



НАЦІОНАЛЬНА  
АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ

# ПРОБЛЕМИ ПРОГРАМУВАННЯ

науковий журнал

№ 3

липень – вересень

2023

Заснований у березні 1999 р.

## ЗМІСТ

### Прикладне програмне забезпечення

- Сініцин І.П., Ігнатенко П.П., Федоренко Р.М., Житкевич О.Б.*  
Проблеми автоматизації інформаційних технологій адміністративно-управлінської діяльності наукових установ НАН України та підходи до їх вирішення 5
- Shynkarenko V.I., Demydovych I.M.* Methods and software for significant indicators determination of the natural language texts author profile 22

### Інструментальні засоби та середовища програмування

- Bernatovych A.A., Stetsenko I.V.* Module-based scientific physics engine architecture 30
- Гайдукевич В.О., Дорошенко А.Ю.* Створення цифрового двійника в метеопрогнозуванні для розумного міста на мобільній платформі 40
- Вітюк А.Є., Дорошенко А.Ю.* Пошук новизни у методі нейроеволюції для позиціонування роботизованої кінцівки 49

### Експертні та інструментальні інформаційні системи

- Яловець А.Л.* Проблема автоматизації планування сил, засобів та ресурсів для управління протидією надзвичайним ситуаціям 58
- Рогушина Ю.В.* Розробка інтелектуальних інформаційно-аналітичних вебпорталів на основі семантичних вікітехнологій: проблеми та перспективи 66

### Методи та засоби комп'ютерного моделювання

- Grygoryan R.D., Degoda A.G., Lyudovyk T.V., Yurchak O.I.*  
Simulating of human physiological supersystems: interactions of cardiovascular, thermoregulatory and respiratory systems 81

### Моделі та методи машинного навчання

- Дорошенко А. Ю., Шпиг В.М., Кушніренко Р.В.* Уточнення чисельних метеорологічних прогнозів за допомогою глибокого навчання 91
- Сініцин І.П., Шевченко В.Л., Дорошенко А.Ю., Яценко О.А.*  
Дослідження програмних засобів прогнозування вироблення та споживання електроенергії в Україні на основі методів машинного навчання 99

Свідоцтво про державну реєстрацію KB № 7490 від 01.07.2003

Науковий журнал "Проблеми програмування" занесений до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися основні результати дисертаційних робіт.

ISSN 1727-4907

© Інститут програмних систем НАН України, 2023



NATIONAL ACADEMY  
OF SCIENCES OF UKRAINE  
INSTITUTE OF SOFTWARE SYSTEMS

# PROBLEMS OF PROGRAMMING

scientific journal

№ 3

July – September

2023

Founded in March, 1999

## CONTENT

### Applied Software

- Sinit syn I.P., Ignatenko P.P., Fedorenko R.M., Gitkevich O.B.* Problems of automation for the NAS of Ukraine scientific institutions' administrative-managerial activity and approaches to solve them 5
- Shynkarenko V.I., Demydovych I.M.* Methods and software for significant indicators determination of the natural language texts author profile 22

### Programming Tools and Environments

- Bernatovych A.A., Stetsenko I.V.* Module-based scientific physics engine architecture 30
- Haidukevych V.O., Doroshenko A.Y.* Creating a digital twin in meteorological forecasting for a smart city on a mobile platform 40
- Vitiuk A.Y., Doroshenko A.Y.* Novelty search in neuroevolution for end effector positioning 49

### Expert and Intelligent Information Systems

- Yalovets A.L.* The problem of automating the planning of forces, means and resources for management of counteraction of emergency situations 58
- Rogushina J.V.* Development of intelligent information analytical webportals based on semantic Wiki technologies: problems and challenges 66

### Methods and Means of Computer Modelling

- Grygoryan R.D., Degoda A.G., Lyudovik T.V., Yurchak O.I.* Simulating of human physiological supersystems: interactions of cardiovascular, thermoregulatory and respiratory systems 81

### Mashine Learning Models and Methods

- Doroshenko A.Yu., Shpyg V.M., Kushnirenko R.V.* Deep learning-based approach to improving numerical weather forecasts 91
- Sinit syn I. P., Shevchenko V.L., Doroshenko A.Yu., Yatsenko O.A.* Research of software solutions for forecasting electricity generation and consumption in Ukraine that are based on machine learning methods 99



**Пилипу Іларіоновичу Андону – 85 років**

Колектив Інституту програмних систем НАН України щиросердно вітає академіка НАН України члена Президії НАН України доктора фізико-математичних наук, заслуженого діяча науки і техніки України, видатного вченого, лауреата державних премій України у галузі науки і техніки, лауреата премії АН України імені С.О. Лебедєва, лауреата премії АН України імені В.М. Глушкова з ювілейною датою - 85-річчям від дня народження!

Пилип Іларіонович Андон – видатний учений у галузі інформатики, програмування та інформаційних систем. Його наукові здобутки отримали широке міжнародне визнання і опубліковані більш ніж у 200 наукових статтях та монографіях. Під керівництвом Пилипа Іларіоновича підготовлено 12 кандидатів та 8 докторів наук.

Пилип Іларіонович народився 16 жовтня 1938 р. 1961 року закінчив фізико-математичний факультет Кишинівського державного університету і почав працювати у Кібернетичному центрі НАН України. З 1969 до 1980-х рр. був керівником відділення в Спеціальному конструкторському бюро Математичних машин і систем Інституту кібернетики АН УРСР, де працював над розробленням та практичним впровадженням систем оброблення даних на базі ЕОМ. 1986 року захистив дисертацію на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук.

1992 року Пилип Іларіонович заснував Інститут програмних систем НАН України та був призначений його директором. Основним напрямом його наукової діяльності є програмування та інформаційні системи. Він запропонував модель конвеєрних програмних систем, розробив методи їх синтезу, аналізу, оптимізації та організації конвеєрних обчислень на базах даних і знань великих обсягів.

Пилип Іларіонович розробив формально-логічні основи побудови інтелектуальних інформаційних систем, зокрема, теоретичне підґрунтя, методи і засоби концептуального моделювання предметних областей в умовах неповної і нечіткої інформації, запропонував і дослідив відповідні моделі даних та алгебри, розробив низку методів узагальнення інформації на базах даних, розвинув методологію створення інформаційно-аналітичних систем для підтримки технологій проведення контент-аналітичних досліджень з метою кількісного аналізу, аналітичного опрацювання та узагальнення змісту текстів для виявлення тенденцій, закономірностей явищ та подій, відображених у текстах. В останні роки зусилля Пилипа Іларіоновича як ученого та організатора науки сконцентровані на побудові високошвидкісної оптоволоконної академічної мережі обміну даними АМОД, на розробці та впровадженні сучасних інформаційних технологій підтримки наукових досліджень у повсякденну діяльність НАН України, розробці засобів та технології створення електронних наукових бібліотек, а також на розвитку ГРІД-середовища та розробці теорії синтезу прикладних програмних систем в семантичному Інтернет-середовищі.

Пилип Іларіонович працює над побудовою великих складних розподілених систем загальнодержавного та галузевого рівнів, які впроваджено в структурні підрозділи Міністерства оборони, Державної прикордонної служби України та Міністерства закордонних справ України (системи СТВОЛ, ГАРТ, АРКАН, ВІЗА). Учений докладає зусиль до розробки теорії синтезу прикладних програмних систем у семантичному інтернет-середовищі та інтелектуальних інформаційних технологій аналізу й опрацювання великих баз даних. Ці дослідження зробили суттєвий внесок у створення прикладних програмних систем, забезпечення їхньої надійності та якості. Під науковим керівництвом Пилипа Іларіоновича Андона розроблено стандарти України з питань інженерії програмних систем.

Як державний діяч Пилип Іларіонович Андон є одним з ініціаторів створення Національної програми інформатизації України та співробітництва України з ЮНЕСКО, співзасновником Міжнародної асоціації програмної інженерії. Він є членом Міжнародної комп'ютерної асоціації АСМ і комп'ютерного товариства IEEE, а також програмних комітетів ряду міжнародних наукових конференцій із програмування та редколегій профільних наукових журналів.

Наукову діяльність Пилипа Іларіоновича відзначено державними, академічними та іншими нагородами.

Колектив Інституту програмних систем НАН України вітає Пилипа Іларіоновича Андона з 85-річним ювілеєм, бажає міцного здоров'я, плідної праці та подальших наукових звершень.

## ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ АДМІНІСТРАТИВНО-УПРАВЛІНСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НАУКОВИХ УСТАНОВ НАН УКРАЇНИ ТА ПІДХОДИ ДО ЇХ ВИРІШЕННЯ

Проаналізовано особливості інформатизації адміністративно-управлінської діяльності (АУД) наукових установ Національної академії наук (НАН) України. Запропоновано сім рамкових інформаційних технологій (ІТ) АУД науково-організаційних, планово-виробничих, кадрових і бухгалтерських служб установ. Досліджено індустріально апробовані засоби автоматизованої підтримки ІТ АУД. Обґрунтовано вибір для першої черги інформатизації вітчизняної програмної платформи UnityBase з додатком A5 SYSTEMS. Запропоновано підхід до організації інформатизації наукових установ НАН України на платформі UnityBase із застосуванням новітньої методології управління змінами – Позитивно зорієнтованого дослідження – для запобігання організаційного спротиву інформатизації та вироблення її ефективної стратегії. Ключові слова: інформатизація, адміністративно-управлінська діяльність, наукова установа, науково-організаційна діяльність, планово-економічна діяльність, позитивно зорієнтоване дослідження, позитивно-стверджувальна тема, позитивне ядро змін.

### Вступ

Упродовж останніх десяти років колектив Інституту програмних систем докладав зусиль з інформатизації адміністративно-управлінської діяльності наукових установ НАН України в програмі інформатизації НАН України. Відповідний інструментальний засіб отримав назву типова АІС «УСТАНОВА» [1]. В її рамках було запропоновано, реалізовано та впроваджено окремі програмні комплекси з автоматизації інформаційних технологій (ІТ) адміністративно-управлінської діяльності (АУД) на підтримку основної діяльності установ за їх власним вибором. Перед колективом Інституту стояла (і стоїть) задача інформатизувати таку діяльність (що забезпечує інформаційні процеси) в усіх наукових установах відомства, а їх налічується понад 170. Досвід впровадження АІС «Установа» в програмі інформатизації показав, що потрібно виробити підхід до розв'язання цієї задачі, а її успішне розв'язання неможливе без застосування адміністративного ресурсу відомства.

У статті описано основні проблеми розв'язання цієї складної задачі та запропоновано підходи до їх вирішення.

### Основні проблеми

На підставі отриманого досвіду щодо впровадження автоматизованих ІТ АУД у наукових установах НАН України слід зазначити такі основні проблеми:

- 1) відсутність затвердженої й обов'язкової до використання в НАН України типізації та уніфікації автоматизованих функцій, що спричиняє значну варіантність програм їх реалізації;
- 2) необхідність відмови від поширених нині платформ і засобів реалізації, розробником яких є Російська Федерація (РФ);
- 3) відсутність у наукових установах НАН України достатніх коштів на закупівлю та підтримку розвинутих у світі середовищ функціонування автоматизованих інформаційних технологій адміністративно-управлінської діяльності;
- 4) недостатня комп'ютерна кваліфікація персоналу наукових установ НАН України, потенційних користувачів відповідних автоматизованих ІТ.

### Типізація та уніфікація автоматизованих функцій АУД

Типізація та уніфікація автоматизованих функцій у складі забезпечуючих ІТ АУД наукових установ – важливий етап інформатизації установ НАН України.

За результатами аналізу близько десяти типових наукових установ було запропоновано сім рамкових забезпечуючих ІТ АУД для першої черги інформатизації. Користувачами цих ІТ є фахівці науково-організаційного відділу забезпечення досліджень,

планово-економічного відділу, відділу кадрів, бухгалтерії, керівники наукових та обслуговуючих підрозділів (в частині, що їх стосується). АІС «УСТАНОВА» автоматизує виконання основних функцій вказаних підрозділів за допомогою таких рамкових ІТ АУД:

- 1) підтримка науково-організаційної діяльності наукової установи (**НОД**);
- 2) автоматизована підтримка планово-економічної діяльності наукової установи (**ФІНЕК**);
- 3) автоматизація обліку кадрів наукової установи (**КАДРИ**);

4) автоматизований розрахунок заробітної плати співробітників наукової установи (**ЗАРПЛАТА**);

5) матеріальний облік наукової установи (**МАТОБЛІК**);

6) фінансовий облік наукової установи (**ФІНОБЛІК**);

7) розрахунки з нарахування за послуги оренди приміщень орендарям установи («**ОРЕНДА**»).

Функціональні можливості ІТ АУД підсумовано в табл.1.

Таблиця 1.

