що підключається і відключається динамічно в процесі роботи системи з активацією за ініціативи користувача, точка підключення – інтерфейсне гніздо ближнього менеджера. Вони призначені для діагностики і настройки обладнання обслуговуючим персоналом, діагностики програмного забезпечення, підтримки інтерфейсу з системами верхнього рівня і ін. (KONTROL1, SYS_PRG1, PROTOKOL1).

Виняткова увага приділялася оптимізації структури розподіленої системи і циркулюючих інформаційних потоків. Компонування процесів проводилася з урахуванням топології розміщення технічних засобів системи управління швидкісним режимом прокатки.

Міжвузлові зв'язки були покладені на задачу COM1, що розташована на вузлі 1 – завантаженого задачею менш критичними до швидкодії,

ніж вузол 2. Це, з одного боку, надає прозорий інтерфейс обміну, як процесам на локальній машині, так і на віддалених вузлах, а з іншого –

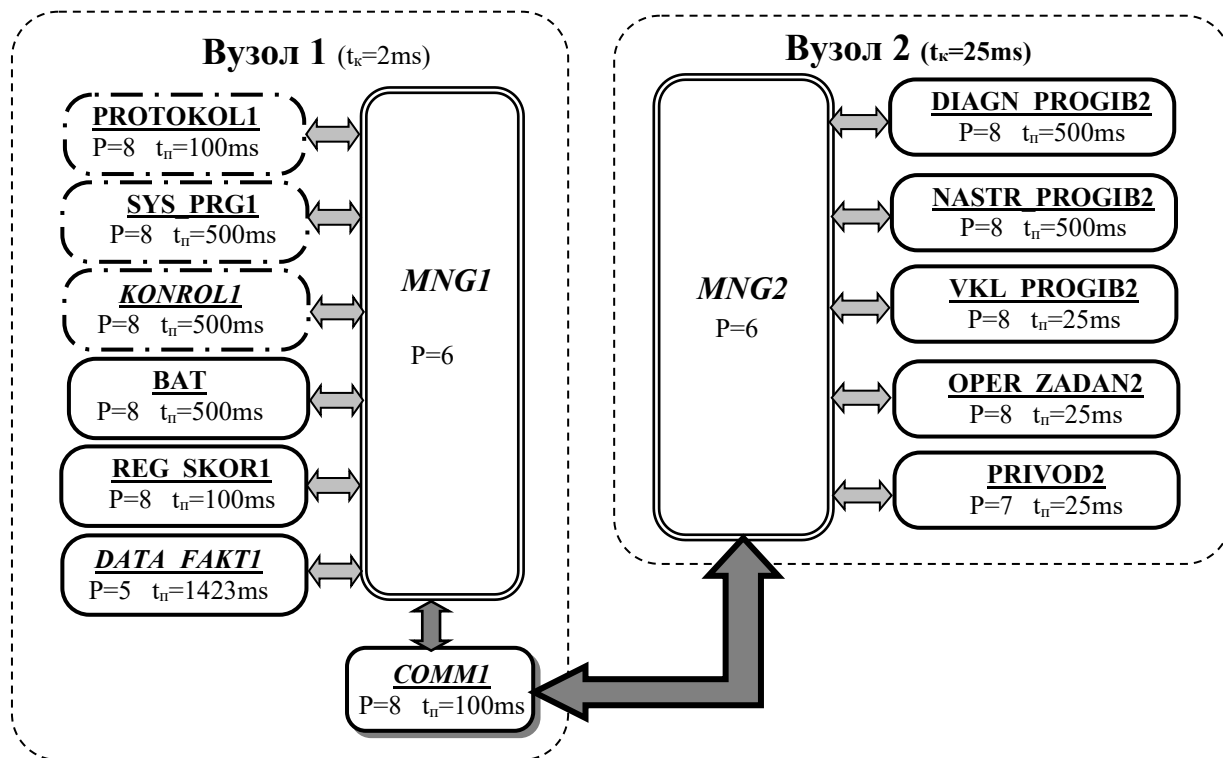


Рис. 2. Структура програмного забезпечення

вузол1, вузол2 – індустриальні комп'ютери; t_k – періодичність системного переривання процесів; t_n – періодичність повторення процесу; P – рівень пріоритету процесу ($P=1$ – рівень max ... $P=8$ – рівень min пріоритету відповідно).

Таблиця 1

Список процесів системи керування швидкісним режимом прокатки

Найменування процесу	Задача	Функції, що виконує
Вузол 1		
PROTOKOL1	СКТП	Ситуаційний контроль технологічного процесу
SYS_PRG1	ІСП	Інтерфейс системного програміста
KONTROL1	КТС	Контроль і діагностика технічних засобів системи
DATA_FAKT1	ІЗ	Введення фактичних частот обертання електроприводу клітей
BAT	ІЗ ННП	Інтерфейс користувача, інформаційно-керуючі функції налаштування стану
REG_SKOR1	ЦЗШ	Зміна режимів управління завданням на швидкість клітей.
COMM1	АРНП АСРП Сист.	Зміна режимів роботи і введення завдання на величину прогинів прокату між клітьми. Організація міжвузлового зв'язку.
MNG1	Сист.	Упорядкування інформаційних потоків вузла 1.
Вузол 2		
NASTR_PROGIB2	АНРП	Автоматичне налаштування режиму прокатки з прогином.
DIAGN_PROGIB2	АСРП	Діагностика роботи системи в режимі прокатки з прогином.
OPER_ZADAN2	ЦЗШ	Цифрове завдання базової швидкості клітей
VKL_PROGIB2	АСРП	Вмикання або вимикання режиму стабілізації прогину прокату в міжклітьових проміжках в темпі з прокаткою.
PRIVOD2	АКШ АСРП	Регулювання величин прогину в міжклітьових проміжках, формування вихідних даних для корекції швидкісного режиму прокатки. Розрахунок і видача поточних уставок в канали завдання частот обертання електроприводів з клітей.
MNG2	Сист.	Упорядкування інформаційних потоків вузла 2

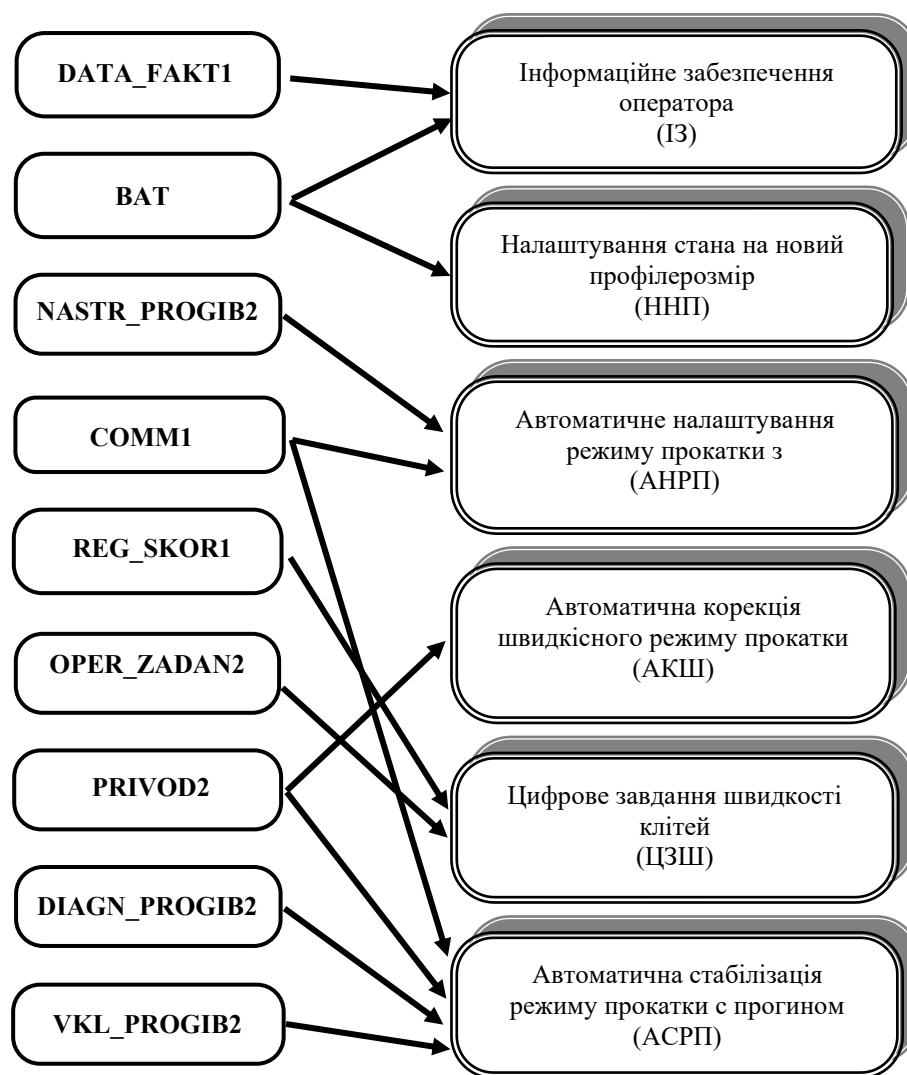


Рис. 3. Взаємозв'язок функціональних задач управління технологічним процесом з програмними процесами

не перевантажують мережевий трафік надлишковими пересилками пакетів даних.

Структура програмного забезпечення наведена на рис. 2.

Взаємозв'язок функціональних задач групи керування швидкісним режимом прокатки з процесами наведено на рис. 3.

Програмний процес SYS_PRG1 є програмою-відладчиком ПЗ з інтерфейсом системного програміста. Відладчик дозволяє динамічно підключатися до задач-менеджерів і контролювати трафік обміну інформацією між задачами і зміст блоків переданих даних. Його використання дозволило істотно скоротити час налагодження та гарантувати функціонування ПЗ в проектному режимі РЧ.

При розробці і впровадженні систем керування швидкісним режимом прокатки особлива увага приділялася питанням діагностики технічних засобів і можливості установки і корек-

ції основних параметрів системи. Перш за все, система програмно (програмний процес PROTOKOL1) аналізує величину ряду вхідних сигналів (з датчиків частоти обертання приводів клітей, датчиків прогину-нааявності прокату, від перемикачів пульта оператора і ін.). І при виявленні позаштатних ситуацій виводить на екран дисплея повідомлення. Цей же процес забезпечує архівування в режимі реального часу параметрів, що характеризують поточний стан процесу управління швидкісним режимом прокатки, і дає можливість доступу до них для подальшого перегляду даних.

Для усунення несправностей, детального аналізу стану технічних засобів і корекції внутрішніх (програмно встановлених) параметрів системи використовується підсистема контролю та діагностики (програмний процес (KONTROL1). Її виклик здійснюється з процесу, що реалізує інтерактивний інтерфейс з корис-

тувачем (ВАТ). Перевірка вхідних сигналів індустріальних комп'ютерів і корекція параметрів системи, підсистемою контролю та діагностики, може проводитися без зупинки процесу прокатки. Повірка вихідних ланцюгів можлива тільки при зупинених електроприводах клітей.

Подальша експлуатація розроблених систем керування швидкісним режимом прокатки підтвердила ефективність запропонованих програмних рішень по забезпечення надійного функціонування складних інформаційно-керуючих систем критичних до режиму реального часу

Висновки. В основі формування програмного забезпечення складних інформаційно-керуючих систем лежить їхня функціональна структура з інформаційними зв'язками між окремими задачами.