Склад автоматизованих функцій рамкових ІТ АУД

| Рамкова ІТ | Функції                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|            | Група                                                                      | Елемент групи                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| НОД        | 1. Формування тематики наукових досліджень                                 | 1.1 Формування документу «Запит на відкриття теми»;<br>1.2 Формування документу «Договір на виконання наукових досліджень»;<br>1.3 Формування документу «Пропозиції на відкриття тем пошукової тематики»;<br>1.4 Формування документу «Господарський договір»;<br>1.5 Формування Тематичного плану інституту за даними запитів і договорів<br>1.6 За даними запитів і договорів формується Робочий план за темою |
|            | 2. Реєстрація, облік і поточний контроль виконання тем наукових досліджень | 2.1 За даними документів запитів та договорів формується Реєстраційна картка;<br>2.2 За даними документів запитів та договорів формується Облікова картка;<br>2.3 формування документу «Додаткова угода до договору».                                                                                                                                                                                            |
|            | 3. Приймання завершених тем наукових досліджень:                           | 3.1 Завершення роботи над темою за державною та програмно-цільовою тематикою оформляється актом здачі/приймання наукової теми;<br>3.2 Для відомчої та пошукової тематики формується Протокол приймання та оцінки науково-дослідної роботи;<br>3.3 Для договірної тематики розроблений відповідний акт здавання/приймання                                                                                         |
|            | 4. Публікації                                                              | 4.1 Формування списку публікацій;<br>4.2 Формуються звіти про публікації до річного звіту за формами VIII_1, VIII_2, VIII_3;<br>4.3 Формуються звіти про публікації до Методики оцінювання ефективності діяльності наукових установ Національної академії наук України.                                                                                                                                          |
|            | 5. Патенти                                                                 | 5.1 Формування списку патентів;<br>5.2 Формуються звіти про патенти до річного звіту за формами VII_1, VII_3, VII_4;<br>5.3 Формуються звіти про патенти до Методики оцінювання ефективності діяльності наукових установ Національної академії наук України.                                                                                                                                                     |

| Рамкова ІТ   | Функції                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|              | Група                                                                                                                                                                                         | Елемент групи                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|              | 6. Конференції, семінари, з'їзди, виставки                                                                                                                                                    | 6.1 Формування списків конференцій, семінарів, з'їздів виставок;<br>6.2 Формуються звіти про конференції, семінари, з'їзди, виставки за обраний період до річного звіту.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|              | 7. Річний звіт інституту                                                                                                                                                                      | До річного звіту необхідно ввести дані описового характеру з клавіатури, дані кількісного характеру формуються з наявних в АІС                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>ФІНЕК</b> | 1. Планування кошторису доходів і видатків                                                                                                                                                    | 1.1 Заповнення тимчасового кошторису;<br>1.2 Заповнення річного кошторису;<br>1.3 Заповнення довідок про зміни до кошторису;<br>1.4 Формування скоригованого кошторису;<br>1.5 Формування звіту «Аналіз кошторису»;<br>1.6 Формування звіту «Зміни кошторису»;<br>1.7 Формування звіту «Реєстр про зміни кошторису»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|              | 2.Формування штатного розпису організації                                                                                                                                                     | 2.1 Заповнення необхідних довідників для штатного розпису (вакансії, підрозділи, посади та інші);<br>2.2 Формування та зміна штатного розпису;<br>2.3 Групове коригування посадових вилок штатного розпису за коефіцієнтом;<br>2.4 Внесення змін до штатного розпису у кадрових документах;<br>2.5 Групове коригування нарахувань співробітникам за коефіцієнтом при введенні нового штатного розпису;<br>2.6 Формування звіту «Поіменний штатний розпис»;<br>2.7 Формування звіту «Штатний розпис» для Президії НАН України за їх вимогами;<br>2.8 Формування звіту «Розрахунок до штатного розпису» для Президії НАН України;<br>2.9 Формування звіту «Картка співробітника» |
|              | 3. Моделювання штатного розпису організації                                                                                                                                                   | 3.1 Додавання нової моделі штатного розпису;<br>3.2 Формування документів зміни штатного розпису в моделі;<br>3.3 Формування звітів штатного розпису для моделі                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|              | 4. Розподіл фактичних витрат по зарплаті та підготовка для перенесення до бухгалтерії                                                                                                         | 4.1 Формування документу «Розподіл витрат по зарплаті на теми»;<br>4.2 Формування документу «Плановий розподіл зарплати на місяць»;<br>4.3 Формування звіту «Відомість фактичного розподілу витрат ЗП за темами»;<br>4.4 Формування звіту «Зведена відомість фактичного розподілу витрат на зарплати за темами»;<br>4.5 Відображення зарплати в регламентному обліку.                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|              | 5. Облік відсутності працівників на роботі                                                                                                                                                    | 5.1 Оформлення відрядження;<br>5.2 Оформлення відпустки;<br>5.3 Оформлення відсутності на роботі                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>КАДРИ</b> | 1. Ведення та коригування загальної інформації про організацію, посади, наукові звання, вчені ступені, категорії посад, відповідальних осіб та інші довідники для ведення кадрової інформації |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|              | 2. Ведення структури організації по підрозділах                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|              | 3. Облік працівників організації й фізичних осіб, які мають відносини з організацією                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|              | 4. Облік руху кадрів                                                                                                                                                                          | 4.1 Прийняття на роботу;<br>4.2 Кадрове переміщення;<br>4.3 Звільнення з організації                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|              | 5. Облік відсутності працівників на роботі                                                                                                                                                    | 5.1 Оформлення відрядження;<br>5.2 Оформлення відпустки;<br>5.3 Оформлення відсутності на роботі                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

| Рамкова ІТ       | Функції                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                  | Група                                                                                                                           | Елемент групи                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                  | 6. Інші кадрові документи                                                                                                       | 6.1 Оформлення встановлення надбавки по організації;<br>6.2 Оформлення заохочення (стягнення) в організації;<br>6.3 Оформлення зміни графіку роботи;<br>6.4 Оформлення заміщення працівника;<br>6.5 Оформлення суміщення працівника                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                  | 7. Формування та друк єдиного кадрового наказу за період у форматі Word                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                  | 8. Ведення календаря для обліку робочого часу, графіки роботи.                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                  | 9. Формування табеля обліку робочого часу                                                                                       | 9.1 Формування електронного документу «Табель обліку робочого часу»;<br>9.2. Формування форми для друку табеля                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                  | 10. Ведення військового обліку                                                                                                  | 10.1 Формування довідників<br>10.2 Формування звітів:<br>– «Донесення про кількість громадян у запасі»;<br>– «Чисельність працюючих та заброньованих громадян запасу»;<br>– «Повідомлення до військкоматів»;<br>– «Список початкової постановки на військовий облік»;<br>– «Список громадян, які підлягають постановці на військовий облік»;<br>– «Список юнаків 15–16 років»;<br>– «Прийняті та звільнені військовозобов'язані»;<br>– «Прийняті та звільнені працівники, які підлягають призову»;<br>– «Звіт про чисельність працюючих і заброньованих військовозобов'язаних (форма 6)»                                        |
|                  | 11. Формування кадрових звітів                                                                                                  | – «Особова картка форма П-2»;<br>– «Кадрові звіти»;<br>– «Звіт про відрядження»;<br>– «Чисельний склад (щомісячно)»;<br>– «Форма №1-наука (квартальна)»;<br>– «Контрольний список наукових робітників та спеціалістів»;<br>– «Звіт ф1 К»;<br>– «Поповнення та звільнення молодих спеціалістів у 20xx році»;<br>– «Молоді наукові працівники (звіт на 01.01.xx року)»;<br>– «Список наукових робітників та спеціалістів за сумісництвом (на 01.01.xx)»;<br>– «Довідник для форми №3 наука (для п. 3.4)»;<br>– «Форма № 3 – наука (річна)»;<br>– «Форма 6 ПВ-річна»;<br>«Форма ДН (річна) Облік наукових працівників зі званнями» |
| <b>ЗАРП-ЛАТА</b> | 1. Підготовка інформації для початку роботи з підсистемою «Зарплата». Формування довідкової інформації для нарахування зарплати | – Види розрахунків;<br>– Розміри Єдиних соціальних внесків(ЄСВ) та нарахування на фонд оплати праці (ФОП);<br>– Розміри утримання із зарплати;<br>– Види доходів податку доходів фізичних осіб (ПДФО);<br>– Типи та розміри пільг працівників податку до фонду оплати.<br>– Розміри мінімальної оплати праці;<br>– Розміри прожиткових мінімумів;<br>– Для індексації зарплати;<br>– Планові нарахування працівників із штатного розпису;<br>– Планові утримання працівників;<br>– Плановий аванс                                                                                                                               |

| Рамкова ІТ | Функції                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|            | Група                                                                                                                                                                                          | Елемент групи                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|            | 2. Перенесення зарплати з бази даних, яку використовувала до впровадження нової програми                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|            | 3. Створення первинних документів для нарахування ЗП. Розрахунок зарплати, податків та нарахування на фонд оплати праці. Розподіл зарплати по темах. Формування документів на виплату зарплати | <p>Документи з інформацією на 1 місяць:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Разові нарахування;</li> <li>– Оплата за святкові та вихідні дні, за нічні години;</li> <li>– Акт на виконання робіт за договором з фізичною особою;</li> <li>– Розрахунок компенсації за невикористану відпустку при звільненні;</li> <li>– Річний перерахунок ПДФО;</li> <li>– Нарухування зарплати та розрахунок податків;</li> <li>– Платіжні документи на виплату зарплати;</li> <li>– Закриття періоду зарплати та реєстрація боргів із зарплати.</li> </ul> <p>Документи з інформацією на декілька місяців:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Виконавський лист (утримання аліментів);</li> <li>– Заява на використання пільги із податку на дохід.</li> </ul> <p>Документи для розрахунку по середньому заробітку:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Оплата відпустки;</li> <li>– Листки непрацездатності;</li> <li>– Оплата за середнім заробітком.</li> </ul> <p>Документи для розподілу зарплати по темах наукової діяльності:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Розподіл відпрацьованого часу за темами наукової діяльності;</li> <li>– Плановий розподіл зарплати за місяць;</li> <li>– Розподіл зарплати за темами;</li> </ul> <p>Розподіл накладних витрат</p> |
|            | 4. Створення звітів та довідок із зарплати                                                                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Звіти із зарплати;</li> <li>– Заява-розрахунок до фонду соцстраху;</li> <li>– Довідку про доходи працівника;</li> <li>– Відомість про утримання аліментів;</li> <li>– Відомість про розподіл зарплати по темах наукової діяльності;</li> <li>– Відомість для клієнт-банку для перерахування зарплати на карткові рахунки працівників;</li> <li>– Платіжна відомість для отримання зарплати через касу організації готівкою.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|            | 5. Реєстрація зарплати в бухгалтерії                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|            | 6. Вивантаження зарплати в інші інформаційні системи. Об'єднаний розрахунок для завантаження в МЕДОК                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|            | 7. Підготовка інформації для початку роботи з підсистемою «Зарплата». Формування довідкової інформації для нарахування зарплати                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Види розрахунків;</li> <li>– Розміри Єдиних соціальних внесків(ЄСВ) та нарахування на фонд оплати праці (ФОП);</li> <li>– Розміри утримання із зарплати;</li> <li>– Види доходів податку доходів фізичних осіб (ПДФО);</li> <li>– Типи та розміри пільг працівників податку до фонду оплати;</li> <li>– Розміри мінімальної оплати праці;</li> <li>– Розміри прожиткових мінімумів;</li> <li>– Для індексації зарплати;</li> <li>– Планові нарахування працівників із штатного розпису;</li> <li>– Планові утримання працівників;</li> <li>– Плановий аванс</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|            | 8. Перенесення зарплати з бази даних, яку використовували до впровадження нової програми                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

| Рамкова ІТ | Функції                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|            | Група                                                                                                                                                                                          | Елемент групи                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|            | 9. Створення первинних документів для нарахування ЗП. Розрахунок зарплати, податків та нарахування на фонд оплати праці. Розподіл зарплати по темах. Формування документів на виплату зарплати | <p>Документи з інформацією на 1 місяць:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Разові нарахування;</li> <li>– Оплата за святкові та вихідні дні, за нічні години;</li> <li>– Акт на виконання робіт за договором з фізичною особою;</li> <li>– Розрахунок компенсації за невикористану відпустку при звільненні;</li> <li>– Річний перерахунок ПДФО;</li> <li>– Нарахування зарплати та розрахунок податків;</li> <li>– Платіжні документи на виплату зарплати;</li> <li>– Закриття періоду зарплати та реєстрація боргів із зарплати.</li> </ul> <p>Документи з інформацією на декілька місяців:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Виконавський лист (утримання аліментів);</li> <li>– Заява на використання пільги до податку на дохід.</li> </ul> <p>Документи для розрахунку по середньому заробітку:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Оплата відпустки;</li> <li>– Листки непрацездатності;</li> <li>– Оплата за середнім заробітком.</li> </ul> <p>Документи для розподілу зарплати по темах наукової діяльності:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Розподіл відпрацьованого часу по темах наукової діяльності;</li> <li>– Плановий розподіл зарплати за місяць;</li> <li>– Розподіл зарплати за темами;</li> <li>– Розподіл накладних витрат</li> </ul> |
|            | 10. Створення звітів та довідок із зарплати                                                                                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Звіти по зарплаті;</li> <li>– Заява-розрахунок до фонду соцстраху;</li> <li>– Довідку про доходи працівника;</li> <li>– Відомість про утримання аліментів.</li> <li>– Відомість про розподіл зарплати по темах наукової діяльності.</li> <li>– Відомість для клієнт-банку для перерахування зарплати на карткові рахунки працівників;</li> <li>– Платіжна відомість для отримання зарплати через касу організації готівкою</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|            | 11. Реєстрація зарплати в бухобліку                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|            | 12. Вивантаження зарплати в інші інформаційні системи. Об'єднаний розрахунок для завантаження в МЕДОК                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| МАТ-ОБЛІК  | 1. Введення початкових залишків (НА, ІНМА, ТМЦ(запаси), БСЗ): редагування результатів введення початкових залишків (НА, ІНМА, ТМЦ(запаси), БСЗ)                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|            | 2. Формування договорів на постачання ТМЦ – в ІПС заглушки.                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|            | 3. Довіреність на отримання товарів (НА, ІНМА, ТМЦ(запаси), БСЗ).                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|            | 4. Надходження товарів і послуг (НА, ІНМА, ТМЦ(запаси), БСЗ)                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|            | 5. Введення в експлуатацію (НА, ІНМА)                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|            | 6. Повернення постачальнику (НА, ІНМА, ТМЦ (запаси), БСЗ) – в ІПС не використовується                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|            | 7. Повернення від покупця (НА, ІНМА, ТМЦ (запаси), БСЗ) – в ІПС не використовується                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|            | 8. Внутрішнє переміщення (НА, ІНМА, ТМЦ (запаси), БСЗ)                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|            | 9. Реалізація товарів і послуг (НА, ІНМА, ТМЦ (запаси), ТМЦ (послуги), БСЗ)                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|            | 10. Комплектація (розукомплектація) НА – в ІПС не використовується.                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