Проектуванні ПО слід вести від задач і ресурсів більш високого рівня пріоритету за швидкодією до нижчого. Процеси обслуговування групуються з урахуванням вимог щодо

періодичності роботи, часовим обмеженням, тривалості виконання. Це призводить до декомпозиції початкових функціональних задач і групуванню даних, зв'язків і дій всередині автономних (відокремлених) задач (процесів), що виконуються зі своїми пріоритетами, періодичністю та тривалістю. В результаті структура програмного забезпечення в більшій мірі стала визначатися не тільки функціональною структурою задач, а й вимогами до режиму реального часу для їх складових частин (підзадач).

У прикладному програмному забезпеченні необхідно передбачити сервісні програми, що забезпечують контроль трафіку обміну інформацією між задачами і зміст блоків переданих даних, оперативний контроль і аналіз стану технічних засобів і корекції внутрішніх (програмно встановлених) параметрів системи, архівування в режимі реального часу параметрів, що характеризують поточний стан процесу управління, з можливістю доступу до них для подальшого перегляду даних.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Кертен Р. Введение в QNX Neutrino 2. СПб: Петрополис. 2004. 478 с.
2. Практика работы с QNX / Д. Алексеев, Е. Видревич, А. Волков и др. Москва : КомБук, 2004. 432с.
3. Зыль С.Н. QNX Momenticx: основы применения. Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2005. 256 с.
4. Операционная система реального времени QNX Neutrino 6.3. Системная архитектура: Пер. с англ. Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2005. 336 с.
5. Цилюрик О. Визуальные инкапсулированные компоненты в Photon QNX. *Программист*. № 5. 2002.
6. Альтерман И.З. Программируемые контроллеры SIMATIC S7. 1-й уровень профессиональной подготовки S7_PROF1_PA. 2011. 68 с. URL: http://www.promautomatic.ru/catalog/S7_PROF1_PA.pdf.
7. Альтерман И.З. Программируемые контроллеры SIMATIC S7. 2-й уровень профессиональной подготовки S7_PROF2_PA. 2011. 66 с. URL: http://www.promautomatic.ru/catalog/S7_PROF2_PA.pdf.
8. Ганс Бергер Автоматизация с помощью Программ STEP7 LAD и FBD. Программируемые контроллеры SIMATIC S7-300/400. Изд. 2-е перераб. – Siemens, 2001. 605 p. URL: http://samsebeplc.ru/Doc/Siemens/STEP7/Berger_STEP7_LADFBFD_r.pdf.
9. Ганс Бергер Автоматизация посредством STEP 7 с использованием STL и SCL и программируемых контроллеров SIMATIC S7-300/400 – Siemens, 2001. 776 p. URL: http://samsebeplc.ru/Doc/Siemens/STEP7/Berger_Step7-STLSCL_r.pdf.
10. Калинин В.И., Кофман М.Е., Веселов В.Ф., Куваев В.Н., Карпинский Ю.П., Политов И.В., Чигринский В.А. Освоение системы управления скоростным режимом прокатки в линии стана 350/250. *Сталь*. 2003. № 2. С. 59–62.
11. Системы управления скоростным режимом непрерывной прокатки сортовых станов / В.А. Шеремет, М.А. Бабенко, А.В. Скляр, В.А. Щур, М.И. Костюченко, В.Н. Куваев, В.А. Чигринский, Ю.П. Карпинский, И.В. Политов, Д.А. Иванов. *Металургійна наука – підприємствам Придніпров'я. Збірник наукових праць*. Вип. 2. Дніпропетровськ. «Системні технології». 2005. С. 52–62.

REFERENCES:

1. Kerten, R. (2004). *Vvedenie v QNX Neutrino 2 [Introduction to QNX Neutrino 2]*. St. Petersburg: Petropolis. 478 p. [in Russian].
2. *Praktika raboty s QNX [Practice of working with QNX]* (2004). D. Alekseev, E. Vidrevich, A. Volkov et al. Moscow: KomBuk, 432 p. [in Russian].
3. Zyl', S.N. (2005). *QNX Momenticx: osnovy primeneniya [QNX Momenticx: Application Basics]*. St. Petersburg: BHV-Petersburg, 256 p. [in Russian].

4. *Operatsionnaya sistema real'nogo vremeni QNX Neutrino 6.3. Sistemnaya arkhitektura [QNX Neutrino real-time operating system 6.3. System architecture]*. (2005). Translate from English. St. Petersburg: BHV-Petersburg, 336 p. [in Russian].
5. Tsilyurik, O. (2002). Vizual'nye inkapsulirovannye komponenty v Photon QNX [Visual encapsulated components in Photon QNX]. *Programmist – Programmer*. No. 5. [in Russian].
6. Al'terman, I.Z. (2011). *Programmiruemye kontrolyery SIMATIC S7. 1-y uroven' professional'noy podgotovki S7_PROF1_PA [SIMATIC S7 Programmable controllers. 1st level of professional training S7_PROF1_PA]*. 68 p. Retrieved from: http://www.promautomatic.ru/catalog/S7_PROF1_PA.pdf [in Russian].
7. Al'terman, I.Z. (2011). *Programmiruemye kontrolyery SIMATIC S7. 2-y uroven' professional'noy podgotovki S7_PROF2_PA. [SIMATIC S7 programmable controllers. 2nd level of professional training S7_PROF2_PA]*. 66 p. Retrieved from: http://www.promautomatic.ru/catalog/S7_PROF2_PA.pdf. [in Russian].
8. Gans Berger (2001). *Avtomatizatsiya s pomoshch'yu Programm STEP7 LAD i FBD. Programmiruemye kontrolyery SIMATIC S7-300/400. [Automation with STEP7 LAD and FBD Programs. SIMATIC S7-300 / 400 programmable controllers]*. Ed. 2nd revised. Siemens, 605 p. Retrieved from: http://samsebeplc.ru/Doc/Siemens/STEP7/Berger_STEP7_LADFBD_r.pdf [in Russian].
9. Gans Berger (2001). *Avtomatizatsiya posredstvom STEP 7 s ispol'zovaniem STL i SCL i programmiruemykh kontrollerov SIMATIC S7-300/400 [Automation by STEP 7 using STL and SCL and programmable controllers SIMATIC S7-300/400]* Siemens, 776 p. Retrieved from: http://samsebeplc.ru/Doc/Siemens/STEP7/Berger_Step7-STLSCL_r.pdf. [in Russian].
10. Kalinin V.I., Kofman M.E., Veselov V.F., Kuvaev V.N., Karpinskiy Yu.P., Politov I.V., Chigrinskiy V.A. (2003). *Osvoenie sistemy upravleniya skorostnym rezhimom prokatki v linii stana 350/250. [Mastering the control system for the high-speed rolling mode in the line of the 350/250 mill]*. *Stal' – Steel*. No. 2. p. 59–62. [in Russian].
11. Sheremet V.A., Babenko M.A., Sklyar A.V., Shchur V.A., Kostyuchenko M.I., Kuvaev V.N., Chygrynskiy V.A., Karpinsky Yu.P., Politov, I.V., Ivanov D.A. (2005). *Sistemy upravleniya skorostnym rezhimom nepreryvnoy prokatki sortovykh stanov [Speed control systems for continuous rolling of section mills / Metalurgiyana nauka – pidpriemstvam Pridniprov'ya. Zbirnik naukovikh prats'. Vip. 2. Dnipropetrovs'k. «Sistemni tekhnologii» – Metallurgical science – to the enterprises of Pridniprov. Collection of scientific works. Issue 2. Dnipropetrovsk. "System technologies". P. 52–62. [in Russian]*.

УДК 004.896

DOI <https://doi.org/10.32782/IT/2021-1-4>

Леонід МЕЩЕРЯКОВ

доктор технічних наук, професор кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, meshcheriakov.l.i@ntu.one

ORCID: 0000-0002-9579-1970

Scopus Author ID: 57205282540

Ірина УДОВИК

кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, udovik.im@gmail.com

ORCID: 0000-0002-5190-841X

Scopus Author ID: 55998874400

Назар САМАРЕЦЬ

студент спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» другого (магістерського) рівня вищої освіти, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005

Бібліографічний опис статті: Мещеряков, Л., Удовик, І., Самарець, Н. (2021). Динамічне програмування оптимальних рішень управління з урахуванням внутрішнього стану агенту мультиагентних систем. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 1, 25–34, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2021-1-4>

ДИНАМІЧНЕ ПРОГРАМУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РІШЕНЬ УПРАВЛІННЯ З УРАХУВАННЯМ ВНУТРІШНЬОГО СТАНУ АГЕНТУ МУЛЬТИАГЕНТНИХ СИСТЕМ

Стрімкий розвиток інтелектуальних мультиагентних систем вимагає дослідження та аналітичного обґрунтування існування основних складових цих систем, а саме агентів. При цьому одною з основних базових складових агентів являється їх внутрішній стан, який суттєво впливає на формування способів ухвалення визначених рішень. **Метою роботи** є дослідження можливості формування раціональних рішень в мультиагентних системах на основі визначення внутрішнього стану агентів. Реалізація поставленої мети передбачає застосування аналітичного конструювання, що спирається на динамічне програмування і забезпечує саме оптимальне по точності та енерговитратам відповідно заданого критерію формування управляючих рішень. **Методологія** забезпечення рішення представленого завдання складається в застосуванні відображення внутрішнього стану агентів в змінний стану, що дозволяє мінімізувати ресурси формування вихідних рішень в мультиагентних системах. **Наукова новизна.** Складається в застосуванні аналітичного моделювання в змінний стану, записаних в нормальній формі Коши з використанням принципу динамічного програмування Р. Беллмана до представлення внутрішнього стану агентів в мультиагентних системах, що дозволяє здійснити оптимізацію відповідно заданого критерію по точності та енерговитратам вихідних рішень, які формуються в системах. **Висновки.** Застосування рівнянь в змінний стану, записаних в нормальній формі Коши, для представлення внутрішнього стану агентів мультиагентної системи представляє можливість більш ефективно відпрацювати формування оптимальних відповідно заданого критерію по точності та енерговитратам закони рішень, що приймаються.

Ключові слова: мультиагентні системи, агенти, динамічне програмування, змінні стану, нормальна форма Коши, оптимізація стану.

Leonid MESHCHERIAKOV

Doctor of Engineering, Professor of Department of Software Engineering, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, meshcheriakov.l.i@nmu.one

ORCID: 0000-0002-9579-1970

Scopus Author ID: 57205282540

Iryna UDOVYK

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department of Software Engineering, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, udovik.im@gmail.com

ORCID: 0000-0002-5190-841X

Scopus Author ID: 55998874400

Nazar SAMARETS

student of specialty 121 "Software Engineering" of the second (master's) level of higher education, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005

To cite this article: Mesheryacov, L., Udovik I., Samarets, N. (2021). Dynamichne prohramuvannia optymalnykh rishen upravlinnia z urakhuvanniam vnutrishnoho stanu ahentu multyahentnykh system [Dynamic programming of optimum decisions of management taking into account the inlying state to the agent of the moultiagentnih systems]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 1, 25–34, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2021-1-4>

DYNAMIC PROGRAMMING OF OPTIMUM DECISIONS OF MANAGEMENT TAKING INTO ACCOUNT INLYING STATE TO AGENT OF MOULTIAGENTNIH SYSTEMS

The rapid development of intelligent multi-agent systems requires research and analytical justification of the existence of the main components of these systems, namely agents. In this case, one of the main basic components of agents is their internal state, which significantly affects the formation of ways to make certain decisions. The aim of the work is to study the possibility of forming rational solutions in multi-agent systems based on determining the internal state of agents. Realization of the set purpose provides application of the analytical designing which is based on dynamic programming and provides the most optimum on accuracy and power consumption according to the set criterion of formation of control decisions. The methodology of providing the solution of the presented problem consists in application of display of an internal condition of agents in state variables that allows to minimize resources of formation of initial decisions in multiagent systems. Scientific novelty. It consists in the application of analytical modeling in state variables written in the normal Cauchy form using the principle of dynamic programming by R. Bellman to represent the internal state of agents in multiagent systems, which allows to optimize the criterion for accuracy and energy consumption of initial solutions formed in systems. Conclusions. The use of equations in state variables written in the normal Cauchy form to represent the internal state of agents of a multiagent system is an opportunity to more effectively work out the formation of optimal according to the specified criterion for accuracy and energy consumption laws of decisions.