| Рамкова ІТ       | Функції                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                  | Група                                                                               | Елемент групи                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                  | 11. Переоцінка товарів (НА, ІНМА, ТМЦ(запаси), БСЗ)                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                  | 12. Розрахунок зносу НА, ІНМА                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                  | 13. Інвентаризація товарів ((НА, ІНМА, ТМЦ (запаси), ТМЦ (дорогоцінні метали), БСЗ) |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                  | 14.Списання товарів (НА, ІНМА, ТМЦ (запаси), БСЗ)                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>ФІН-ОБЛІК</b> | 1.Облік операцій з безготівковими коштами (банк):                                   | 1.1 Надходження грошових коштів до бюджету;<br>1.2 Оплата від покупця;<br>1.3 Повернення грошових коштів постачальником;<br>1.4 Розрахунки за кредитами та позиками;<br>1.5 Купівля продаж валюти;<br>1.6 Інше надходження грошових коштів;<br>1.7 Оплата постачальнику;<br>1.8 Повернення коштів покупцю;<br>1.9 Перерахування ЗП;<br>1.10 Перерахування стипендій;<br>1.11 Перерахування податків;<br>1.12 Отримання виписок доручень з Казначейства здійснюється через СДО. СДО – система дистанційного обслуговування «Клієнт Казначейства – Казначейство»;<br>1.13 Відправлення платіжних доручень до Казначейства здійснюється через СДО                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|                  | 2. Облік операцій з готівкою (каса):                                                | 2.1 Оплата покупця;<br>2.2 Прихід грошових засобів, роздрібна виручка;<br>2.3 Повернення грошових коштів підзвітними особами;<br>2.4 Повернення грошових коштів постачальником;<br>2.5 Отримання готівкових грошових коштів в банку;<br>2.6 Розрахунки за кредитами і позики контрагентами;<br>2.7 Розрахунки за кредитами і позиками з працівниками;<br>2.8 Прихід грошових засобів. Інше;<br>2.9 Інші розрахунки с контрагентами;<br>2.10 Повернення грошових засобів працівником;<br>2.11 Оплата постачальнику;<br>2.12 Повернення коштів покупцю;<br>2.13 Видача грошових коштів підзвітній особі;<br>2.14 Інша витрата коштів;<br>2.15 Видача коштів у касу ККМ;<br>2.16 Виплата ЗП;<br>2.17 Внесення готівкових коштів до банку;<br>2.18 Розрахунки за кредитами та позиками з контрагентами;<br>2.19 Розрахунки за кредитами та позиками з працівниками;<br>2.20 Інші розрахунки з контрагентами;<br>2.21 Виплата заробітної плати за відомостями;<br>2.22 Виплата ЗП працівнику |

| Рамкова ІТ     | Функції                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                | Група                                                                                                      | Елемент групи                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                | 3. Ведення договорів у бюджетних установах                                                                 | <p>3.1 Усі господарські відносини установи з постачальниками товарів, робіт та послуг з покупцями, замовниками та іншими дебіторами оформляються договорами;</p> <p>3.2 Форми договорів та порядок їх укладання регламентуються Цивільним кодексом України;</p> <p>3.3 Витрати за договорами, укладеними без відповідних бюджетних здійснюватися не можуть;</p> <p>3.4 Перераховані авансові платежі та попередня оплата повинні відповідати умовам договору;</p> <p>3.5 Договори, укладені установою з юридичними та фізичними особами в будь-якій формі (усній або письмовій), реєструються в Книзі обліку асигнувань;</p> <p>3.6 Договори, які в поточному році були не проплачені, переносяться у Книгу обліку асигнувань наступного року</p> |
|                | 4. Облік ПДВ:                                                                                              | <p>4.1 Налаштування методу обліку ПДВ за видами діяльності установ, джерелами фінансування та структурного підрозділу;</p> <p>4.2 Вигрузка податкових накладних у всі системи електронної звітності</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                | 5. Облік взаєморозрахунків                                                                                 | <p>5.1 Виписка актів звірки взаєморозрахунків;</p> <p>5.2 Інвентаризація заборгованості в таких розрізах: джерела фінансування; КЭКР; контрагент; договір; документ</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                | 6. Фінансова звітність:                                                                                    | <p>6.1 Баланс;</p> <p>6.2 Звіт про фінансові результати;</p> <p>6.3 Звіт про рух грошових коштів;</p> <p>6.4 Звіт про власний капітал;</p> <p>6.5 Примітки до річної фінансової звітності</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>ОРЕН-ДА</b> | 1. Вести облік орендарів та договорів з орендарями                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                | 2. Вести облік орендованих приміщень                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                | 3. Формування договорів із контрагентом на оренду: документ «Договір із надання регулярних послуг оренди». |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                | 4. Щомісячно розраховувати оплату за надані послуги                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                | 5. Щомісячно формувати рахунки на оплату за надані послуги                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                | 6. Щомісячно формувати акти наданих послуг.                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                | 7. Щомісячно формувати податкові накладні та файл для імпорту в підсистему податкової                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                | 8. Формувати зведену відомість про надані послуги                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                | 9. За необхідності формувати акти звірки з орендарем за довільний період                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                | 10. Формувати меморіальний ордер № 4.                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                | 11. Формувати бухгалтерські проводки з оренди                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

Уніфікований опис наведених ІТ і рішень з їх реалізації з використанням платформи 1С подано в документації, переданій Державній службі інтелектуальної власності України під час оформлення щодо них Свідочств про реєстрацію авторського права на твір [1–7].

Розглядаємо їх як типові ІТ, що можуть бути конкретизовані в наукових установах НАН України залежно від особливостей їх адміністративно-управлінської системи (за необхідності) в рамках проведення додаткового дообстеження установ НАН України.

### Вибір платформи та засобів реалізації ІТ АУД

**Підстави вибору.** Наразі під час вибору платформи та засобів реалізації наведених ІТ АУД 1)-7) необхідно враховувати актуальні вимоги до експлуатації АІС «Установа», а саме:

- 1) Заборона використання платформ і засобів, створених в країні-агресору РФ;
- 2) Необхідність мінімізації вартості підтримки функціонування загального програмного забезпечення (оплати ліцензій, підтримки експлуатації тощо);
- 3) Необхідність мінімізації вартості технічного забезпечення для експлуатації АІС «Установа» в наукових установах ;
- 4) Можливість навчання користувачів АІС «Установи» (за потреби).

Враховуючи вимоги 1)-4), було проаналізовано інструменти комплексної автоматизації АУД для бюджетних організацій у відповідності до державного законодавства України, доступні для вибору й застосування. Результати дослідження й аналізу висвітлюють лише декілька таких інструментів, які до того ж мають обмежений функціонал і застосовні лише в певних галузях діяльності.

Розглянемо наразі доступні платформи та створені на їхній основі застосунки, які можуть бути використані для реалізації функцій ІТ АУД, поданих у табл.1.

**Використання платформи SAP.** Компанія SAP (<https://a4.com.ua/scho-take-sap-erp/>) здійснює розробку автоматизованих систем управління такими внутрішніми процесами підприємства, як: бухгал-

терський облік, торгівля, виробництво, фінанси, управління персоналом, управління складами тощо. Додатки зазвичай можна адаптувати під правовий контекст певної держави. Крім поставок програмного забезпечення, фірма пропонує послуги з його впровадження, одгочасно використовуючи власну методологію впровадження.

Модулі SAP ERP:

- Управління фінансами – дає змогу вести облік основних засобів, контролювати фінансові операції, автоматизувати роботу бухгалтерії, вести необхідну звітність;
- Виробництво – управління всіма аспектами виробництва: планування, контроль та аналіз робіт;
- Замовлення – регуляція взаємовідносин з контрагентами. Підтримка операцій з продажу, обслуговування, сервісу клієнтів тощо;
- Управління якістю – планування та контроль якості продукції під час виробництва та закупівель;
- Ремонт та обслуговування оснащення – планування коштів на проведення ремонтних робіт та облік витрат;
- Інформаційні потоки – з'єднання модулів з інструментами, технологіями і сервісами, спільними для додатків. Можна задати правила, згідно з якими дана частина системи автоматизує господарські операції;
- Управління персоналом – планування зайнятості співробітників, розрахунків заробітної плати, витрат на відрядження, пільг тощо. Модуль сприяє впорядкуванню найму персоналу, забезпеченню підвищення його кваліфікації.

Додаток *SAP Business One* – це програмне забезпечення для управління бізнесом (англ. Enterprise Resource Planning – ERP) взаємовідносинами з клієнтами для малих і середніх підприємств, що продається німецькою компанією SAP SE. SAP Business One можна розгорнути на СУБД SAP HANA та Microsoft SQL.

SAP HANA — це платформа, яка пропонує in-memory технологію для збереження й обробки даних. Робота SAP Business One на платформі SAP HANA уможливорює використання інструментів прогнозової аналітики.

Модулі SAP Busines One:

- Адміністрування;
- Фінанси;
- CRM (Customer Relationship

Management);

- Продажі;
- Закупівлі;
- Бізнес-партнери;
- Розрахунки;
- Запаси;
- Ресурси;
- Виробництво;
- MRP (Material Requirements

Planning);

- Сервіс;
- Персонал;
- Звіти.

**Платформа UnityBase** – для ІТ АУД цікава своїм додатком A5 Systems (/a5erp.solutions), що підтримує:

- 1) Бухгалтерський і податковий облік;
- 2) Управління персоналом;
- 3) Облік праці та розрахунк заробітної плати;
- 4) Особистий кабінет;
- 5) Облік запасів;
- 6) Управління збутом;
- 7) Фінансове планування;
- 8) Інвентаризація;
- 9) Тарифікація.

*Бухгалтерський і податковий облік* охоплює:

- Облік ОС і НМА;
- Облік ПДВ по розрахунках з поставачальниками / підрядниками;
- Облік розрахунків з податку на прибуток

*Управління персоналом* підтримує:

- Штатний розпис
- Персонал
- Накази з персоналу

*Облік праці та розрахунк заробітної плати* охоплює:

- Особові рахунки працівників
- Облік робочого часу
- Розрахунковий лист

*Особистий кабінет:*

- Підвищення зручності та оперативності комунікацій між працівниками й фахівцями з управління персоналом;

- Підвищення зручності та якості інформування працівників;
- Підвищення оперативності документообігу між працівниками та фахівцями з управління персоналом.

*Облік запасів:*

- Облік запасів сировини і матеріалів;
- Наявність і рух запасів по місцях зберігання та матеріально відповідальним особам;
- Оприбуткування, переміщення.

*Управління збутом:*

- Облік реалізації продукції покупцям, друк накладних, супроводжувальних листів;
- Формування первинних документів на відвантаження товарів і готової продукції покупцям;
- Облік повернення товару і готової продукції покупцями.

*Фінансове планування*

- Формування бюджетів;
- Бюджетування;
- Аналіз та контроль виконання бюджетів.

*Інвентаризація:*

- Фіксація, збереження, модифікації, керування, аналіз і відображення усіх форм географічної інформації;
- Додання / актуалізація ортофото;
- Створення польотного завдання.

*Тарифікація:*

- Тарифікація;
- Робочі місця;
- Звіти;
- Довідники.

**Платформа IT-Enterprise і лінійка продуктів MASTER** – продукт української компанії IT-Enterprise (<https://www.it.ua/>) розробника сучасних цифрових і хмарних рішень для управління підприємством, поставачальника й популяризатора технологій класу Industry 4.0 IT-Enterprise, що працює на ринку України понад 30 років.

IT-Enterprise – ERP-платформа, що підтримує управління бізнесом, удосконалення бізнес-процесів і застосування найкращих рішень для клієнтів.

Для реалізації рамкових ІТ АУД 1)-7) у цій платформі є перспективна лінійка

продуктів *MASTER* – це програмні продукти для автоматизації бухгалтерського та податкового обліку, організації кадрової роботи, управління заробітною платою, електронного документообігу та CRM. Як стверджують автори платформи, продукти *MASTER* є повноцінною заміною таким системам, як 1C, KBS, Бітрікс24, Flowlu, RetailCRM, Tilda CRM, OneBox, МойСклад, Мегаплан тощо.

Типовий програмний продукт для бухгалтерського та податкового обліку підприємств малого й середнього бізнесу *MASTER: Бухгалтерія* має повний функціонал усіх аспектів обліку:

Банк і каса – документи банку, Клієнт-банк, документи каси, звітність.