Key words: multiagent systems, agents, dynamic programming, state variables, normal Cauchy form, state optimization.

Актуальність проблеми. В результаті досліджень в напрямках паралельних обчислень, розподілених комп'ютерних систем та мережних технологій сформувався новий перспективний напрям штучного інтелекту у вигляді інтелектуальних мультиагентних систем. Такі технології базуються на принципі автономності окремих частин програми, які спільно функціонують в існуючій розподіленій системі, та в якій одночасно функціонують множина взаємозв'язаних процесів. Ці програми визначаються агентами. Відтак програми агенти класифікуються на основні ознак ступіні розвитку внутрішнього уявлення про зовнішній світ та способі ухвалення рішень. Тобто

рішення, що формуються, перед усе базуються на основі внутрішнього стану агента. Відповідно актуальною є проблема формування оптимальних рішень, які цілком залежать від реальності розпізнавання оперативного стану об'єктів-агентів, що перспективно визначати через аналітичне конструювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження існуючих джерел виявив приклади застосування мультиагентних систем для планування роботи різних гнучких виробничих систем [4]. Перевагами таких систем є відповідно: формалізація точок прийняття рішень у вигляді агентів; планувальник, що діє в режимі реального часу; мережа агентів, що зв'язана функціо-

нальними відношеннями та самостійно координують свої дії.

До найбільш значимих практичних результатів застосування мультиагентних систем можливо віднести вирішення задач через формування апарату потреб та можливостей (ПМ-мереж). Цей апарат ПМ-мереж, що розроблений В.А. Виттихом, П.О. Скобелевим, Г.А. Ржевським [4], програмно реалізовано у вигляді технології MAGENTA, яка знайшла відповідне використання в прикладних інтелектуальних системах планування для різних технологічних процесів та об'єктів.

Мультиагентний підхід застосовується і в імітаційному моделюванні для формалізації поведінки агентів. Існують підходи і моделі мультиагентного планування ще на активних та пасивних перетворювачах (АПП) Б.І. Клебанова та І.М. Москалева [3], а також підходи що реалізовані в AnyLogic та моделюванні процесів перетворення ресурсів (МППР) [4].

Але в визначених існуючих напрямках застосування мультиагентних систем досі не приділялась увага оперативному внутрішньому стану саме агентів, а очевидно, що це один з основних впливових параметрів, які формують доцільність рішень, що приймаються системою.

Метою статті є дослідження можливості формування оптимальних рішень на основі визначення внутрішнього стану агентів в мультиагентних системах через застосування аналітичного конструювання, що спирається на динамічне програмування.

Виклад основного матеріалу. При об'єктивному ускладненні в майбутньому мультиагентних систем, різкому збільшенні їх розмірності, необхідності враховувати змін-

ності параметрів та існуючи нелінійності, виникає необхідність до опису та програмування систем, що розглядаються, в змінних стану. Причому, поняття стану являється первинним, оскільки немає більш простого поняття, при допомозі якого можливо було б визначити, що таке стан динамічного об'єкту, системи або агенту. Тому ідентифікуючи проміжні параметри станом агенту або системи, поняття стану можливо трактувати як деяку мінімальну сукупність параметрів, які містять всю інформацію про передісторію системи, необхідну для судження про її поведінку в майбутньому, при постійній зміні значення довільного вхідного впливу.

Класично агент сприймається як автономний штучний об'єкт, звичайно комп'ютерна програма, що володіє активною мотивованою поведінкою та здібна до взаємодії з іншими об'єктами в динамічних віртуальних середовищах. Кожний агент може приймати повідомлення, інтерпретувати їх зміст і формувати нові повідомлення, які або передаються в загальну базу, або прямують іншим агентам.

В умовах часткової спостережливості необхідно, щоб агент об'єктивно відстежував зміну середовища в якому існує. Це означає, що агент повинен володіти безліччю внутрішніх станів, зміна яких істотно залежить від історії його сприйняття та чутливості. На рис. 1 приведена базова структура агента, діючого з урахуванням внутрішнього стану. Поточне сприйняття комбінується з колишнім внутрішнім станом, в результаті виконуються дії та відбувається зміна внутрішнього стану.

З математичної точки зору, станом системи можуть бути початкові умови в момент t_0 для рішення системи диференціальних рівнянь,

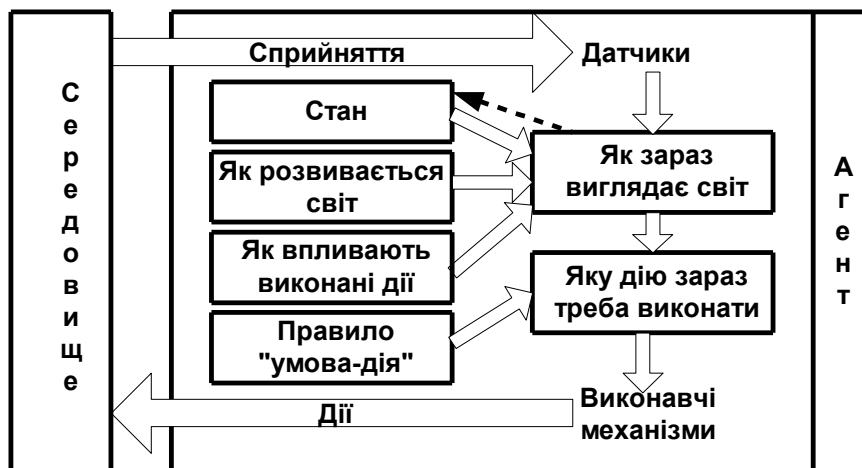


Рис. 1. Структура агента мультиагентної системи, що діє з урахуванням оперативного внутрішнього стану

оскільки різним початковим умовам відповідають різні рішення системи і це можна застосувати при аналітичному конструюванні систем керування технологічної динаміки наприклад барабанного млина з відповідною передавальною функцією.

На основі проведених експериментальних досліджень визначено, що диференціальне рівняння, що відповідає передавальній функції W_3 [2], яка описує електромеханічну динаміку системи барабанного млина типу ММС 90*30А матиме наступний вигляд

$$0.683467 \cdot 10^{-44} y_3^{(4)} + 0.237994 \cdot 10^{-49} y_3^{(3)} + 0.153236 \cdot 10^{-1} y_3^{(2)} + 0.267401 \cdot 10^{-40} y_3^{(1)} = 0.281485 \cdot 10^{-54} U_3^{(4)} + 0.232459 \cdot 10^{-47} U_3^{(3)} + 0.821168 \cdot 10^{-6} U_3^{(2)} + 0.635931 \cdot 10^{-39} U_3^{(1)} \quad (1)$$

В загальному представленні рівняння (1) визначатиметься як

$$\alpha_{43} y_3^{(4)} + \alpha_{33} y_3^{(3)} + \alpha_{23} y_3^{(2)} + \alpha_{13} y_3^{(1)} = \beta_{43} U_3^{(4)} + \beta_{33} U_3^{(3)} + \beta_{23} U_3^{(2)} + \beta_{13} U_3^{(1)} \quad (2)$$

де,

$$\begin{aligned} \alpha_{43} &= 1.0 & \beta_{43} &= 0.411849 \cdot 10^{-10} \\ \alpha_{33} &= 0.348216 \cdot 10^{-5}, & \beta_{33} &= 0.340117 \cdot 10^{-3} \\ \alpha_{23} &= 0.224204 \cdot 10^{43}, & \beta_{23} &= 0.0120147 \cdot 10^{-37}, \\ \alpha_{13} &= 0.391241 \cdot 10^4, & \beta_{13} &= 0.930449 \cdot 10^5, \\ \alpha_{03} &= 0 & \beta_{03} &= 0 \end{aligned}$$

Представлене нормальною системою рівнянь в змінних стану рівняння (2) отримає наступне відображення [9].

$$\begin{aligned} x_1^{(1)} &= x_2 + k_{13} U_3 = x_2 + 0.340117 \cdot 10^{-3} U_3 \\ x_2^{(1)} &= x_3 + k_{23} U_3 = x_3 - 0.923272 \cdot 10^{32} U_3 \\ x_3^{(1)} &= x_4 + k_{33} U_3 = x_4 - 0.762556 \cdot 10^{39} U_3 \\ x_4^{(1)} &= -\alpha_{13} x_1 - \alpha_{23} x_2 - \alpha_{33} x_3 - \alpha_{43} x_4 - k_{43} U_3 = \\ &= -0.391241 \cdot 10^4 x_2 - 0.224204 \cdot 10^{43} x_3 - 0.348216 \cdot 10^{-5} x_4 + 0.207001 \cdot 10^{75} U_3 \\ y_3 &= x_1 + k_{03} U_3 = x_1 + 0.411849 \cdot 10^{-10} U_3 \end{aligned} \quad (3)$$

Система рівнянь (3) зв'язує керовану змінну y_{ki} , що відображає кружний момент на валу привідного електродвигуна барабанного млина, з управляючими впливами U_{ki} кружних моментів у відповідній ланці. Оскільки відомо, що при способі, що використовується, представлені змінні оперативного стану будуть рівні [6; 9; 10]

$$\begin{aligned} x_1 &= y_{ki} - k_{03} U_{ki} \\ x_2 &= y_{ki}^{(1)} - k_{13} U_{ki} - k_{03} U_{ki}^{(1)} \\ x_3 &= y_{ki}^{(2)} - k_{23} U_{ki} - k_{13} U_{ki}^{(1)} - k_{03} U_{ki}^{(2)} \\ x_4 &= y_{ki}^{(3)} - k_{33} U_{ki} - k_{23} U_{ki}^{(1)} - k_{13} U_{ki}^{(2)} - k_{03} U_{ki}^{(3)} \end{aligned} \quad (4)$$

то змінна стану x_1 визначиться як компоненту різниці кружних моментів відповідно виходу і входу системи. Співпадаюче фізичне визначення згідно системи рівнянь (4) отримає і решта змінних стану x_2, x_3, x_4 .

Добре відомо, що потужність, яка споживається і в постійній і в динамічній складових повністю визначається кружним моментом на валу привідного електродвигуна y_{ki} [2; 5; 6; 10]. А спектральні складові флуктуацій цієї споживаної потужності пропорційні спектральним складовим флуктуацій кружного моменту [8; 10; 11]. І вхідний керуючий кружний момент також визначається або технічними факторами (сила тертя в опорах, сила удару і т.д.), або технологічними факторами (маса заповнення барабану рудою і т.д.) [10; 11]. Інакше кажучи, тут правомочне здійснити заміну $y_{ki} = y_i$ та $U_{ki} = U_i$.

Виходячи з вище сказаного управляючим впливом в даному розгляді є маслостік в опори барабанного млина, що відображено через змінну U_3 , а керованою змінною y_3 , є сума алгебраїчних амплітудних рівнів спектральних складових сигналу споживаної потужності, що характеризують величину тертя в цих підшипникових опорах.