Купівлі та продаж – документи покупок, вхідні податкові, документи продажів, виписка податкових, акти звірки, аналіз заборгованості.

Склад – документи обліку ТМЦ, інвентаризація ТМЦ, оборотно-сальдова відомість щодо ТМЦ, залишки на складі, облік дорогоцінних металів.

Виробництво – документи виробництва, облік випуску, переробка ТМЦ, облік ТМЦ у переробці.

Основні засоби та нематеріальні активи – документи руху ОЗ и НМА, картотека ОЗ, розрахунок зносу, інвентаризація ОЗ, переоцінка ОЗ.

Податковий облік – облік ПДВ, податок на прибуток, трансфертне ціноутворення, імпорт/експорт податкових накладних;

Кадри – накази, штатний розпис, особова картка;

Зарплата – розрахунок відпусток і лікарняних, разові та умовно-постійні нарахування, відомості на виплату в касу, банківську картку, звітність із зарплати.

Звітність – фінансова звітність, звітність за ПДВ, звітність за прибутком, стандартні звіти;

Довідники – організації, договори, товари, продукти, послуги, цінник, план рахунків;

Вартість програмних продуктів і послуг;

Бухгалтерський облік – комплексний бухгалтерський облік за всіма напрямками;

зведена бухгалтерська звітність; податковий облік згідно діючому ПКУ; автоматичне формування фінансової звітності;

Е-документообіг – обмін (отримання та відправка) та облік (реєстрація) е-документів із КЕП; налаштовані бізнес-процеси обробки вхідних, внутрішніх, вихідних е-документів; єдине середовище зберігання документів.

**Система бухгалтерського обліку *BOOKKEEPER*** (<https://bookkeeper.kiev.ua>)

– сучасна онлайн бухгалтерія, що дає змогу вести облік діяльності, складати та подавати звітність підприємств і ФОП усіх систем оподаткування та неприбуткових організацій з будь-якого пристрою. *BOOKKEEPER* розроблений за принципом перевіреного досвіду користувачів (UX) із гаслом «Ще ніколи бухгалтерські програми в Україні не були такими зручними!». В сервісі для ведення бухгалтерії онлайн реалізований функціонал для вирішення актуальних задач малого й середнього бізнесу, а також некомерційних підприємств. За допомогою віддаленої бухгалтерії кожен користувач зможе самостійно складати необхідні операції та розрахунки, вести оперативний облік торгівлі, сформувати регламентовані звіти та здати електронну звітність.

Наявні операції обліку: продажу й придбання, управління запасами та виробництвом, касою й банком, підтримки розрахунків за зарплатою та за договорами ЦПХ, управління необіговими активами, ЗЕД.

Передбачена можливість ведення обліку декількох юридичних осіб в одній базі бухгалтерської програми. Працівники компаній можуть налаштувати власний набір прав доступу до елементів і документів бази. Це, а також багато інших інструментів, забезпечують самостійне ведення бухгалтерії онлайн користувачами без професійних знань у сферах обліку та ІТ. Основний перелік операцій охоплює:

- Необігові активи;
- Придбання;
- Реалізація;
- Запаси і виробництво;
- Каса і банк;
- Зарплата і Персонал;
- ЗЕД;

- Податки;
- Звітність та ЕЦП;
- Імпорт/Експорт;
- Інтеграція з клієнт-банком;
- Підприємства та користувачі.

### **Система управління Дебет**

**Плюс** (<https://debet.com.ua/>) – українська крос-платформна автоматизована система управління підприємством (АСУП) і програмна платформа, написана поверх Eclipse RCP. Має багаті можливості конфігурування. Як СУБД можна використовувати вбудовану Apache Derby, Open Source SQL-сервера PostgreSQL і MySQL, або, для платної корпоративної версії, комерційні Oracle, MS SQL чи DB2.

Система Дебет Плюс побудована за модульним принципом: для ведення бухгалтерського, управлінського, банківського обліку використовуються модулі (підсистеми), що автоматизують ведення відповідного розділу обліку. Базова архітектура системи забезпечує збереження всієї інформації у вигляді первинних документів, довідників і початкових залишків. Стандартна базова конфігурація «Дебет Плюс v12» поєднує 11 підсистем (ІТ):

- Звід бухгалтерського балансу;
- Облік банківських операцій;
- Облік касових операцій;
- Облік товарно-матеріальних цінностей (склад, продаж, виробництво);
- Облік основних засобів;
- Облік заробітної плати;
- Облік кадрів;
- Управлінський облік;
- CRM (Взаємовідносини з клієнтами);
- Автотранспорт (облік транспортних засобів, витрат ПММ, ведення дорожніх листів);
- Адміністратор комплексу.

Порівняння розглянутих інструментів свідчить, що практично всі вони в основному обмежуються автоматизацією спрощеного функціоналу для бухгалтерської роботи, кадрового обліку, нарахування заробітної плати та обліку матеріальних цінностей. Специфіка АУД у наукових установах НАН України порівняно з іншими бюджетними організаціями потребує більш

розширеного функціоналу, автоматизація якого недостатня або відсутня в наявних програмних розробках.

На погляд авторів, наведеним вище вимогам (1-4) наразі задовольняють вітчизняна програмна платформа UnityBase фірми СОФТЛАЙН [8] з додатком A5 SYSTEMS, а також платформа з використанням Сервіс-орієнтованої та Мікросервісної архітектури, що зорієнтовані на реалізацію функцій рамкових ІТ АУД, охарактеризованих у табл.1 [9].

На наш погляд, для побудови модернізованого СПЗ як подальшого розвитку функціональних можливостей АІС «Установа», орієнтованого на актуальні умови та потреби, найбільш перспективним є підхід із використанням у його архітектурі принципів таких базових платформ як Сервіс-орієнтована архітектура та Мікросервісна архітектура.

Такий підхід дає змогу:

- забезпечити спадкоємність щодо підтримки ділових процесів, орієнтованих на участь підрозділів організаційної структури об'єкту автоматизації;
- гармонійно поєднувати функції ведення основної бази даних із можливостями її мобільного поповнення оперативною інформацією;
- надати користувачам можливості та засоби розширення аналітичного функціоналу СПЗ;
- розширити взаємодію з користувачами інших АІС.

WEB-сервер підтримується за допомогою платформи Unity Base, що забезпечує повний цикл розробки WEB-орієнтованих додатків та можливість інтеграції компонентів.

Зокрема, забезпечується можливість підтримки інформаційної безпеки (ведення користувачів, аутентифікація, аудит тощо).

Сервісні компоненти СПЗ побудовані згідно архітектурного шаблону MVC, виокремлюючи в своєму складі елементи:

- 1) Модель, яка інкапсулює дані та основний функціонал їх обробки (запобігання залежності від процесу введення/виведення);

2) Вигляд – форма подання даних на виході;

3) Контролер – елемент, що забезпечує отримання вхідних даних та їх перетворення на команди для Моделі чи Вигляду.

Додатковою перевагою використання MVC є можливість створення контролерів, які підтримують адміністрування облікового запису користувача.

Важливою особливістю архітектурних рішень щодо WEB-серверу СПЗ є часткове розміщення бізнес-логіки мікросервісних додатків у фронтенді. Разом із доступом до бібліотек JavaScript це надає широкі можливості мікросервісного розвитку функціоналу за безпосередньої участі користувача.

Робота з базою даних підтримується засобами СКБД MS SQL. Сервіси використовують базу даних за допомогою спеціального програмного проширення між ними та засобами СКБД.

Протоколом взаємодії між WEB-сервером та тонкими клієнтами є HTTPS – розширення протоколу HTTP для підтримки шифрування з метою захисту інформації. Він здійснює передачу даних зверху криптографічних прототипів TLS.

Мікросервіси використовують хмарне середовище для реалізації своєї функціональності через програмно визначений віртуальний центр обробки даних. Через WEB API мікросервісів може здійснюватися взаємодія з іншими АІС та WEB-сервером.

Мікросервісна організація СПЗ разом із кластеризацією, що здійснюється за допомогою використання платформи Kubernetes, надає наступні переваги:

- гнучке створення та розгортання додатків;
- можливість організації слабозв'язаних, розподілених, гнучких, виділених мікросервісів;
- підвищення спостережуваності за роботою додатків;
- відокремлення додатків від інфраструктур;
- покращення управління та масштабування потрібних для роботи обчислювальних ресурсів;

– ефективне використання ресурсів: висока продуктивність та компактність.

## **Впровадження та налаштування рамкових ІТ АУД у наукових установах НАН України**

**Пропонований підхід.** Враховуючи складність задачі – організації процесу інформатизації АУД у наукових установах НАН України, запропоновано підхід до її розв'язання, що передбачає три рамкові кроки.

Крок 1. Оприлюднення на корпоративному порталі НАН України ([www.nas.gov.ua](http://www.nas.gov.ua)) або на спеціально створеному Веб-ресурсі інформатизації АУД докладних описів ІТ АУД 1)-7) включно з функціонуючими макетними зразками їх поточної реалізації (на платформі 1С) для ознайомлення з ними всіх зацікавлених сторін.

Крок 2. Розроблення анкети для кількісного оцінювання адекватності ІТ АУД 1)-7) діловим процесам конкретної установи й доцільності їх безпосереднього впровадження або визначення аспектів невідповідності й потреб модифікації ІТ АУД для неї та розсилка анкети відповідальним виконавцям АУД наукових установ для заповнення.

Крок 3. Розгортання системи взаємопов'язаних деліберативних процесів вироблення ефективної стратегії доопрацювання, налаштування й впровадження ІТ АУД на вибраній платформі, уніфікованої й ситуативно налаштованої на особливості окремих установ, у форматі *Позитивно зорієнтованого дослідження* [10-12].

Шаблон анкети має містити три блоки питань в уніфікованому форматі:

а) щодо адекватності складу функціональних можливостей ІТ АУД особливостям АУД установи (зокрема, які ІТ/функції зайві, які необхідні додатково);

б) щодо адекватності інформаційного забезпечення й алгоритмів рамкових ІТ АУД, визнаних адекватними для установи, із зазначенням аспектів неадекватності;

в) щодо функцій, інформаційного забезпечення й алгоритмів додаткових ІТ АУД, специфічних для установи.

Вироблення формулювань питань у блоках та їх апробація – предмет подальших досліджень авторів.

Результати анкетування, розбиті на тісні групи за допомогою технік кластеризації, стають підґрунтям для вироблення Позитивно-стверджувальної теми та складником інформаційного контексту для решти етапів Позитивно зорієнтованого дослідження.

**Позитивно орієнтоване дослідження.** Позитивно орієнтоване дослідження (ПОД), зване також Заохочувальним запитом (Appreciative Inquiry, С.Шриваства, Д.Куперрайдер, Р.Фрай) [10-12] – методологія керування змінами шляхом систематичного, повноаспектного, ситуативно залежного виявлення й використання чинників. Зокрема «найкращих» атрибутів суб'єктів й об'єктів, людино-машинної системи, які разом стало забезпечують «ідеальне майбутнє» – її найвищу ефективність в економічному, екологічному й соціальному аспектах. Вибір саме ПОД для вироблення ефективної стратегії інформатизації АУД наукових установ НАН України замість традиційних методологій керування змінами (наприклад, циклу PDC(S)A Е.Дьомінга, керування за цілями П.Друкера, керування вигодами С.Дженнера тощо) зумовлений обмеженнями останніх, дедалі критичнішими за поточних умов інформатизації:

- реактивною природою – опрацюванням чинників, актуальних «учора»;
- труднощами нового бачення;
- зорієнтованістю на виявлення й опрацювання негативних «проблем» замість позитивних історій успіху й можливостей;
- небажанням (і/або неспроможністю) потенційних агентів змін вирішувати «чужі» проблеми, прагненням «захиститися» від них.

Натомість ПОД реалізує деліберативний процес ставлення структурованих питань й отримання відповідей, які дають змогу стало підвищувати спроможність людино-машинної системи пізнавати, передбачати й посилювати її позитивний потенціал. Методичне підґрунтя ПОД складають принципи, підсумовані в табл.2.

Згідно з окресленими принципами, ПОД виконують у форматі деліберативного процесу за моделлю «1+4 D», поданою на рис. 1 [10, 11].

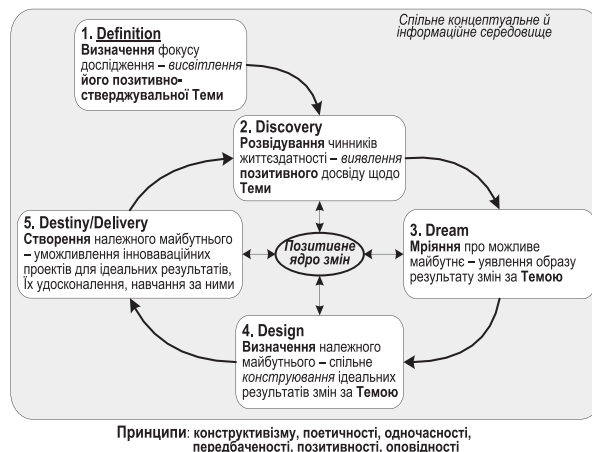


Рис.1. «1+4 D»-модель процесу ПОД

Одноразовий первинний етап *Визначення* (Definition) фокусу дослідження має надати відповідь на питання, «чого людино-машинна система наразі потребує найбільше?», тобто щодо найкращого можливого результату взаємодії потенційних учасників змін і, можливо, залучених фасилітаторів процесу, у форматі 3-5 позитивних формулювань, названих *Позитивно-стверджувальними темами* (Affirmative Topic).