Систему (3) можна описати матричним рівнянням вигляду

$$\begin{aligned} x^{(1)} &= A_3 x + B_3 U_3 \\ y_3 &= C_3 x + D_3 U_3 \quad x(0) = x_0 \end{aligned} \quad (5)$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\alpha_{43} & -\alpha_{33} & -\alpha_{23} & -\alpha_{13} \end{bmatrix}; \quad B_3 = \begin{bmatrix} k_{13} \\ k_{23} \\ k_{33} \\ k_{43} \end{bmatrix}; \quad x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix};$$

$$C_3 = [1 \quad 0 \quad 0 \quad 0]; \quad D_3 = [k_{03}];$$

Тут і далі вважається, що елементи матриць не залежать від часу і є постійними величинами. Перевіримо об'єкт на керованість і складемо матрицю керованості

$$G = [B: AB: A^2B: A^3B]; \quad (6)$$

$$G_3 = \begin{bmatrix} 0,340117 \cdot 10^{-3} & -0,923272 \cdot 10^{32} & -0,762556 \cdot 10^{39} & 0,207001 \cdot 10^{75} \\ -0,923272 \cdot 10^{32} & -0,762556 \cdot 10^{39} & 0,207001 \cdot 10^{75} & -0,179681 \cdot 10^{82} \\ -0,762556 \cdot 10^{39} & 0,207001 \cdot 10^{75} & -0,179681 \cdot 10^{82} & 0,464102 \cdot 10^{117} \\ 0,207001 \cdot 10^{75} & -0,179681 \cdot 10^{82} & 0,464102 \cdot 10^{117} & -0,402852 \cdot 10^{127} \end{bmatrix};$$

Оскільки, $\det G = -0,214543 \cdot 10^{299} \neq 0$, тобто матриця несингулярна, і її $\text{rang} = 4$, то об'єктом можна керувати.

З метою перевірки принципової можливості відновлення вектора координат, що не вимірюються, по вектору координат що вимірюються, і для реалізації пристрою спостерігача у вигляді цифрової моделі барабанного млина на управляючому обчислювальному комплексі, необхідно визначити матрицю відновлюваності у вигляді

$$Q_3 = \begin{bmatrix} C \\ CA \\ CA^2 \\ CA^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Оскільки $\det G = 1$, то $\text{rang} = 4 = n$.

Отже, взаємозв'язок між змінними, що вимірюються і не вимірюються, існує і побудувати програмний спостерігач принципово можливо.

Функціональне призначення одновимірної системи управління, що розробляється, полягає в забезпеченні оперативного контролю і управління технічним станом барабанного млина, здійснюваним по найбільш аварійнонебезпечним елементах агрегату. Тому під контролем технічного стану барабанного млина розуміється, по-перше контроль тертя в опорних вузлах по рівню амплітуд технічних частот з визначенням меж виникнення аварійних затирань, і по-друге контроль ступеня зносу елементів футеровки (ліфтерів) з визначенням передобрих станів останніх.

Задачею управління є забезпечення мінімуму тертя в опорних вузлах в робочих режимах, максимуму маслоподачі при виникненні передаварійного стану по затиранню і зупинку барабанного млина при неможливості виводу його з передаварійного стану величиною управляючого впливу або при виникненні передобрих станів футеровки (поява «роздутых» ліфтерів). Амплітудні рівні значень характерних частот на спрацювання системи максимальної маслоподачі в опори і системи передаварійної зупинки барабанного млина визначалися раніше в роботах [2; 6; 9; 11].

Таким чином, розробляється система оптимальної стабілізації заданого рівня тертя в опорах, що виступає в якості агента. Стеження за мінімальним рівнем технічних частот, які відображають тертя в підшипниках здійснюється екстремум-детектором з видачею завдання на стабілізацію мінімального рівня, а відповідна оцінка досяжності мети управління визначається узагальненим скалярним критерієм оптимальності, що забезпечує оптимальний по точності та енерговитратам закон управління

$$I_3 = \int_0^\infty [q_3' (y_3 - y_{30})^2 + q_3'' (U_3 - U_{30})^2] dt; \quad q_3' > 0. \quad (8)$$

Оскільки структура і параметри об'єкту контролю і управління барабанного млина визначена раніше [2; 5; 7; 10; 11], то задача синтезу системи зводиться до визначення структури і параметрів управляючого пристрою. При цьому головним є знаходження оптимальних управлінь переводу системи з поточного технічного стану $x(t_0)$ в кінцевий заданий екстремум-детектором стан $x(t_k)$ при мінімальному значенні критерію оптимальності.

При значенні $U_k = U_{30}$ (U_{30} – постійна величина управляючого впливу яка забезпечує необхідний рівень стабілізації вихідної змінної y_{30}) перехідні процеси в системі відсутні та $x_{02} = -k_{13}U_{30}$, $x_{03} = -k_{23}U_{30}$, $x_{04} = -k_{33}U_{30}$.

$$\begin{aligned} x_{01} &= -\frac{(\alpha_{33}k_{13} + \alpha_{23}k_{23} + \alpha_{13}k_{33} - k_{43})U_{30}}{\alpha_{43}} \\ y_{30} = x_{01} + k_{03}U_{30} &= \frac{(\alpha_{43}k_{03} - \alpha_{33}k_{13} - \alpha_{23}k_{23} - \alpha_{13}k_{33} + k_{43})U_{30}}{\alpha_{43}} \end{aligned} \quad (9)$$

Можливо представити $U_3 = U_{30} + \Delta U_3$. Тоді система (3) запишеться у наступному вигляді:

$$\begin{cases} x_1^{(1)} = x_2 + k_{13}(U_{03} + \Delta U_3) \\ x_{01}^{(1)} = x_{02} + k_{13}U_{03} \end{cases} \quad \begin{matrix} x_1(0) = x_{10} \\ x_{01}(0) = \frac{(\alpha_{33}k_{13} + \alpha_{23}k_{23} + \alpha_{13}k_{33} - k_{43})U_{30}}{\alpha_{43}} \end{matrix}; \quad (10)$$

$$\begin{cases} x_2^{(1)} = x_3 + k_{23}(U_{03} + \Delta U_3) \\ x_{02}^{(1)} = x_{03} + k_{23}U_{03} \end{cases} \quad \begin{matrix} x_2(0) = x_{20} \\ x_{02}(0) = -k_{13}U_{30} \end{matrix}; \quad (11)$$

$$\begin{cases} x_3^{(1)} = x_4 + k_{33}(U_{03} + \Delta U_3) \\ x_{03}^{(1)} = x_{04} + k_{33}U_{03} \end{cases} \quad \begin{matrix} x_3(0) = x_{30} \\ x_{03}(0) = -k_{23}U_{30} \end{matrix}; \quad (12)$$

$$\begin{cases} x_4^{(1)} = -\alpha_{43}x_1 - \alpha_{33}x_2 - \alpha_{23}x_3 - \alpha_{13}x_4 + k_{43}(U_{03} + \Delta U_3) \\ x_{04}^{(1)} = -\alpha_{43}x_{01} - \alpha_{33}x_{02} - \alpha_{23}x_{03} - \alpha_{13}x_{04} + k_{43}U_{03} \end{cases} \quad \begin{matrix} x_4(0) = x_{40} \\ x_{04}(0) = -k_{33}U_{30} \end{matrix}. \quad (13)$$

При відніманні з перших рівнянь системи (10), (11), (12) і (13) других рівнянь отримуємо

$$\begin{aligned} \alpha_1^{(1)} &= \alpha_2 + k_{13}\Delta U_3, & \alpha_1(0) &= x_{10} + k_{03}U_{30}, \\ \alpha_2^{(1)} &= \alpha_3 + k_{23}\Delta U_3, & \alpha_2(0) &= x_{20} - k_{13}U_{30}, \\ \alpha_3^{(1)} &= \alpha_4 + k_{33}\Delta U_3, & \alpha_3(0) &= x_{30} + k_{23}U_{30}, \\ \alpha_4^{(1)} &= -\alpha_{43}\alpha_1 - \alpha_{33}\alpha_2 - \alpha_{23}\alpha_3 - \alpha_{13}\alpha_4 + k_{43}\Delta U_3, & \alpha_4(0) &= x_{40} + k_{33}U_{30}, \end{aligned} \quad (14)$$

де $\alpha_i = x_i - x_{0i}$, ($i = \overline{1,4}$).

Підставивши значення y_3 і y_{30} у функціонал (8) маємо

$$I_3 = \int_0^\infty \left[q_3' (\alpha_1 + k_{03}\Delta U_3)^2 + q_3'' \Delta U_3^2 \right] dt; \quad q_3' > 0; \quad (15)$$

$$I_3 = \int_0^\infty \left[q_3' \alpha_1^2 + 2q_3' \alpha_1 k_{03} \Delta U_3 + q_3' k_{03}^2 \Delta U_3^2 + q_3'' \Delta U_3^2 \right] dt; \quad q_3'' > 0.$$

Використовуючи метод динамічного програмування можливо представити функціональне рівняння Р. Беллмана у вигляді:

$$\begin{aligned} & q_3' \alpha_1^2 + 2q_3' \alpha_1 k_{03} \Delta U_3 + (q_3' k_{03}^2 + q_3'') \Delta U_3^2 + (\alpha_2 + k_{13} \Delta U_3) \frac{dS}{d\alpha_1} + \\ & + (\alpha_3 + k_{23} \Delta U_3) \frac{dS}{d\alpha_2} + (\alpha_4 + k_{33} \Delta U_3) \frac{dS}{d\alpha_3} + (-\alpha_{43} \alpha_1 - \alpha_{33} \alpha_2 - \alpha_{23} \alpha_3 - \alpha_{13} \alpha_4 + k_{43} \Delta U_3) \frac{dS}{d\alpha_4} = 0; \end{aligned} \quad (16)$$

$$2(q_3' k_{03}^2 + q_3'') \Delta U_3 + k_{13} \frac{dS}{d\alpha_1} + k_{23} \frac{dS}{d\alpha_2} + k_{33} \frac{dS}{d\alpha_3} + k_{43} \frac{dS}{d\alpha_4} = 0 \quad (17)$$

З рівняння (17) одержуємо у вигляді

$$\Delta U_3 = \frac{1}{2(q_3' k_{03}^2 + q_3'')} \left(k_{13} \frac{dS}{d\alpha_1} + k_{23} \frac{dS}{d\alpha_2} + k_{33} \frac{dS}{d\alpha_3} + k_{43} \frac{dS}{d\alpha_4} \right). \quad (18)$$

Підставляючи (18) в (16) маємо

$$\begin{aligned} & q_3' \alpha_1^2 - \frac{q_3' k_{03} \alpha_1}{(q_3' k_{03}^2 + q_3'')} \left(k_{13} \frac{dS}{d\alpha_1} + k_{23} \frac{dS}{d\alpha_2} + k_{33} \frac{dS}{d\alpha_3} + k_{43} \frac{dS}{d\alpha_4} \right) - \\ & - \frac{1}{4(q_3' k_{03}^2 + q_3'')} \left(k_{13} \frac{dS}{d\alpha_1} + k_{23} \frac{dS}{d\alpha_2} + k_{33} \frac{dS}{d\alpha_3} + k_{43} \frac{dS}{d\alpha_4} \right)^2 + \\ & + \left[\alpha_2 - \frac{k_{13}}{2(q_3' k_{03}^2 + q_3'')} \left(k_{13} \frac{dS}{d\alpha_1} + k_{23} \frac{dS}{d\alpha_2} + k_{33} \frac{dS}{d\alpha_3} + k_{43} \frac{dS}{d\alpha_4} \right) \right] \frac{dS}{d\alpha_1} + \\ & + \left[\alpha_3 - \frac{k_{23}}{2(q_3' k_{03}^2 + q_3'')} \left(k_{13} \frac{dS}{d\alpha_1} + k_{23} \frac{dS}{d\alpha_2} + k_{33} \frac{dS}{d\alpha_3} + k_{43} \frac{dS}{d\alpha_4} \right) \right] \frac{dS}{d\alpha_2} + \\ & + \left[\alpha_4 - \frac{k_{33}}{2(q_3' k_{03}^2 + q_3'')} \left(k_{13} \frac{dS}{d\alpha_1} + k_{23} \frac{dS}{d\alpha_2} + k_{33} \frac{dS}{d\alpha_3} + k_{43} \frac{dS}{d\alpha_4} \right) \right] \frac{dS}{d\alpha_3} + \\ & + \left[-\alpha_{43} \alpha_1 - \alpha_{33} \alpha_2 - \alpha_{23} \alpha_3 - \alpha_{13} \alpha_4 - \frac{k_{43}}{2(q_3' k_{03}^2 + q_3'')} \left(k_{13} \frac{dS}{d\alpha_1} + k_{23} \frac{dS}{d\alpha_2} + k_{33} \frac{dS}{d\alpha_3} + k_{43} \frac{dS}{d\alpha_4} \right) \right] \frac{dS}{d\alpha_4} = 0 \end{aligned} \quad (19)$$