Далі стало повторюється «4 D» цикл з етапами Розвідування (Discovery), Мріяння (Dream), Проєктування (Design) і доленого Створення належного ідеального майбутнього (Destiny/Delivery). Наведені етапи реалізуються в єдиному поповнюваному концептуальному й інформаційному середовищі. Його структуру визначає так зване *Позитивне ядро змін* (Affirmative Core), високорівневими складниками якого є [10]:

- історії успіху, пов'язані з Позитивно-стверджувальними темами;
- описи чинників успіху, вилучені з історій;
- описи контекстів використання чинників – фактичного (в минулому) й передбачуваного (в майбутньому) для здійснення змін.

Таблиця 2.

Принципи ПОД

| Принцип                                        | Теза                                          | Сутність                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Конструктивізму<br>(Constructionist Principle) | Слова створюють світи                         | Реальність, як ми її знаємо, має суб'єктивний та об'єктивний аспект і створюється соціально за допомогою мови та обговорень                                                                                                                                                                                                                                        |
| Одночасності<br>(Principle of Simultaneity)    | Запит створює зміни                           | У той момент, коли ми ставимо запитання, ми починаємо створювати зміни. «Питання, які ми ставимо, доленосні»                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Поетичності<br>(Poetic Principle)              | Можна обирати, що досліджувати                | Команди та організації, як відкриті книги, є нескінченними джерелами вивчення та навчання. Те, що ми вибираємо для вивчення, має значення. Він описує – навіть створює – світ, яким ми його знаємо                                                                                                                                                                 |
| Передбаченості<br>(Anticipatory Principle)     | Образи надихають на дії                       | Людські системи рухаються в напрямку своїх образів майбутнього. Чим позитивнішим і обнадійливішим є образ майбутнього, тим позитивнішими є сьогоднішні дії                                                                                                                                                                                                         |
| Позитивності<br>(Positive Principle)           | Позитивні питання призводять до змін на краще | Імпульс для малих/масштабних змін вимагає значних позитивного впливу й соціальних зв'язків. Його найкраще генерують позитивні питання, які поповнюють позитивне ядро                                                                                                                                                                                               |
| Оповідності<br>(Narrative Principle)           | Історії – мости між минулим і майбутнім       | Історії успіху є каталізатором змін. Слухаючи історії інших, ми встановлюємо зв'язки та вчимося на аналогіях. Прагнемо виявити подібність до власного досвіду, а не шукаємо відмінностей. Минуле, теперішнє й майбутнє – не окремі етапи, а початкові, серединні й завершальні стадії неперервної історії, співавторами якої щодня є члени людино-машинної системи |

### Висновки

У рамках виконання Програми інформатизації НАН України протягом останнього десятиріччя в ІПС НАН України розроблялись і впроваджувались ІТ АУД в рамках типової АІС «Установи» на платформі 1С. Враховуючи запровадження санкцій проти ІТ-компанії «1С», платформа 1С заборонена для застосовування у державних органах влади та інститутах НАН України. Відповідно до цього є необхідність переведення ІТ на іншу платформу, а також іншу концепцію інформатизації ІТ АУД інститутів НАН України. Водночас потрібно:

- 1) уточнити функції та використання ІТ АУД інститутів в рамках пропонованого деліберативного процесу;
- 2) здійснити рефакторинг [12] програмного забезпечення ІТ АУД на вибраній

програмній платформі із застосуванням за потребою елементів реінжинірингу [13];

- 3) побудувати систему функціонування АІС «Установа» для інститутів та АІС Президії НАН України, що мінімізує витрати інститутів на реалізацію та підтримку функціонування їх АІС «Установа».

### Література

1. Загородній А.Г. Впровадження сучасних інформаційних технологій в наукових дослідженнях НАН України / А.Г.Загородній, П.І.Андон, І.А.Процинкевич // Проблеми програмування. – 2017. – №3. – С.3-18.
2. Матвейшин С.М. Комп'ютерна програма «Автоматизація діяльності кадрової служби наукової установи НАН України» («КАДРИ»). Свід. про реєстрацію авт. права на твір №73286 від 11.08.2017. / С.М.Матвейшин, Н.О.Галазюк – Київ: Державний

- департамент інтелектуальної власності МОНУ.
3. Матвейшин С.М. Комп'ютерна програма «Автоматизація науково-організаційної діяльності наукової установи НАН України» («НОД»). Свід. про реєстрацію авт. права на твір №73288 від 11.08.2017 // С.М.Матвейшин, Л.В. Коваль – Київ: Державний департамент інтелектуальної власності МОНУ.
  4. Матвейшин С.М. Комп'ютерна програма «Автоматизація планово-виробничої діяльності наукової установи НАН України» («ФІНЕК»). Свід. про реєстрацію авт. права на твір №73287 від 11.08.2017. / С.М. Матвейшин – Київ: Державний департамент інтелектуальної власності МОНУ.
  5. Галазюк Н.О. Комп'ютерна програма «Автоматизація розрахунків та обліку зарплати у науковій установі НАН України» («ЗАРПЛАТА»). Свід. про реєстрацію авт. права на твір №73285 від 11.08.2017. / Н.О. Галазюк – Київ: Державний департамент інтелектуальної власності МОНУ.
  6. Сироватський Л.А. Комп'ютерна програма «Автоматизація обліку надання послуг з оренди приміщень у науковій установі НАН України» («ОПЕНДА»). Свід. про реєстрацію авт. права на твір №73284 від 11.08.2017 / Л.А.Сироватський – Київ: Державний департамент інтелектуальної власності МОНУ.
  7. Коваль Л.В., Сироватський Л.А. Комп'ютерна програма «Облік та аналіз публікацій наукової установи НАН України» («Публікації»). Свід. про реєстрацію авт. права на твір №90190 від 26.08.2019.
  8. Коваль Л.В., Сироватський Л.А. Комп'ютерна програма «Програмний комплекс обліку матеріальних ресурсів наукової установи НАН України» («Матеріальний облік»). Свід. про реєстрацію авт. права на твір №90191 від 26.06.2019.
  9. Офіційний сайт платформи UnityBase. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://unitybase.info>.
  10. Rothwell W.J. Practicing Organization Development: A guide to leading change and transformation (4th ed.) / W.J. Rothwell, R.L. Sullivan, J.M. Stavros – Wiley, 2015. – 504с.
  11. Lewis S. Appreciative Inquiry for Change Management: Using AI to Facilitate

Organizational Development. (2nd ed.) / S.Lewis, J.Passmore, S.Cantore – Kogan Page, 2016 – 304p.

12. Mens T. A Survey of Software Refactoring / T.Mens, T.Tourwe // IEEE Trans. on software engineering – 2004. – V.30. – N2. – P. 126-139.

### References

1. Zagorodniy A.G., Andon P.I., Protsykevych I.A. Introduction of modern information technologies in scientific research of NAS of Ukraine / A.G.Zagorodniy, P.I.Andon, I.A. Protsykevych – Problems in Programming. – 2017. – №3. – P.3-18.
2. Matveischyn S.M. Computer program «Automation of NAS of Ukraine scientific institute's staff service activity» («Staff»). Certif. for author's copyright state registration N73286 від 11.08.2017 / S.M.Matveischyn, N.O.Galazyuk – Kiev: MESU State department for intellectual property.
3. Matveischyn S.M. Computer program «Automation of NAS of Ukraine scientific institute's scientific-organizational activity» («SOA»). Certif. for author's copyright state registration N73288 від 11.08.2017 / S.M.Matveischyn, L.V.Koval – Kiev: MESU State department for intellectual property.
4. Matveischyn S.M. Computer program «Automation of NAS of Ukraine scientific institute's planning-producing activity» («FINEK»). Certif. for author's copyright state registration N73287 від 11.08.2017. / S.M.Matveischyn – Kiev: MESU State department for intellectual property.
5. Galazyuk N.O. Computer program «Automation of salary computing and accounting within NAS of Ukraine scientific institute» («SALARY»). Certif. for author's copyright state registration N73285 від 11.08.2017 / N.O. Galazyuk – Kiev: MESU State department for intellectual property.
6. Syrovatsky L.A. Computer program «Automation of NAS of Ukraine scientific institute's rent of premises» («RENT»). Certif. for author's copyright state registration N73284 від 11.08.2017 / L.A.Syrovatsky – Kiev: MESU State department for intellectual property.
7. Koval L.V. Computer program «Accounting and analysis of NAS of Ukraine scientific institute's publications» («Publications»). Cer-

- tif. for author's copyright state registration N90190 від 26.68.2019. / L.V.Koval, L.A. Syrovatsky – Kiev: MESU State department for intellectual property.
8. Koval L.V. Computer program «Program complex for NAS of Ukraine scientific institute's material resources accounting» («Material resources»). Certif. for author's copyright state registration N90191 від 26.06.2019. / L.V.Koval, L.A. Syrovatsky – Kiev: MESU State department for intellectual property.
  9. Official site of UnityBase platform. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://unitybase.info>.
  10. Rothwell W.J. Practicing Organization Development: A guide to leading change and transformation (4th ed.) / W.J. Rothwell, R.L. Sullivan, J.M. Stavros – Wiley, 2015. – 504с.
  11. Lewis S. Appreciative Inquiry for Change Management: Using AI to Facilitate Organizational Development. (2nd ed.) / S.Lewis, J.Passmore, S.Cantore – Kogan Page, 2016 – 304р.
  12. Mens T. A Survey of Software Refactoring / T.Mens, T.Tourwe // Обзор рефакторинга програмних систем. IEEE Trans. On software engineering – 2004. – V.30. – N2. – P.126-139.

Одержано: 09.08.2023

### **Про авторів:**

Сініцин Ігорь Петрович,  
старший науковий співробітник,  
Директор Інституту програмних  
систем НАН України  
Кількість публікацій в українських  
виданнях: понад 150;

кількість публікацій в іноземних  
індексованих виданнях: 5;  
індекс Хірша: 6  
ORCID – 0000-0002-4120-0784

Ігнатенко Петро Петрович  
старший науковий співробітник,  
заступник завідувача  
науково-дослідного відділу.  
Кількість публікацій в українських  
виданнях – понад 60;  
кількість публікацій в іноземних  
індексованих виданнях – 0;  
індекс Хірша: 5  
ORCID: – 0000-0002-2204-1554

Федоренко Руслан Миколайович  
завідувач науково-дослідного відділу.  
Кількість наукових публікацій  
в українських виданнях – понад 60;  
кількість наукових публікацій  
в зарубіжних виданнях: 2;  
індекс Хірша: 4  
ORCID: 0000-0001-9433-5458

Житкевич Олександр Болеславович  
головний конструктор  
науково-дослідного відділу

### **Місце роботи авторів:**

Інститут програмних систем  
НАН України,  
03187, Київ-187,  
Проспект Академіка Глушкова, 40.  
Тел.: +38(044) 526 4286.  
e-mail: [ignat@isofts.kiev.ua](mailto:ignat@isofts.kiev.ua)

## METHODS AND SOFTWARE FOR SIGNIFICANT INDICATORS DETERMINATION OF THE NATURAL LANGUAGE TEXTS AUTHOR PROFILE

Methods for the formation and optimization of author profiles are presented. The author profile is an image – a vector in a multidimensional space, which components are author's texts measurements by a number of methods based on 4-grams, stemming, recurrence analysis and formal stochastic grammar. The author's profile is a model of his language, including vocabulary, sentence syntax features. A comparative analysis of each of the methods effectiveness is carried out. By means of the genetic algorithm, a reduced profile of the author is formed. Insignificant indicators are excluded, which allows to reduce their number by 20%. The reduced author's profile contains attributes that are significant for this author and is an effective attribution of a particular author.

Keywords: natural language texts, authorship determination, genetic algorithm, recurrent analysis, statistical analysis, text classification, pattern recognition, formal grammars

### Introduction

Attribution of authorship is the problem of identifying an anonymous text author or a text whose authorship is in doubt [1]. There are many examples in the literature of different countries, when doubts arose in the work authorship and authorship was not reliably established.

To resolve such controversial issues, an analysis of the other authors works is carried out, during which it is required to determine the significant characteristics of the text and the author's style as a whole. Subsequently, the belonging of the text to one or another author's pen will be determined by the closeness of the text under study writing style to one of them. In most cases, such a task of determining the text authorship refers to classification tasks.

There are various subtasks in text classification, and they can be divided into thematic and non-thematic. The traditional classification of texts is based on their subject matter.

However, over the past 20 years, areas of non-thematic classification have also been actively used, for example, in such subtasks as genre classification [2,5], sentiment classification, spam identification, language identification, authorship identification, and plagiarism detection [3].

Many algorithms have been developed to evaluate text authorship. These algorithms rely on the fact that the authors are character-

ized by the linguistic features of their own language at all levels – semantic, syntactic, lexicographic, spelling and morphological [4], which manifest themselves in the writing of texts.

As a rule, these features appear unconsciously in the authors works and thus provide a useful basis for determining authorship. The most common approach to determining authorship is to use stylistic analysis, which takes place in two stages: first, certain style markers are extracted, then, some classification procedures are applied to the resulting model.

These methods are usually based on the calculation of lexical measures representing the author's vocabulary richness and the commonly used words appear frequency [5].