Для визначення рішення по управлінню ΔU_3 необхідно знайти функцію S , яка визначається у вигляді [10; 11]

$$S = [\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4] \cdot \begin{bmatrix} A_{11} & \frac{A_{12}}{2} & \frac{A_{13}}{2} & \frac{A_{14}}{2} \\ \frac{A_{12}}{2} & A_{22} & \frac{A_{23}}{2} & \frac{A_{24}}{2} \\ \frac{A_{13}}{2} & \frac{A_{23}}{2} & A_{33} & \frac{A_{34}}{2} \\ \frac{A_{14}}{2} & \frac{A_{24}}{2} & \frac{A_{34}}{2} & A_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \end{bmatrix}. \quad (20)$$

З виразу (20) знаходимо

$$\begin{aligned} \frac{dS}{d\alpha_1} &= 2A_{11}\alpha_1 + A_{12}\alpha_2 + A_{13}\alpha_3 + A_{14}\alpha_4; \quad \frac{dS}{d\alpha_3} = A_{13}\alpha_1 + A_{23}\alpha_2 + 2A_{33}\alpha_3 + A_{34}\alpha_4; \\ \frac{dS}{d\alpha_2} &= A_{12}\alpha_1 + 2A_{22}\alpha_2 + A_{23}\alpha_3 + A_{24}\alpha_4; \quad \frac{dS}{d\alpha_4} = A_{14}\alpha_1 + A_{24}\alpha_2 + A_{34}\alpha_3 + 2A_{44}\alpha_4. \end{aligned} \quad (21)$$

Підставляючи вираз (21) в (18) одержуємо

$$\begin{aligned} \Delta U_3 &= -\frac{1}{2(q_3' k_{03}^2 + q_3'')} \left[k_{13} (2A_{11}\alpha_1 + A_{12}\alpha_2 + A_{13}\alpha_3 + A_{14}\alpha_4) + \right. \\ & + k_{23} (A_{12}\alpha_1 + 2A_{22}\alpha_2 + A_{23}\alpha_3 + A_{24}\alpha_4) + k_{33} (A_{13}\alpha_1 + A_{23}\alpha_2 + 2A_{33}\alpha_3 + A_{34}\alpha_4) + \\ & \left. + k_{43} (A_{14}\alpha_1 + A_{24}\alpha_2 + A_{34}\alpha_3 + 2A_{44}\alpha_4) \right] \end{aligned} \quad (22)$$

А після підстановки (21) в (19) та згрупувавши члени з $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_1\alpha_2, \alpha_1\alpha_3, \alpha_1\alpha_4, \alpha_2\alpha_3, \alpha_1\alpha_2, \alpha_3\alpha_4$ і прирівнявши нулю коефіцієнти при них можна отримати системи нелінійних рівнянь вигляду представленого в джерелах [6; 8; 10; 11].

Для забезпечення позитивної визначеності квадратичної форми S згідно умов Сильвестра вводяться обмеження

$$\varphi_i(A_{11}, A_{12}, A_{13}, A_{14}, A_{22}, A_{23}, A_{24}, A_{33}, A_{34}, A_{44}) > 0 \quad (23)$$

де $\varphi_1 = A_{11} > 0$

$$\varphi_2 = 4A_{11}A_{22} - A_{12}^2 > 0$$

$$\varphi_3 = 8A_{11}A_{22}A_{33} - 2A_{11}A_{23}^2 - 2A_{22}A_{13}^2 - 2A_{33}A_{12}^2 + 2A_{12}A_{13}A_{23} > 0$$

$$\begin{aligned} \varphi_4 = & 16A_{11}A_{22}A_{33}A_{44} - A_{12}^2A_{34}^2 - A_{13}^2A_{24}^2 - A_{14}^2A_{23}^2 - 4A_{11}A_{22}A_{34}^2 - 4A_{11}A_{33}A_{24}^2 - \\ & - 4A_{11}A_{44}A_{23}^2 - 4A_{22}A_{33}A_{14}^2 - 4A_{33}A_{44}A_{12}^2 - 4A_{22}A_{44}A_{13}^2 + 4A_{12}A_{13}A_{23}A_{44} + 4A_{12}A_{14}A_{24}A_{33} + \\ & + 2A_{12}A_{13}A_{24}A_{34} + 2A_{12}A_{14}A_{23}A_{34} + 2A_{13}A_{14}A_{23}A_{24} + 4A_{13}A_{14}A_{22}A_{34} > 0 \end{aligned}$$

Знаходження невідомих коефіцієнтів $A_{11}, A_{12}, A_{13}, A_{14}, A_{22}, A_{23}, A_{24}, A_{33}, A_{34}, A_{44}$ забезпечується визначенням їх значень, що досягають мінімуму штрафної функції

$$\begin{aligned} F_k(A_j) = & \sum_{i=1}^{n=10} f_i^2(A_{11}, A_{12}, A_{13}, A_{14}, A_{22}, A_{23}, A_{24}, A_{33}, A_{34}, A_{44}) + \\ & + R_k \sum_{i=1}^{n=10} \varphi_i^+(A_{11}, A_{12}, A_{13}, A_{14}, A_{22}, A_{23}, A_{24}, A_{33}, A_{34}, A_{44}) \end{aligned} \quad (24)$$

де R_k – параметр штрафу, а $\varphi_i^+(\cdot) = \begin{cases} \varphi_i(\cdot) & \text{при } \varphi_i(\cdot) > 0 \\ 0 & \text{при } \varphi_i(\cdot) \leq 0 \end{cases}$

В результаті обчислені значення коефіцієнтів відповідно рівні

$$\begin{aligned} A'_{11} &= 0.1278 \cdot 10^{-56}, & A'_{22} &= -0.2479 \cdot 10^{-48}, & A'_{33} &= -0.1039 \cdot 10^5, \\ A'_{12} &= 0.1757 \cdot 10^8, & A'_{23} &= 0.2302 \cdot 10^{-68}, & A'_{34} &= -0.1441 \cdot 10^{16}, \\ A'_{13} &= 5.313, & A'_{24} &= -0.7133, & A'_{44} &= 0.4261 \cdot 10^{-71}, \\ A'_{14} &= 0.2524 \cdot 10^9. \end{aligned}$$

Використовуючи знайдені коефіцієнти у виразі (24) можна отримати

$$\Delta U_3 = -0.2612352 \cdot 10^{83} \alpha_1 + 0.738262 \cdot 10^{74} \alpha_2 + 0.1491442 \cdot 10^{90} \alpha_3 - 0.549421 \cdot 10^{54} \alpha_4 \quad (25)$$

Прийнявши (25) перетворимо вираз (14)

$$\begin{aligned} \alpha_1^{(1)} &= -0.8885046 \cdot 10^{79} \alpha_1 - 0.2510978 \cdot 10^{68} \alpha_2 - 0.5072640 \cdot 10^{86} \alpha_3 + 0.1868674 \cdot 10^{51} \alpha_4 \\ \alpha_2^{(1)} &= 0.2411909 \cdot 10^{115} \alpha_1 + 0.681653 \cdot 10^{108} \alpha_2 + 0.2754009 \cdot 10^{122} \alpha_3 + 0.101453 \cdot 10^{87} \alpha_4 \\ \alpha_3^{(1)} &= 0.1992063 \cdot 10^{122} \alpha_1 + 0.5629072 \cdot 10^{113} \alpha_2 + 0.1137306 \cdot 10^{129} \alpha_3 + 0.4189642 \cdot 10^{93} \alpha_4 \\ \alpha_4^{(1)} &= 0.5407942 \cdot 10^{157} \alpha_1 - 0.1528226 \cdot 10^{149} \alpha_2 - 0.6174591 \cdot 10^{162} \alpha_3 - 0.2274615 \cdot 10^{129} \alpha_4 \end{aligned} \quad (26)$$

$$y_3 = 0.1075893 \cdot 10^{73} \alpha_1 - 0.3040557 \cdot 10^{64} \alpha_2 - 0.614248 \cdot 10^{79} \alpha_3 - 0.2262784 \cdot 10^{44} \alpha_4 \quad (27)$$

Виражаємо змінні стану $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ і α_4 через вихідну величину рішення y_3 , для чого тричі диференціюємо рівняння виходу (27) і об'єднуємо отримані рівняння в систему

$$\begin{aligned} y_3 &= 0.1075893 \cdot 10^{73} \alpha_1 - 0.3040557 \cdot 10^{64} \alpha_2 - 0.614248 \cdot 10^{79} \alpha_3 - 0.2262784 \cdot 10^{44} \alpha_4 \\ y_3^{(1)} &= -0.3115837 \cdot 10^{165} \alpha_1 - 0.1691507 \cdot 10^{201} \alpha_2 - 0.6983454 \cdot 10^{207} \alpha_3 - 0.3792071 \cdot 10^{241} \alpha_4 \\ y_3^{(2)} &= -0.361358 \cdot 10^{293} \alpha_1 - 0.1961695 \cdot 10^{329} \alpha_2 - 0.8099037 \cdot 10^{335} \alpha_3 - 0.1293854 \cdot 10^{370} \alpha_4 \\ y_4^{(1)} &= -0.4350463 \cdot 10^{421} \alpha_1 - 0.2361672 \cdot 10^{457} \alpha_2 - 0.97506 \cdot 10^{463} \alpha_3 - 0.3443553 \cdot 10^{498} \alpha_4 \end{aligned} \quad (28)$$

Рішення системи (28) дозволяє знайти вирази змінних стану в наступному вигляді

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= 8.18182 \cdot 10^{-457} y_3^{(3)} - 1.85455 \cdot 10^{-328} y_3^{(2)} + 1.0364 \cdot 10^{-200} y_3^{(1)} - 1.00000 \cdot 10^{-75} y_3 \\ \alpha_2 &= 4.3181 \cdot 10^{-457} y_3^{(3)} + 2.0682 \cdot 10^{-328} y_3^{(2)} + 3.04546 \cdot 10^{-200} y_3^{(1)} - 1.04546 \cdot 10^{-108} y_3 \\ \alpha_3 &= 8.8182 \cdot 10^{-464} y_3^{(3)} - 2.5545 \cdot 10^{-335} y_3^{(2)} + 0.27636 \cdot 10^{-206} y_3^{(1)} - 0.98336 \cdot 10^{-113} y_3 \\ \alpha_4 &= -2.2728 \cdot 10^{-498} y_3^{(3)} - 6.8182 \cdot 10^{-370} y_3^{(2)} + 4.5456 \cdot 10^{-242} y_3^{(1)} - 0.4546 \cdot 10^{-149} y_3 \end{aligned} \quad (29)$$

Підставивши з виразу (29) значення змінних стану $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ і ΔU_3 в (25) знаходимо в результаті значення оптимального управління U_3 з урахуванням агентного відображення змінних стану

$$U_3 = -0.26123 \cdot 10^{11} y_3 + 0.1414301 \cdot 10^{-117} y_3^{(1)} + 0.1034979 \cdot 10^{-245} y_3^{(2)} - 0.822187 \cdot 10^{-374} y_3^{(3)} - 0.1377004 \cdot 10^{122} U_{30}$$

Висновки. Існуючі структури мультиагентних систем мають обмеження на визначення внутрішнього стану саме агентів, що функціонують в системі. Доцільне застосування рівнянь в змінних стану, записаних в нормальній формі Коші, для представлення внутрішнього стану агентів мультиагентної системи представляє можливість більш ефективно відпрацювати формування оптимальних відповідно заданому критерію по точності та енерговитратам закони рішень, що приймаються.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Аксенов К.А. Теория и практика средств поддержки принятия решений: монография. Germany, Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH&Co.KG, 2011. 341 с.
2. Мещеряков Л.І. Методи і моделі ідентифікації та управління гірничими технологічними комплексами: Монографія. Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2009. 263 с.
3. Москалев И.М. Системы анализа и оптимизации процессов преобразования ресурсов : дис. канд. техн. наук. Екатеринбург, 2006. С. 138–150.
4. Скобелев П.О. Мультиагентные технологии для управления ресурсами в реальном времени // Механика, управление и информатика (Таруса, 2-4 марта 2011 г.). Таруса, 2011. URL: http://www.iki.rssi.ru/seminar/2011030204/presentation/20110303_03.pdf (дата обращения 02.06.2013).
5. Мещеряков Л.І. Формування структури підсистеми діагностування гірничих електромеханічних комплексів / Л.І. Мещеряков, С.І. Випанасенко, Н.С. Дрешпак, А.І. Ширін. *Збірник наукових праць НГУ. Дніпро*, 2018. № 53. С. 213–223.
6. Мещеряков Л.І. Розпізнавання технологічних станів барабаних млинів на основі нейронних мереж адаптивного резонансу / Л.І. Мещеряков, О.М. Галушко, О.І. Сироткіна, О.Т. Демидов. *Збірник наукових праць НГУ. Дніпро*, 2019. № 57. С. 129–139.
7. Дудля М.А. Мещеряков Л.І. Діагностика та проектування бурових машин і механізмів. Навчальний посібник. Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2004. 267 с.
8. Meshcheriakov, L. (2015). Identification of stabilizing modes for the parameters of drilling tools. / L. Meshcheriakov, L. Tokar, K. Ziborov. Power Engineering, Control and Information Technologies in Geotechnical Systems, Taylor & Francis Group, London, 2015. 135–142
9. Александров А.Г. Оптимальные и адаптивные системы / Электронная книга. Москва, 2003. 278 с.
10. Мещеряков Л.І. Исследование воздействия технологических нагрузок на локально устойчивые состояния барабанных мельниц / Л.І. Мещеряков, М.А. Дудля, В.А. Бородай, Д.В. Хархардина. *Збірник наукових праць НГУ. Днепропетровск*, 2011. № 53. С. 28–36.
11. Мещеряков Л.І., Программное обеспечение идентификации состояний барабанных мельниц / Л.І. Мещеряков, Ясир Юзеф Хуссейн Аль Хатиб, А.И. Зубарев. Сб. науч. трудов НГАУ. Днепропетровск, 2010. № 34. Т.1. С. 267–274.

REFERENCES:

1. Acsenov C.A. Teoriya i practice of sredstv poddergci prinyatiya resheniy: monografiya. Germany, Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH&Co.KG, 2011. 341 с.
2. Mesheryacov L.I. Methods and models of authentication and management by the mountain technological complexes: Monograph. The D.: National mountain university, 2009. 263 s.
3. Moscalev I.M. Sistemy analiza i optimizatsii protsessov preobrazovaniya resoursov: dis. cand. tehn. sciences. Ecaterinbourg, 2006. p. 138–150.
4. Scobelev P.O. Moultiagentnye tehnologii for by the oupravleniya resources in realnom vremeni // Mehanika, oupravlenie i informatica (Tarousa, 2-4 marta 2011 g.). Tarousa, 2011. URL: http://www.iki.rssi.ru/seminar/2011030204/presentation/20110303_03.pdf (date obrasheniya 02.06.2013).
5. Mesheryacov L.I. Forming of structure of subsystem of diagnostics of mountain electromechanics complexes / L.I. Mesheryacov, S.I. Vipanasenco, N.S. Dreshpac, A.I. Shirin. Collection of scientific labours NGOu. Dnepr, 2018. № 53. P. 213–223.
6. Mesheryacov L.I. Recognition of technological states of drum mills on the basis of neuron networks of adaptive resonance / L.I. Mesheryacov, O.M. Galoushco, O.I. Sirotcina, O.T. Demidov. Collection of scientific labours NGOu. Dnepr, 2019. № 57. P. 129–139.
7. Doudlya M.A. Diagnostics and planning of boring machines and machineries / M.A. Doudlya., L.I. Mesheryacov. Aid train. Dnepropetrovsk: National mountain university, 2004. 267 p.

8. Meshcheriakov, L. (2015). Identification stabilizing modes for parameters drilling tools. / L. Meshcheriakov, L. Tokar, K. Ziborov. Power Engineering, Control and Information Technologies in Geotechnical Systems, Taylor & Francis Group, London, 2015. 135–142
9. Alecsandrov A.G. Optimalnye I adaptivnye sistemy / The Эlectronnaya book., 2003. 278 s.
10. Mesheryacov L.I. Issledovanie vozdeystviya tehnologichescih nagrouzoc on locally oustoychivye sostoyaniya barabannyh melnits / L.I. Mesheryacov, M.A. Doudlya, V.A. Boroday, D.V. Harhardina. *Collection of scientific labours NGAOu*, Dnepropetrovsc, 2011. № 53. P. 28–36.
11. Mesheryacov L.I., Programmnoe obespechenie identifikatsii sostoyaniy barabannyh melnits / L.I. Mesheryacov, Yasir Yozef Housceyn Al Hatib, A.I. Zoubarev. Sb. naouch. troudov NGAOu. Dnepropetrovsk, 2010. № 34. T. 1. S. 267–274.

УДК 004.8:004.89

DOI <https://doi.org/10.32782/IT/2021-1-5>

Iryna CHERECHECHA

Bachelor, Master of the Department of Computer Systems Software, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, kuvaiev.v.m@nmu.one

ORCID: 0000-0002-5004-7320

Serhii PRYKHODCHENKO

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Computer Systems Software, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, prykhodchenko.s.d@nmu.one

ORCID: 0000-0002-6562-0601

Scopus-Author ID: 57195672977

To cite this article: Cherechecha, I., Prykhodchenko, S. (2021). Shtuchnyi intelekt na osnovi tensorflow v navchalnomu protsesi [Artificial Intelligence based on TensorFlow in Educational Process]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 1, 35–41, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2021-1-5>

ARTIFICIAL INTELLIGENCE BASED ON TENSORFLOW IN EDUCATIONAL PROCESS

*This article discusses the problem of using the TensorFlow library for educational purposes. The main idea of the work is to analyze AI software solutions for students supporting based on the TensorFlow framework. Technological prerequisites are described; reviewed the fundamentals of TensorFlow-based AI systems. In this article, we will first illustrate the state of the art in the application of TensorFlow to educational problems. The paper analyzes the existing areas of application of software products based on the TensorFlow library. In conclusion, the classification of application areas of the software, which is based on TensorFlow, is carried out. **The methodology** for solving this problem is to identify the main types of problems in Artificial Intelligence based on TensorFlow and describing of a main directions TensorFlow-based solutions in Educational Process. **Scientific novelty.** The article shows that the use of the TensorFlow library for educational purposes, which is based on vectors and matrixes mathematics and Deep Learning, allows the implementation of artificial neural networks principles with Artificial Intelligence methodology.*

Key words: TensorFlow library, artificial intelligence, software products, neural networks.

Ірина ЧЕРЕЧЕЧА

бакалавр, магістрант кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, kuvaiev.v.m@nmu.one

ORCID: 0000-0002-5004-7320

Сергій ПРИХОДЧЕНКО

к.т.н, доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, prykhodchenko.s.d@nmu.one

ORCID: 0000-0002-6562-0601

Scopus-Author ID: 57195672977

Бібліографічний опис статті: Черечеча, І., Приходченко, С. (2021). Artificial Intelligence based on TensorFlow in Educational Process. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 1, 35–41, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2021-1-5>

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ НА ОСНОВІ TENSORFLOW В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

У цій статті обговорюється проблема використання бібліотеки TensorFlow в навчальних цілях. Основна ідея роботи – проаналізувати рішення інтелектуальних програмних продуктів для студентів, які навчаються на основі фреймворку TensorFlow. Описано технологічні передумови; переглянуті основи систем інтелектуальних програмних засобів на основі TensorFlow. У цій статті ми спочатку проілюструємо

сучасний рівень застосування TensorFlow до освітніх проблем. У статті аналізуються існуючі сфери застосування програмних продуктів на основі бібліотеки TensorFlow. На закінчення проводиться класифікація сфер застосування програмного забезпечення, яка базується на TensorFlow. **Методологія** вирішення цієї проблеми полягає у визначенні основних типів проблем штучного інтелекту на основі TensorFlow та описі основних напрямів рішень на основі TensorFlow в навчальному процесі. **Наукова новизна.** У статті показано, що використання бібліотеки TensorFlow в навчальних цілях, яка базується на векторах і матрицях математики та глибокого навчання, дозволяє реалізувати принципи штучних нейронних мереж з методологією штучного інтелекту.

Ключові слова: бібліотека TensorFlow, штучний інтелект, інтелектуальні програмні продукти, нейронні мережі.

Nowadays, in the age of information, educational organizations more and more often use different kinds of information technologies to automate their working process. However, not all the problems are resolved. In addition, educational process rapidly makes a transition to the online format, so new challenges appear. Some of educational process issues, related with student teaching, student supporting, teacher supporting and data analysis, are directly connected with tasks of recognition, making decisions, classifying and analyzing a large amount of data. Tasks of this kind are quite difficult to solve with standard programming approaches and this is a problem. However these tasks are typical for artificial intelligence (AI).

The use of AI in education has been the subject of different researches for about last 30 years. AI solutions bring new possibilities and perspectives for development of education. AI can provide a high level of efficiency, curriculum personalization and give teachers enough time to solve tasks connected with coaching, advisement, behavioral-, social-, and emotional- skill development. It is difficult for machine to deal with such a human capabilities. Using both best functions and possibilities of AI and humans in education can have a positive impact on students' outcomes.

Currently, there are a large number of artificial intelligence software solutions. One of these solutions is the TensorFlow library. TensorFlow is a free and open-source software library for machine learning. It can be used across a range of tasks but has a particular focus on training and inference of deep neural networks. TensorFlow is a symbolic math library based on dataflow and differentiable programming. It is used for both research and production at Google.

So using AI in systems for automation some aspects of educational process, including student teaching, student supporting, teacher supporting, data analysis, etc., is very actual. There are no such systems implemented in Ukrainian educational platforms, but some experimental systems exist in other countries [2; 3; 6; 7; 8; 11; 13; 16; 25; 26; 29].