The extraction of style markers is usually done using some form NLP analysis, such as tagging, parsing, and morphological analysis.

However, this standard approach has several drawbacks. First, the methods used to extract style markers are language specific. For example, the English parser is not applicable to texts in German, Ukrainian, or Chinese.

Second, feature selection is not a trivial process and usually involves setting thresholds to exclude non-informative features [6].

These decisions can be extremely subtle because although rare features contribute less signal than common features, they can still have an important cumulative effect [7].

Thirdly, modern authorship attribution systems – determining the author of a text – invariably analyze by words. However, although word-level analysis seems intuitive, it ignores the fact that morphological features can also play an important role, and in addition, many Asian languages such as Chinese and Japanese do not have well-defined word boundaries in text.

When working with a small number of authors and their works, the number of measures for comparison will also be small. However, if the number of authors or classes is much larger, it is necessary to set a limit on the amount of information about the author, i.e. create an author profile that will include only the most informative indicators from a large list of them.

At present, approaches starting with the theory of pattern recognition, mathematical statistics and probability theory, algorithms of neural networks and cluster analysis, and many others are used for text attribution.

This article solves the problem of determining the text authorship various attributions effectiveness – from the set of text attributes obtained by different methods, their subset is distinguished, which is sufficient to identify a specific author of the text. We will consider these subsets as effective attribution of a particular author.

The work is carried out on Ukrainian literary texts and explores the features of speech constructions and sentence construction that are specific to the Ukrainian language.

The allocation of effective attribution of the author is carried out on the basis of experiments with texts of different Ukrainian authors by means of a genetic algorithm.

## Methods

Several methods are used to analyze the texts of different authors, form their profiles, highlight the most significant indicators, and then reduce the data of each profile to reduce the time and computational resources required during the experiment.

Below is a general scheme for highlighting the effective attribution of authors (Fig. 1).

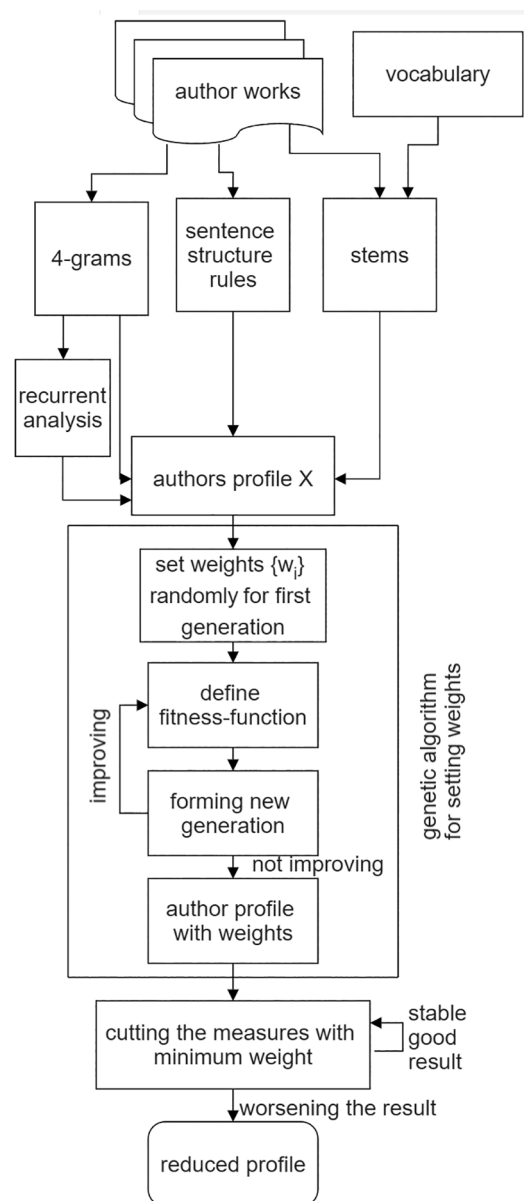


Figure 1 – General experiment scheme

In the selecting weights process for each of the indicators using a genetic algorithm, the following is performed: the initial weight vector  $W_k$  of the first generation is randomly formed, the fitness function is determined, and the best ones are selected with a crossover and mutation to form a new generation  $W'_k$ .

Fitness function  $\sum_{k=1}^{40} \rho(W'_k \cdot X_k)$ , where  $X_k$  – is the profile of the k-th work author,  $W'_k$  – are the measurement weights corresponding to this author,  $\rho$  – is a function that experimentally determines whether the authorship of the k-th work is established correctly.

The last two steps are repeated until the improvement of the function result stops, af-

ter which the process is considered completed, and the weights are determined.

The last step is to reduce the number of indicators.  $x_j$  and  $w_j$  are successively eliminated such that  $w_j = \min_k(w_k)$ . If the result remains the same or slightly deteriorates, the profile reduction continues. As soon as the result begins to deteriorate significantly, the contraction stops and is considered complete.

### Frequency analysis in creating an author profile

Frequency analysis is one of the most common text analysis methods. For many languages and a large number of authors, linguists compiled an author's language frequency dictionary or for the individual author's texts [8, 9]. The basis of such text processing is the calculation of a single character occurrence frequency for a particular text. Based on the data obtained, it can be concluded that each text will be characterized by its own individual frequency structure.

This method is based on the fact that there is a non-standard statistical distribution of characters within the text.

Practical application of this approach can be very different. A large number of works have been devoted to this problem. Also, the problems of frequency analysis occur when the process of decoding is necessary, the necessary set of data selection in large arrays, the analysis of texts that were written in ancient languages, and the conduct of categorization processes. The implementation of frequency analysis can be used in expert systems. At the same time, the frequency component underlines the measure of texts proximity.

The method of text analysis using N-grams is a relatively new method and in most cases is used to search for plagiarism in various text sources [10, 12]. This method also shows the best results in determining the authorship of texts using frequency analysis [12, 13].

In the current work, 4-grams are used due to their greatest efficiency in determining authorship in previous works [12, 13].

Based on the obtained frequencies of 4-grams, a recurrent analysis adapted for working with texts is carried out – a time series is built based on the frequency of occurrence of

each 4-gram in order (advance to the next corresponding element is taken as a unit of time), on the basis of which a recursive diagram is formed. According to the resulting diagram, the following indicators are calculated: for repeating statistically similar symbols, *DIV* – is a value, reverse maximum length of diagonal structures; *ENT* – indicate the frequency distribution of the statistically similar characters repetition, *LAM* – indicates the repetition of statistically similar characters, *TT* – indicates the average frequency of statistically similar characters repetition. [12, 13].

An example of 4-grams from the work “Доля” by T. Shevchenko:

Ти не лукавила зо мною,  
Ти другом, братом і сестрою...

Obtained 4-grams: тине, инел, нелу, елук, лука, укав, кави, авил, вила, илаз, лазо, азом, зомн, омно, мною, ноют, оюти, ютид,...

### Using stems to form an author profile

Stemming is the process of shortening a word to its base by cutting off parts, such as an ending or a suffix. The basic concept of stemming is words with the same stem or root that refer to the same concept.

The results of stemming are sometimes very similar to determining the root of a word, but its algorithms are based on other principles. Therefore, the word after processing by the stemming algorithm may differ from the morphological root of the word. Stemming is used in linguistic morphology and information retrieval [16]. Many search systems use stemming to establish synonymous relationships if they have the same forms after stemming.

Martin Porter's stemming algorithm has become widespread and has become the de facto standard stemming algorithm for the English language.

In this work, Porter's stemmer adapted to the Ukrainian language is also used and studied from its effectiveness point of view for determining authorship [14, 15]. It is used to work directly with the texts of various authors and also to build a various stems frequency profile, specific to each author.

An example of the same passage from the work “Доля” by T. Shevchenko after stemming: т, лукав, мн, друг, брат, сестр.

### Using dictionaries to create author profile

To conduct an experiment in this paper, we studied the effectiveness of using a dictionary. In general, the dictionary was developed on the basis of two approaches. The first, dictionary was the public dictionary the Large Electronic Dictionary of Ukrainian (VESUM) [17]. And the second, one was formed on the basis of Ukrainian text bank, including literacy texts, messages, posts, etc.

Based on it, a complex dictionary was built containing unique word stems, their endings and prefixes. To reduce its size, a preliminary selection of unique endings lists was carried out and only an index from it was assigned to the stem of the word. Maintaining a list of vowel alternations in words is also supported.

To create lists of prefixes for the bases, the formed dictionary was analyzed for the presence of bases that differ only in the presence of a prefix by simple enumeration. As a result, the original dictionary of bases has decreased – all key bases have been assigned the corresponding index from the list of prefixes, and the extra bases with prefixes have been removed.

The advantage of the resulting dictionary is its support for taking into account all word forms for stems, each of them will be assigned a unique index. Thus, all cases, different forms of words, as well as words obtained by adding a prefix, will unmistakably lead to a single stem.

The process of dictionary formation and its form is described in more detail in the previous works of the authors [18].

### Using formal stochastic grammar to model sentence structure

Stochastic grammar is used to create rules that describe the structure of sentences in a text. For each rule, the probability of application in a particular work is determined. The probability of inferring the entire sentence is defined as the probabilities of the speech parts sequences product used in it. The resulting

rules will generate a language characteristic of the processed and structurally similar a certain author works [19].

To describe the structure of the text under study, speech parts are used as a characteristic of the word. Thus, each word in the sentence is replaced by the part of speech that it is. For more information about the structure of sentences and the rules for their construction, characteristic of a particular author, reading not only parts of speech, but also forms, numbers, gender, etc. for the word under study [19].

For each speech part, its occurrence probability in a certain place of the sentence in the given text is calculated. The certain speech part appearance probability in the studied sequence will more accurately capture the each of the authors under study individual writing style characteristic. After receiving the text in the form a speech parts sequences set in sentences with the probability of their occurrence in a particular place, rules are formed. The process is described in more detail in the previous work of the authors [19].

An example of the same passage from the work “Доля” by T. Shevchenko in terms of rules:

$$\sigma \xrightarrow{p^1} \text{pron} A_{1,1}; A_{1,1} \xrightarrow{p^2} \text{part} A_{2,1}; A_{2,1} \xrightarrow{p^3} \text{v} A_{3,1}; \\ A_{3,1} \xrightarrow{p^4} \text{prep} A_{4,1}; A_{4,1} \xrightarrow{p^5} \text{pron} A_{5,1}; \dots$$

where  $\sigma$  – is the initial nonterminal,  $A_{i,j}$  the  $j$ -th nonterminal in the rule of the  $i$ -th level,  $p_i$  – is the probability of applying the corresponding rule when parsing this work.

More details are given in the work of the authors. [12].

### Forming an author profile

To obtain the profile of a specific author, calculations are carried out to determine each of the studied indicators groups for all the works of the author in the training sample. Further, they are all collected in one vector  $X$  – the profile of the author.

For example, when working with 4-grams, based on the obtained indicators, a vector is formed that contains the frequency of each such 4-gram occurrence in the text. To compile the author's profile, such vectors are taken into account for each texts in the train-

ing sample and the average value for each of them is found. A similar procedure is repeated to form vectors based on the remaining groups of indicators.

An example of a vector image of T. Shevchenko based on 4-grams::

$Y' = [\text{АБАЗ, АБАЙ, АБАР, АБАС, АБАТ, АБАУ, АБЕР, АБІК, АБІЛ, АБЛА, АБОГ, АБОТ, АБОЮ, АБОЯ, АБУД, АБУД, АБУЛ, АБУС, АБУТ, АВАБ, АВAB, АВАЛ, ...}]$ .

In total, there are 8748 4-grams used in the text in the vector. And their frequencies:

$X' = [0.0001249, 0.0001565, 0.0001249, 0.0001565, 0.0001249, 0.0001249, 0.0001565, 0.0001565, 0.0001249, 0.0001249, 0.0004998, 0.0001249, 0.0001249, 0.0001249, 0.0004381, 0.0001249, 0.0001249, 0.0001249, 0.0001565, 0.0002499, 0.0001565, 0.0004696, ...]$ .

As can be seen, there are a large number of obtained 4-grams and their frequencies, which is time-consuming and computationally expensive to work with. However, since each author has his own style of writing, different 4-grams may be most informative for different authors. In addition, often the least common letter combinations can be of the greatest importance, as they will be a characteristic feature of the author's language. Thus, the list of received frequencies requires additional analysis of their informativeness and subsequent data reduction to work with only the most significant indicators.

To optimize performance and obtain best result, when working with different indicators in the vectors, a genetic algorithm was applied to determine the weights of each of them in each group.

In this work, on the basis of all the above indicators and further determination of their weight, profiles of the authors were compiled. In total, the author's profile included four main groups according to the methods studied. Each of the groups includes a list of indicators with individual weights for each. Thus, for each author, a list of indicators was determined that most accurately reflect his author's style and allow you to identify similar elements in the texts of the control sample.

An example of a T. Shevchenko profile vector based on stems, created on the basis of

the Large Electronic Dictionary of Ukrainian (VESUM):

$X' = [...\text{а, аа, аб, абатів, абатівськ, абатств, абатськ, абет, абетк, аби, аби-аби, абиде, абиколи, абикуди, аби-но, абискільки, абись, аби-то, абич, ...}]$ .

In total, there are 7239 stems used in the text in the vector. As can be seen from the data obtained, the number of topics for analysis is as large as previous, which will also require subsequent reduction and selection the most informative of them.