Using AI in educational process certainly has its own benefits and future perspectives, but it also may cause some problems. Typical problems in AI use are: time for training, high cost of development, detection of wrong patterns, wrong interpretation of results and risk of unemployment.

The objectives of this study are:

- To provide an overview of AI software solutions for teaching students based on the TensorFlow library.
- To create a classification of these software products.
- To determine a direction for development of AI solutions based on TensorFlow.

Software products based on TensorFlow in education.

AI application in student teaching

Student teaching is a perspective subject area for AI application. AI can be used for customizing learning process, creating virtual tutor, etc. AI can create ideal environment in which students can study and develop successfully.

With AI methods it becomes possible to customize learning process to individual student's needs, increasing student's performance. One of widespread educational problem is that there exists a huge difference in basic knowledge between students in one group. Especially if this group contains about 30 people. Teachers are usually oriented on some abstract average student, using "one-size-fits-all" approach, because curricula are usually formed without a single hint of an individual approach to students. Curricula are a kind of rigidly fixed set of knowledge that all students must learn, regardless of their capabilities or interests and this is a problem. As a result of "one-size-fits-all" approach "weak" students are not able to properly understand learning material and "strong" students are bored and don't get any progress during lessons. Unfortunately, this is very widespread situation today. That is why using AI in this case is good solution. AI software potentially is able to give teachers useful information about students' learning styles, abilities, academic performance, and provide suggestions how to adjust teaching/learning strategy for each student.

Nowadays some companies are currently developing educational systems with AI which are able to teach student, check his or her knowledge, identify gaps and give feedback about student's performance. These systems give students challenges they are ready for and redirects to new topics when it is appropriate. Such software usually used for language learning.

For example, in [7], methods of deep learning of artificial neural networks are considered, which help to determine the probability of student expulsion, as well as suggesting to change the training route. These solutions helps teachers support students who are struggling and give additional challenges to students who are ready for more. Such approach greatly increase students' motivation and allows teachers to work more effectively.

Systems with AI can be a virtual tutor for students. Because of students sometimes have gaps in their knowledge, there is often a need of extra lessons for specific subjects among students. Nowadays AI can be a teacher, which provides personal tutoring and support for the students outside of the classroom. Such technology can provide personalized help for students to keep up with the course. One of valuable advantages of this technology is that this virtual teacher available instantly whatever the time.

Bright examples of this kind of software are AI-powered chatbots and AI virtual personal assistants.

AI application in student supporting

AI can be used for student supporting. Many kinds of repetitive tasks could be automated using AI technologies. Such software can offer teachers more time to focus on teaching their students rather than discussion topics which are barely related to education subject. When a teacher has hundreds of students, it's very time-consuming to answer lots of same questions about lesson plans, schedules, and guidelines, etc. That is why smart systems like chatbots are good solution for this issue.

There exists an example of chatbot, developed in The University of Murcia in Spain [cit09], named Lola and it was created to provide immediate answers on students' questions about the areas of study and campus. Administration of university was pleasantly surprised when it turned out that Lola was able to answer more than 38 thousand questions, giving right answers on more than 91% of them.

Another example of chatbot is Ed. It was created by college professor to assist students before, during and outside of his class. Ed could provide access to referenced documents/articles/

biographies, notifications about lessons and feedback on presentation. Ed was not only the instrument to find information the about classes, but it was the instrument of gamifying the learning process and making it more dynamic and active. As the result students were more motivated and professor spent less time answering student messages. According to pool conducted by professor, 99% of student was satisfied with Ed and 98% would like to see more other chatbots in other classes.

Chatbots can be very smart and they can mirror human behavior quite accurately. For example, Ashok Goel, professor of Georgia Tech developed chatbot named Jill Watson [6]. He introduced Jill Watson to students, but they didn't know that the Jill Watson was an AI. Chatbot was answering students' questions about routine topics during semester. Only at the end of the semester, professor revealed Jill Watson's identity and students was very surprised.

The technologies used in the above examples of chatbots differ from the TensorFlow library, however, considers the creation of an intelligent chatbot based on the use of TensorFlow libraries. In this example, the recommended technology is Long short-term memory (LSTM), developed by Sepp Hochreiter and Jürgen Schmidhuber [9].

Scientific research "Intelligent Chatbot using Deep Learning" [26] also discusses building a chatbot based on LSTMs, but also discusses using Google's Neural machine Translation.

Summarizing this section, it should be noted that the use of TensorFlow libraries to support students is an easy-to-do software design element.

AI application in teacher supporting

Another possible area of using AI is teacher supporting. Teachers work about 50 hours per week and spend only 49% of time in direct interaction with students. Rest of the time they spend on preparation, evaluation, and administrative duties. AI-systems can make teachers' life much easier and save a lot of time, giving teachers an opportunity to spend more time teaching students rather than checking assignments or creating and filling reports. So preparation, administration, evaluation, and feedback are areas with biggest potential to automation.

The article of Taiwanese researchers developed on the basis of an in-depth analysis of the student's previous experience, can allow the university to assist students in choosing a course and improving their competencies based on their abilities, potentially reducing dropout rates and promoting adaptive learning, thereby achieving a win-win situation as for university and for students.

AI can be used for automating basic activities, such as grading homeworks and handling examination related activities. Subjective opinion and different marking systems of examiners are main highlights that usually cause a certain level of bias in knowledge assessment. Nowadays the systems for objective type papers evaluation exist and they mostly use OMR technology. There exist the problem of evaluating subjective type papers. For this purpose AI can be used. It is an urgent educational system need. First of all, AI can provide a high level of precision, efficiency and it can save a lot of time because of its possibility to analyze large amounts of data, more than any human. Secondly, AI can guarantee reducing bias in assessment caused by subjective examiner's opinion.

Chinese education is a prime example. By the year 2016 China Ministry of education started a big digital educational experiment. And today 60 000 schools use the system for automatic essay correction with the level of precision matching humans in 92%. The essay grading machine is based on AI neural network and is improving its ability to understand human language by using deep learning algorithms.

Above-mentioned examples show that AI can be trained for grading different kinds of subjective type papers, for example, even code snippets, what is actual issue in IT-education area.

Thus today, essay-grading software is still not ideal, but it is quite close. Improvement such type of software needs years' time. But as a result due to this technology teachers will be able to focus more on interaction with students and in-class activities.

Using the TensorFlow library to teach the basics of AI

A large number of works consider the use of the TensorFlow library for teaching the basics of AI, due to the easy implementation of artificial intelligence components in this library. So, in the works "Deep Learning in the IT Curriculum" [11] and "Development of Artificial Intelligence Education Contents based on TensorFlow for Reinforcement of SW Convergence Gifted Teacher Competency" it is proposed to base knowledge and skills of deep machine learning on the study of the TensorFlow library, as well as to use it in teaching teachers.

Deep learning goes to school: toward a relational understanding of AI in education [x15] and Deep Learning: The Impact on Future eLearning [x14] take a broader view of deep learning knowledge fundamentals. However, in these studies, the impact of the Tensorflow library on the studying process of deep learning is widely reported, and is one of the priority areas for learning.

Application of TensorFlow library for automatic attendance control

Due to the focus of the TensorFlow library on machine learning methods based on examples, one of the areas of support for teachers that is widespread in the world is the analysis of photo and video materials from classrooms. The program automatically recognizes the faces of the students present on the images and generates an attendance report.

So, in the works "The Application of TensorFlow Facial Recognition Technology in Education Assistant System" [8], "Automated student attendance monitoring system in classroom based on convolutional neural networks" [13], "Automatic Attendance Management System based on Deep One-Shot Learning" [16], "TensorFlow-Based Automatic Personality Recognition Used in Asynchronous Video Interviews" [25] is proposed to use convolutional artificial neural networks with small differences in layers, capable of recognizing students' faces.

A little apart is the work "TensorFlow-Based Automatic Personality Recognition Used in Asynchronous Video Interviews" [25], in which, in addition to the student's face, such parameters as Openness to experience, conscientiousness, extraversion, agreeableness, and neuroticism are recognized.

The work proposed in the article "Classroom Attendance Auto-management Based on Deep Learning" [29] also has differences in structure, which also considers a convolutional neural network being trained, in contrast to previous works on the Faster R-CNN algorithm.

Today there exist about several dozen works of this kind, in view of the simple implementation and the known ways of solving this problem.

AI application in data analysis

AI can be used for data analysis. There exist a lot of data in educational institutions that potentially could be gathered and analyzed. But this process is inefficient without automatization.

One of tasks for data analysis is prediction students' academic performance. For this purpose AI can be used. Poor results of students after admission are a big problem for many of educational institutions. Students' progress depends on variety of reasons, such as their socio-economic background, academic performance record, etc. Prediction based on manual analysis of large amount of data is difficult and inefficient because of limitations of human cognition and difficulties of dealing with many different variables. Standard programming algorithms cannot work with such a spread in data sets. In contrast to all mentioned above

methods of analysis, AI can capture a much wider and more detailed array of data.

An example of AI application for data analysis is described in article. According to this article, the test version of a neural network was created and integrated in educational system of “Nicolae Titulescu” University of Bucharest. The neural network analyzed profiles of first-year students and classified them into specific academic performance groups. It was successfully used to predict potential candidates for leaving the university with about 86% of the average predictability rate. This helped institution management to take early actions to avoid academic performance regress and even student leaving education.

Hence AI can be used for analysis and prediction of different aspects of educational process, such as forecasting different academic characteristics of students. This can make educational process more flexible.

AI has an ability to help individual students' with their progress. There exist educational systems which can analyze students' data and produce corresponding recommendations.

Similar models are considered in the works “An Artificial Neural Network Approach to Student Study Failure Risk Early Warning Prediction Based on TensorFlow” [2], “Predictive analytics in education: a comparison of deep learning frameworks” [3], “Pedagogical Data Analysis Via Federated Learning Toward Education 4.0” [7]. In these works, models of artificial neural networks are considered, trained on student data and designed to predict further student results, based on the available data. In the works, the forecast accuracy varies from 70% to 90%, which allows them to serve as an accurate basis for analyzing and predicting the behavior and performance of students.

Possible problems of using AI.

However using AI has not only positive sides. It may have some possible problems, such as:

- Long training. AI software mirror behavior of human and replicate the best practices, but it also needs to be pre-fed with relevant information. It can take up to several months to train AI system.
- Wrong interpretation of results. AI analyzes big amounts of data quite accurately, but the results can be wrongly interpreted or even deliberately misused. Despite the intention of the developers and users of these systems, there could be unintended negative consequences. These consequences can even backfire. For this reason, results of analysis should be used carefully. It should be taken into account that data could have different quality levels, could be outdated, or results could

be focused on non-average specific subset, which influence on bias in analysis results, etc.

- Detection of wrong patterns. The point of AI tools is to show less intuitive, more attenuated correlations and patterns. But AI can detect random unrelated correlations. For instance, in this website there is a list of the strangest correlations detected by AI.

- High cost of development. The exact cost is difficult to estimate, because it depends on many aspects. To demonstrate the expenditure scale, authors of the article predict that AI adoption in education is expected to reach global expenditure of \$6b by 2025. Much of the growth will come from China and USA.

- Risk of unemployment. According to the study conducted by McKinsey Global Institute, intelligent agents and robots could replace about 30% of the world's current human labor by the year 2030. Consequently, many teachers could lose their jobs and this problem should be resolved in some way, for example by staff retraining. But there exist another opinion that teachers are unlikely to lose their jobs because of AI will replace them. They also might lose job because of they don't have enough skills to deal with AI. It means that teachers and administration of educational institutions should have special skills in evaluating and interpreting results produced by AI. Moreover, software always updates and staff should have an ability to accept new things and learn them fast.

Classification of educational software products developed with TensorFlow.

In view of the fact that TensorFlow is considered primarily as a means of managing large arrays of data and transformations in them, the use of TensorFlow in education is quite specific. After analyzing the work offering tools in the field of education, using TensorFlow libraries, it is possible to draw up the following areas:

- Control of classroom attendance of lectures using face recognition.
- Intelligent chatbots for interacting with students and teachers.
- Learning the basics of AI
- Predicting the learning trajectory of students and the risks associated with learning.

The development of artificial intelligence systems using TensorFlow libraries, of course, is also possible in other areas, since the library is universal and freely modifiable. However, the library's focus on processing data arrays and systems based on artificial neural networks gives an advantage in processing system data, in which it is possible to present training based on examples, such as photo and video recognition or prediction of educational trajectories.

Conclusion. AI is an efficient solution that can provide opportunities to optimize and improve some aspects of educational process.

Despite of some possible the problems such as time for training, high cost of implementation, wrong interpretation of results and risk of unemployment which undoubtedly should be taken into account, AI systems can be successfully used for solving many issues in education. These are above mentioned tasks of student teaching, stu-

dent supporting, teacher supporting and data analysis. High cost of implementation can be compensated by the process optimization and reducing costs in the near future. To avoid wrong result interpretation and detection of wrong patterns data should be used carefully and inaccuracies should be taken into account. In this case advantages outweigh disadvantages. It is brightly illustrated by existing experimental systems, mentioned above in this paper.

REFERENCES:

1. M. Alomran and D. Chai. Automated scoring system for multiple choice test with quick feedback. *International Journal of Information and Education Technology*, 8: 538–545, 2018.
2. Mi Chunqiao, Peng Xiaoning, and Deng Qingyou. An artificial neural network approach to student study failure risk early warning prediction based on tensorflow. 2 2018. doi: 10.1007/978-3-319-73317-3_38.
3. Tenzin Doleck, David John Lemay, Ram B. Basnet, and Paul Bazelais. Predictive analytics in education: a comparison of deep learning frameworks. *Education and Information Technologies*, 25(3):1951–1963, May 2020. doi:10.1007/s10639-019-10068-4.
4. Jaehyoun Kim Eunsill Jang. Deep learning: The impact on future elearning. *Journal of Internet Computing and Services*, 20(6):167–177, 12 2019. doi:10.7472/jksii.2019.20.6.167.
5. Wilton Fok, Y.S. He, H.H. Yeung, K.Y. Law, KH Cheung, YY Ai, and Prajna Ho. Prediction model for students' future development by deep learning and tensorflow artificial intelligence engine. pages 103–106, 05 2018. doi:10.1109/INFOMAN.2018.8392818.
6. Ashok K. Goel and Lalith Polepeddi. Jill watson: A virtual teaching assistant for online education. 2016.
7. Song Guo, Deze Zeng, and Shifu Dong. Pedagogical data analysis via federated learning toward education 4.0. 4:56–65, 12 2020. doi:10.11648/j.ajeit.20200402.13.
8. Wen-yuan Hao, Jae-woong Kim, and Jun He. The application of tensorflow facial recognition technology in education assistant system. pages 309–312, 08 2019. doi:10.35745/ecei2019v2.080.
9. Sepp Hochreiter and Jurgen Schmidhuber. Long Short-Term Memory. *Neural Computation*, 9(8):1735–1780, 11 1997. arXiv:https://direct.mit.edu/neco/article-pdf/9/8/1735/813796/neco.1997.9.8.1735.pdf, doi:10.1162/neco.1997.9.8.1735.
10. HoloniQ. 2019 artificial intelligence and global education report, 2019. <https://www.holoniq.com/wp-content/uploads/2019/05/HoloniQ-Extract-AI-and-Global-Education-May-2019.pdf>, Last accessed on 2021-04-13.
11. Amy Hoover, Adam Spryszynski, and Michael Halper. Deep learning in the it curriculum. pages 49–54, 09 2019. doi:10.1145/3349266.3351406.
12. Zeki Küükkara and A. E. Tümer. An image processing oriented optical mark recognition and evaluation system. *International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers*, 6:59–64, 2018.
13. Quoc Tuan Le, Antoshchuk Svitlana, Thi Khanh Tien Nguyen, The Vinh Tran, and Nhan Cach Dang. Automated student attendance monitoring system in classroom based on convolutional neural networks. *Applied Aspects of Information Technology*, 3(3):179–190, 2020. doi:10.15276/aait.03.2020.6.
14. Biswas M. Chatbot with TensorFlow. In: *Beginning AI Bot Frameworks*. 2018. doi:10.1007/978-1-4842-3754-0_5.
15. James Manyika, Susan Lund, Michael Chui, and et al. Jobs lost, jobs gained: What the future of work will mean for jobs, skills, and wages, 2017. URL: <https://apo.org.au/node/199751>.
16. Angelo Menezes, Joao Sa, Eduardo Llapa, and Carlos Estombelo-Montesco. Automatic attendance management system based on deep one-shot learning. Pages 137–142, 07 2020. doi:10.1109/IWS-SIP48289.2020.9145230.
17. Anandhavalli Muniasamy and Areej Alasiry. Deep learning: The impact on future elearning. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, 15:188, 01 2020. doi: 10.3991/ijet.v15i01.11435.
18. Andres Pedreno Munoz. Lola, the intelligent chatbot that triumphs among students, 2019. <https://spainsnews.com/lola-the-intelligent-chatbot-that-triumphs-among-students-innovation/>, Last accessed on 2021-04-13.
19. Robert Murphy. Artificial Intelligence Applications to Support K-12 Teachers and Teaching: A Review of Promising Applications, Challenges, and Risks. 01 2019. doi:10.7249/PE315.

20. Emilien Nizon. 1,200+ business school students used my chatbot – ed – in class. here is what you should know, 2020. <https://www.linkedin.com/pulse/1200-business-school-students-used-my-chatbot-ed-class-nizon/>, Last accessed on 2021-04-13.
21. Bogdan Oancea, Raluca Dragoescu, and Stefan Ciucu. Predicting students results in higher education using neural networks. 04 2013.
22. F. Pedró, Miguel Subosa, A. Rivas, and P. Valverde. Artificial intelligence in education : challenges and opportunities for sustainable development. 2019.
23. Carlo Perrotta and Neil Selwyn. Deep learning goes to school: toward a relational understanding of ai in education. *Learning, Media and Technology*, 45(3):251–269, 2020. arXiv:<https://doi.org/10.1080/17439884.2020.1686017>, doi:10.1080/17439884.2020.1686017.
24. Rakesh S, Kailash Atal, and Ashish Arora. Cost effective optical mark reader. *International Journal of Computer Science and Artificial Intelligence*, 3:44–49, 06 2013. doi:10.5963/IJCSAI0302002.
25. Hung-Yue Suen, Kuo-En Hung, and Chien-Liang Lin. Tensorflow-based automatic personality recognition used in asynchronous video interviews. *IEEE Access*, PP:1–1, 03 2019. doi:10.1109/ACCESS.2019.2902863.
26. Anjana Tiha. Intelligent Chatbot using Deep Learning. PhD thesis, 04 2018. doi:10.13140/RG.2.2.14006.75841.
27. Shuo-Chang Tsai, Cheng-Huan Chen, Yi-Tzone Shiao, Jin-Shuei Ciou, and Trong-Neng Wu. Precision education with statistical learning and deep learning: A case study in taiwan. 17:12,04 2020. doi:10.1186/s41239-020-00186-2.
28. Tyler Vigen. Spurious correlations, 2020. <https://www.tylervigen.com/spurious-correlations/>, Last accessed on 2021-04-13.
29. Dan Wang, Rong Fu, and Zuying Luo. Classroom attendance auto-management based on deep learning. In *Proceedings of the 2017 2nd International Conference on Education, Sports, Arts and Management Engineering (ICESAME 2017)*, pages 1523–1528. Atlantis Press, 2017/06. URL: <https://doi.org/10.2991/icesame-17.2017.327>

ЗМІСТ

Михайло АЛЕКСЄЄВ, Олексій АЛЕКСЄЄВ, Надія ЛІЙКА

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ
ПРИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМУ ДОСЛІДЖЕННІ ВІБРАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ
РОТОРНИХ ОБ'ЄКТІВ.....3

**Валерій КОРНІЄНКО, Олександра ГЕРАСІНА, Дмитро ТИМОФЄЄВ,
Олександр САФАРОВ, Юлія КОВАЛЬОВА**

ОЦІНЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК САМОПОДІБНОГО ТРАФІКУ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ АТАК..... 8

Володимир КУВАЄВ, Павло ІЩУК, Артем ПОЛІТОВ, Владислав БУРЯК

ПРОГРАМНІ РІШЕННЯ ПО ЗАБЕЗПЕЧЕННЮ НАДІЙНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ
СКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ
КРИТИЧНИХ ДО РЕЖИМУ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ.....16

Леонід МЕЩЕРЯКОВ, Ірина УДОВИК, Назар САМАРЕЦЬ

ДИНАМІЧНЕ ПРОГРАМУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РІШЕНЬ УПРАВЛІННЯ
З УРАХУВАННЯМ ВНУТРІШНЬОГО СТАНУ АГЕНТУ МУЛЬТИАГЕНТНИХ СИСТЕМ.....25

Iryna CHERECHECHA, Serhii PRYKHODCHENKO

ARTIFICIAL INTELLIGENCE BASED ON TENSORFLOW IN EDUCATIONAL PROCESS.....35

CONTENTS

Mykhailo ALEKSIEIEV, Oleksii ALEKSIEIEV, Nadiia LIKA

INFORMATION TECHNOLOGIES WITH THE USE OF NEURAL NETWORKS
IN THE EXPERIMENTAL STUDY OF VIBRATION SIGNALS OF ROTARY OBJECTS.....3

**Valerii KORNIENKO, Oleksandra HERASINA, Dmytro TYMOFIEIEV, Oleksandr SAFAROV,
Yuliia KOVALOVA**

ESTIMATION OF SELF-SIMILAR TRAFFIC CHARACTERISTICS OF INFORMATION
AND COMMUNICATION NETWORKS FOR ATTACK DETECTION SYSTEMS.....8

Volodymyr KUVAIEV, Pavlo ISHCHUK, Artem POLITOV, Vladyslav BURIK

SOFTWARE SOLUTIONS TO ENSURE THE RELIABLE OPERATION
OF COMPLEX INFORMATION AND CONTROL SYSTEMS CRITICAL TO REAL-TIME.....16

Leonid MESHCHERIAKOV, Iryna UDOVYK, Nazar SAMARETS

DYNAMIC PROGRAMMING OF OPTIMUM DECISIONS OF MANAGEMENT
TAKING INTO ACCOUNT INLYING STATE TO AGENT OF MOULTIAGENTNIH SYSTEMS.....25

Iryna CHERECHECHA, Serhii PRYKHODCHENKO

ARTIFICIAL INTELLIGENCE BASED ON TENSORFLOW IN EDUCATIONAL PROCESS.....35

INFORMATION TECHNOLOGY: COMPUTER SCIENCE, SOFTWARE ENGINEERING AND CYBER SECURITY

Випуск 1

Коректура • Ірина Миколаївна Чудеснова

Комп'ютерна верстка • Наталія Сергіївна Кузнєцова

Формат 60x84/8. Гарнітура Arial.

Папір офсет. Цифровий друк. Ум. друк. арк. 5,12. Замов. № 0821/291. Наклад 300 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглєзі, 6/1

Телефон +38 (048) 709 38 69,

+38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08

E-mail: mailbox@helvetica.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 6424 від 04.10.2018 р.