Their weights for the profile T. Shevchenko:

$Y' = [...0.91, 0.12, 0.55, 0.08, 0.18, 0.82, 0.9, 0.85, 0.99, 0.89, 0.17, 0.86, 0.38, 0.99, 0.42, 0.58, 0.98, 0.62, 0.43, 0.34, ...]$ .

And working with the rules when creating a profile, all the rules obtained in the process of analyzing the texts in the training sample were collected in a single database, and for each of them was also found a weight. The total number of rules was 6946, the following is an example of a vector with weights for them:

$X' = [...0.35, 0.88, 0.25, 0.44, 0.21, 0.6, 0.41, 1, 0.08, 0.2, 0.72, 0.21, 0.86, 0.49, 0.62, 0.12, 0.54, 0.14, 0.12, 0.24, ...]$ .

The number of rules is somewhat less, but still requires the selection of the most important and informative ones for the correct determination of authorship with the least expenditure of resources.

For a repeat experiment, the profile of each author was reduced for each group of indicators. The indicators with the smallest weights for each of the groups were discarded in order to reduce the time and computing power of the computer.

During the experiment, the authorship of natural language texts was determined by two samples. The sample included works of art due to the presence of the author style characteristic in them and confirmed information about their authorship, which is not subject to doubt.

For the first experiment, 40 texts of fiction by 10 Ukrainian authors were selected in the training sample. The control sample consisted of 60 texts by the same authors.

The works of the following authors are presented: IB – I. Bahrianyi, AV – A. Vyshnia,

MV – M. Vovchok, AD – A. Dovzhenko, HK – H. Kvitka-Osnovianenko, PM – P. Myrnyi, VN – V. Nestaiko, VP – V. Pidmohylnyi, IF – I. Franko, MK – M. Khvylovyyi.

### Attribution results

In working with a control sample, when determining the authorship of a text based on the author's profile, the following results were obtained.

Based on the data presented, working with the author's profile, the number of works with correctly identified authorship in the control sample was 54 works out of 60. The method under study made it possible to determine the authorship of most texts correctly, with some exceptions. While when comparing the profile of the following authors – Bahrianyi, Vovchok, Kvitka-Osnovianenko, Franko and Khvylovyyi – one of the works was not correctly identified and showed a great similarity with the profile of another author in the sample.

During analyzing the result obtained, some similarity of styles in the two works was shown by Bahrianyi and Franko, and it can also be argued that Khvylovyyi's style most often echoes the styles of other authors: in 3 cases out of 6.

Table 1 – Authorship establishing result with the full profiles

| real | defined | real | defined |
|------|---------|------|---------|
| IB   | IB      | MV   | MV      |
| IB   | IB      | MV   | MK      |
| IB   | IB      | MV   | MV      |
| IB   | IB      | AD   | AD      |
| IB   | IB      | AD   | AD      |
| IB   | IF      | AD   | AD      |
| AV   | AV      | AD   | AD      |
| AV   | AV      | AD   | AD      |
| AV   | AV      | AD   | AD      |
| AV   | AV      | HK   | HK      |
| AV   | AV      | HK   | HK      |
| AV   | AV      | HK   | MK      |
| MV   | MV      | HK   | HK      |
| MV   | MV      | HK   | HK      |
| MV   | MV      | HK   | MK      |
| PM   | PM      | VP   | VP      |
| PM   | PM      | VP   | VP      |
| PM   | PM      | VP   | VP      |

|    |    |    |    |
|----|----|----|----|
| PM | PM | IF | IF |
| PM | PM | IF | IF |
| PM | PM | IF | IF |
| VN | VN | IF | IB |
| VN | VN | IF | IF |
| VN | VN | IF | IF |
| VN | VN | MK | MK |
| VN | VN | MK | MK |
| VN | VN | MK | MK |
| VP | VP | MK | MK |
| VP | VP | MK | MK |
| VP | VP | MK | IF |

When excluding from the list of indicators the least significant for each author. Thus, the number of 4-grams in the profile decreased by 1750, stem by 1448 and rules by 1390, which amounted to 20% in each of the classes. When working with optimized vectors, the following results were obtained.

As a result of the experiment with a reduced author profile, the result was 53 works with correctly established authorship out of 60.

### Results and discussion

As a result of the experiment using a genetic algorithm and obtaining the best solution, the following results were obtained: out of 60 texts in the control sample, the authorship of 54 works was established correctly, which amounted to a total 90%.

Table 2 – Authorship establishing result with the reduced profiles

| real | elimi | real | elimin |
|------|-------|------|--------|
| IB   | IB    | MV   | MV     |
| IB   | IB    | MV   | MHK    |
| IB   | IB    | MV   | MV     |
| IB   | IB    | AD   | AD     |
| IB   | IB    | AD   | AD     |
| IB   | IF    | AD   | AD     |
| AV   | AV    | AD   | AD     |
| AV   | AV    | AD   | AD     |
| AV   | AV    | AD   | AD     |
| AV   | AV    | HK   | HK     |
| AV   | AV    | HK   | HK     |
| AV   | AV    | HK   | MKH    |
| MV   | MV    | HK   | HK     |
| MV   | MV    | HK   | HK     |

|    |    |     |     |
|----|----|-----|-----|
| MV | MV | HK  | MKH |
| PM | PM | VP  | VP  |
| PM | PM | VP  | VP  |
| PM | PM | VP  | VP  |
| PM | PM | IF  | IF  |
| PM | PM | IF  | IF  |
| PM | PM | IF  | IF  |
| VN | VN | IF  | IB  |
| VN | VN | IF  | IF  |
| VN | VN | IF  | IF  |
| VN | VN | MKH | MKH |
| VN | VN | MKH | MKH |
| VN | VN | MKH | MKH |
| VP | VP | MKH | MKH |
| VP | VP | MKH | MKH |
| VP | PM | MKH | IF  |

For comparison in previous works and the application of these methods separately, the following results were obtained. The best indicator – 91% coincidence of the texts authorship – was obtained when working with 4-grams. Working with the basics of words using dictionaries and stemming gave a result of 88%.

As you can see, the combination of different approaches and methods did not significantly improve the result, however, it made it possible to take into account additional features of the text due to working with grammars.

Based on the data obtained, the most successful methods of working with text are 4-grams – working with them is average in terms of resources and time, relative to other methods, and gives the best result. As well as work with stochastic grammars, due to the display the features of the phrases and sentences construction by the author, however, this method requires significant computational and time resources.

The result of working with stems and dictionaries shows that they are less informative. Taking into account the high cost of these methods in calculations and time, the methods are the most expensive and the least informative among all those used.

With the exception of the least significant indicators and, as a result, a reduction in their number, the result obtained was 52 works with correctly established authorship, which is

a good result – 87% the accuracy of the definition.

This approach made it possible to significantly reduce the complexity and time of calculation, while the result did not decrease significantly.

## Conclusions

In the work, various approaches were explored for the formation of the general author profile: work with 4-grams, stems, recurrent analysis and sentence structure formalized by means of a formal stochastic grammar.

This approach made it possible to obtain an effective profile of the author, taking into account the various features of his personal language, from the use of individual words to the peculiarities of constructing sentences. The results obtained demonstrate the effectiveness of an integrated approach that provides better results compared to approaches that take into account individual aspects of the author's style.

## References

1. H. Love. 2002. *Attributing Authorship: An Introduction*. Cambridge University Press.
2. Aidan Finn and Nicholas Kushmerick. 2003. Learning to classify documents according to genre. In *IJCAI-03 Workshop on Computational Approaches to Style Analysis and Synthesis*.
3. D. Khmelev and W. Teahan. 2003. A repetition based measure for verification of text collections and for text categorization. In *SIGIR'2003*, Toronto, Canada.
4. M. Ephratt. 1997. Authorship attribution – the case of lexical innovations. In *Proc. ACHALLC-97*.
5. E. Stamatos, N. Fakotakis, and G. Kokkinakis. 2001. Computer-based authorship attribution without lexical measures. *Computers and the Humanities*, 35:193–214.
6. S. Scott and S. Matwin. 1999. Feature engineering for text classification. In *Proceedings ICML-99*.
7. A. Aizawa. 2001. Linguistic techniques to improve the performance of automatic text categorization. In *Proceedings 6th NLP Pac. Rim Symp. NLPRS-01*.
8. Darchuk N. 2023. Automatic frequency dictionary of connectivity by Lina Kostenko and Mykola Vingranovskyi. *Linguistic and concep-*

- tual pictures of the world, 73 (1), 10.17721/2520-6397.2023.1.01.
9. Danyliuk, I., Zagnitko, A. and Sytar, G., 2019. Text corpus of Yury Shevelyov: structure, functions, navigation. *APPLIED LINGUISTICS. LINGUISTICS*. 10.18523/1p.2522-9281.2019.5.158-169.
  10. Kuzma, K.T., 2020. Information technology for estimating the level of similarity of strings based on the N-gram method. *Academic notes of TNU named after V.I. Vernadskyi. Series: technical sciences*. 31 (7), p. 96-98. 10.32838/TNU-2663-5941/2020.6-1/16.
  11. H. Gómez-Adorno, J.P. Posadas-Durán, G. Sidorov, Document embeddings learned on various types of n-grams for cross-topic authorship attribution. *Computing* 100 (2018) 741–756. doi: 10.1007/s00607-018-0587-8.
  12. V.I. Shynkarenko, I.M. Demidovich Determination of the attributes of authorship of natural texts. *Artificial Intelligence* 3 (2018) 27-35.
  13. V.I. Shynkarenko, I.M. Demidovich Authorship Determination of Natural Language Texts by Several Classes of Indicators with Customizable Weights, in: *Proceedings of the 5th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS 2021)*. Volume I: Main Conference. Lviv, Ukraine, April 22-23, 2021, pp. 832-844.
  14. T. V. Golub, M. Yu. Tyagunova, Method of steaming Ukrainian-language texts for classification of documents based on Porter's algorithm. *Scientific works of Donetsk National Technical University. Series: Informatics, cybernetics and computer engineering* No. 1(24) (2017) 59–63.
  15. Dukhnovska KK, Strashok YaA, Shilo PV. Information technology for performing lemmatization and stemming in Ukrainian-language texts. *Applied systems and technologies in the information society*. Pp.. 119-127.
  16. S. Memon, K. Memon, F. Dehraj and others. 2020. Comparative Study of Truncating and Statistical Stemming Algorithms. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*.
  17. Great electronic dictionary of the Ukrainian language (VESUM). URL: [https://github.com/brown-uk/dict\\_uk](https://github.com/brown-uk/dict_uk).
  18. I. Demidovich, V. Shynkarenko, O. Kuropiatnyk, O. Kirichenko, Processing Words Effectiveness Analysis in Solving the Natural Language Texts Authorship Determination Task, XVI International Scientific and Technical Conference (CSIT'2021). September 22-25, 2021, Lviv, Ukraine.
  19. V. I. Shynkarenko, I. M. Demidovich Natural Language Texts Authorship Establishing Based on the Sentences Structure, in: *Proceedings of the 6th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS 2022)*, Volume I: Main Conference, Gliwice, Poland, May 22- 23, 2022, pp. 328-337

Received: 07.09.2023

#### About the authors:

Viktor Shynkarenko,  
Doctor of Science, Professor,  
Number of scientific publications  
in Ukrainian publications – more than 200  
Number of scientific publications  
in foreign publications – more than 30  
Index Girsh – 6  
<https://orcid.org/0000-0001-8738-7225>  
Scopus Author ID: 26635896100

Inna Demydovych,  
PhD student,  
Number of scientific publications  
in Ukrainian publications – 4  
Number of scientific publications  
in foreign publications – 1  
Index Girsh – 2  
<https://orcid.org/0000-0002-3644-184X>  
Scopus Author ID: 57224201949

#### Place of work:

Ukrainian State University  
of Science and Technologies,  
49010, Ukraine, Dnipro, str. Lazaryana, 2  
E-mail: [office@ust.edu.ua](mailto:office@ust.edu.ua)

## MODULE-BASED SCIENTIFIC PHYSICS ENGINE ARCHITECTURE

The ever-evolving landscape of digital simulations demands innovative frameworks to achieve both realism and efficiency. The research highlights the issues of modern software architecture for physics simulation. The new architecture was developed to mitigate scalability and flexibility issues. The essence of the proposed architecture resides in the convergence of three pivotal concepts: the modular physics engine, the physics pipeline, and the Entity Component System (ECS) pattern. The modular physics engine represents a paradigm shift in simulation design. Compartmentalizing functionalities into modules, this approach fosters flexibility and reusability, enabling efficient construction of specialized simulations. The physics pipeline orchestrates simulations through structured stages, analogous to graphics pipelines. It guides dynamic forces, collisions, and interactions, optimizing resource use and integrating custom systems for accuracy. Complementing these, the ECS pattern decouples data and behavior, facilitating the construction of user defined physical pipeline comprised of loosely coupled modules. Combined with the modular physics engine and physics pipeline, ECS forms a comprehensive approach for complex physics simulations.

Keywords: Computer Simulation, Software Architecture, Physics Engine, Physics Pipeline.

### Introduction

Physics simulation plays a pivotal role in advancing scientific understanding and exploration across various disciplines. Its significance extends beyond mere computational modeling, as it enables researchers to delve into complex physical phenomena, unveiling insights that would otherwise remain hidden. Many natural systems are characterized by complex interdependencies and behaviors that are challenging to comprehend through traditional analytical methods alone. Physics simulations allow scientists to model these systems, providing a platform to observe emergent properties, intricate dynamics, and phenomena that may be challenging to observe directly in the real world.

Simulations offer a controlled environment where scientists can rigorously test hypotheses and validate theories. By accurately reproducing experimental conditions, simulations enable researchers to explore the outcomes of diverse scenarios, aiding in the confirmation or refinement of theoretical frameworks. Furthermore, certain physical phenomena that manifest in extreme environments, such as outer space or subatomic scales, are inaccessible for direct observation. Physics simulations offer a virtual laboratory

to study these conditions, enabling the investigation of phenomena beyond the limitations of current technology.

The main problem of modern physics engines is the solidity of the system they provide. In most cases, the user cannot manipulate parts of the engine. There are cases when the user would benefit from turning on and off some parts of the simulation pipeline, available in several engines. Still, none of the popular engines allow to change simulation stages or implement a substitute for them [1].

In some cases, only rigid body simulation is needed, which allows the user to remove every other part of the engine, effectively reducing any additional computational or memory cost generated by unnecessary stages [2]. A more complex simulation is needed in other cases, but only for one specific simulation part. For example, the fluid simulation may be implemented 'outside' the engine, still reusing all other stages.

### 1. Physics model architecture overview

Physics simulation works by employing mathematical models and computational techniques to replicate the behavior of real-world

physical systems in a virtual environment. The process involves several key steps that collectively simulate the dynamics, interactions, and behaviors of objects based on fundamental physical principles.

The first step involves creating a mathematical representation of the physical system to be simulated. This includes defining the objects, their properties (such as mass, size, and material properties), and the forces or interactions that affect them. Central to the simulation are the equations of motion, encapsulating the manner in which objects behave. These equations, often built on well-established principles like Newton's second law of motion (), delineate how forces induce changes in an object's acceleration, velocity, and position over time. Numerical integration comes into play next. Equations of motion are numerically integrated over small time intervals, enabling projections of an object's future position and velocity. Diverse numerical integration techniques, including Euler integration, Runge-Kutta methods, and Verlet integration, facilitate these predictions.

Crucial in the simulation is collision detection. Algorithms are deployed to discern instances where objects intersect or closely approach one another. This insight underpins the subsequent calculation of collision effects and assures the accuracy of the simulation. Upon collision, algorithms ascertain alterations in velocity, direction, and deformation for objects involved. This computation considers factors such as elasticity, mass, and impact velocity. The presence of various forces, like gravity, friction, and springs, necessitates force calculation. These forces are determined based on object attributes and their interactions with both other objects and the environment.

Progressing in discrete time steps is intrinsic to the simulation process. Each step entails solving equations of motion to predict the new state of objects at the forthcoming time increment. The choice of time step magnitude strikes a balance between simulation accuracy and computational demands. In intricate simulations, multiple iterations often occur within each time step. Rigid body simulations, for instance, might require iterations to resolve

contact forces and constraints. The simulation operates as a perpetual feedback loop, continuously updating object states through calculated forces, collisions, and interactions. With each iteration, the simulation advances incrementally, painting an evolving picture of dynamic behavior.

In the end, the outcomes of the simulation can be observed either in real-time visualization or through subsequent post-processing, generating visual depictions of object movement, interactions, and intricate dynamic phenomena.

The proposed architecture of the Physics Engine allows users to create their simulation stages and construct an engine that suits the needs of developer or scientist the best. Figure 1 represents the structure of the proposed Physics Engine.

The main structural elements of Physics Engine are Physics Models, which represent the world with all entities in it, and rules of physics simulation created by the combination of simulation stages. The modular architectural design has been further developed to address the shortcomings found in widely adopted layered and Service-Oriented Architecture (SOA) frameworks. By incorporating a more refined level of granularity and emphasizing the division of services, these architectural approaches have effectively facilitated the creation and enhancement of intricate software systems that might have otherwise posed significant challenges during design and development. The use of it might provide such benefits as scalability, extensibility by third-party, and reusability and lead to the overall reduction of core application size [3].

The Entity Component System (ECS) pattern aligns seamlessly with the idea of encapsulating specific functionalities within individual modules. Instead of conventional tightly-coupled module interdependencies, ECS promotes the separation of concerns. This separation is achieved through the entity-based structure, where components encapsulate specific attributes and behaviors while systems orchestrate the behavior of entities possessing certain combinations of components [4].

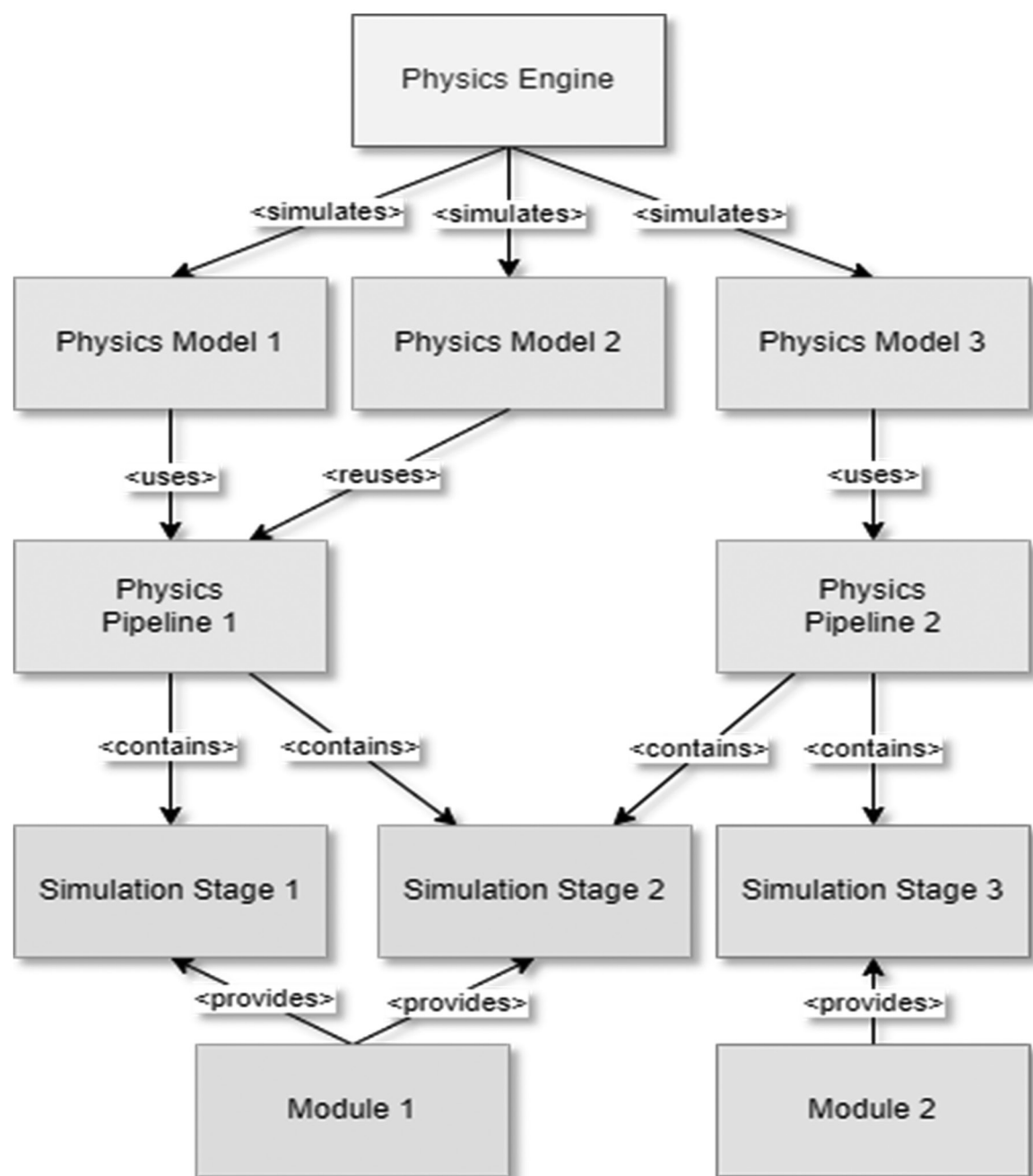


Fig. 1. Structure diagram of the proposed Physics Engine

In the ECS-based simulation environment, entities take center stage as the fundamental building blocks that compose the simulated environment. Each entity represents an object or element within the world. By adopting this entity-centric perspective, the world is broken down into discrete entities, allowing for a more modular and intuitive representation.

Components, another essential aspect of ECS, define the attributes and behaviors of these entities. In the context of world defini-

tion, components encapsulate various aspects of an entity's identity and behavior. Properties such as position, orientation, mass, and collision characteristics are captured within components. This separation of data from behavior enhances clarity, maintainability, and the ability to adapt the simulation to different scenarios.

The systems in ECS orchestrate the interaction and behavior of entities based on their components. These systems are responsible for processing specific aspects of the simu-

lation, such as physics calculations or collision detection. They ensure that entities with certain combinations of components interact in a meaningful and realistic manner, shaping the dynamics of the simulated world.

### 1.1 Physics module

The Physics Module represents a dynamic and extensible class library, capable of being loaded at runtime to enrich the functionality and configurability of the Physics Model. This innovative approach offers a powerful way to introduce new components and stages seamlessly without modifying the core simulation code. The module acts as a repository of reflection data [5], storing crucial information about the various components and simulation stages essential for configuring the Physics Model.

With the ability to load the Physics Module dynamically, researchers and developers can introduce custom components and stages tailored to specific physics simulation requirements. These components may include specialized collision detection algorithms, advanced material properties, or sophisticated force fields that address unique scenarios not covered by the default simulation setup. Similarly, the stages within the module can extend the simulation pipeline, introducing additional data processing steps that are required for diverse use cases.

Moreover, the reflection data stored within the Physics Module provides a comprehensive overview of the available components and stages, making it easier for developers to query and configure the simulation programmatically. The module acts as a knowledge repository, allowing developers to discover available options, examine their properties, and dynamically assemble the Physics Model to suit specific simulation scenarios.

### 1.2 Physics model simulation update

As there is no simple way of continuous simulation of a physics system, the simulation process is divided into small time steps with fixed  $\Delta t$ . The update flow of the model is defined by a physics pipeline that configures the order of execution for each computation stage (Fig.2).

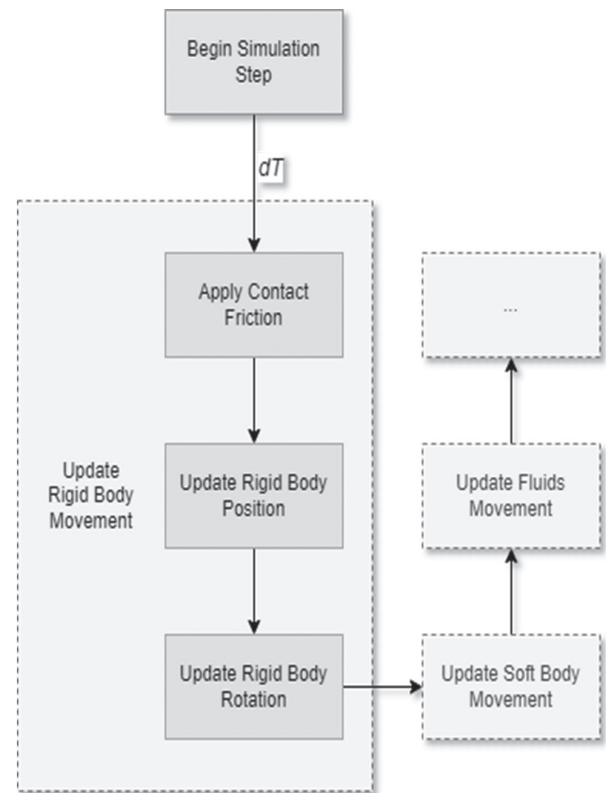


Fig. 2. Diagram of Physics Processing Pipeline

Termed the ‘Physics Pipeline’, this alternative approach integrates physics simulation seamlessly into the computational framework, aligning it with the stages traditionally found in the graphics pipeline [6]. While the graphics pipeline focuses on rendering visual elements, the Physics Pipeline extends this concept to encompass the simulation of dynamic forces, collisions, and other physical phenomena that unfold over time. The pipeline has a fixed entry point that determines the start of the simulation step. Other stages are chained to the entry point. Each stage computes and updates the physical properties of an entity. Stages are processing the entire set of all entities based on the components that they contain. For example, the “update of rigid body position” stage will only update entities with attached rigid body components.

Extending the concept further, the utilization of physical pipelines introduces a profound level of efficiency and resourcefulness by enabling their preservation and subsequent application across various Physics Models. By encapsulating a specific set of simulation

stages, configurations, and behaviors within a pipeline, developers can effortlessly transport this blueprint from one simulation context to another. This affords a consistent and systematic means of orchestrating simulations, irrespective of the specific model being employed. This flexibility proves especially impactful when dealing with comparable or interconnected physics phenomena across diverse contexts. Consider scenarios in which the fundamental principles dictating motion, interactions, and dynamics remain consistent, while the simulation setting or parameters undergo adjustments. In such instances, the ability to employ a well-established and refined physical pipeline for various purposes significantly speeds up the development process, reduces unnecessary repetition, and maintains a coherent framework for simulations.

Accelerating the physics pipeline is a crucial endeavor to enhance the efficiency and performance of simulations. This can be achieved through a series of strategic optimizations and advancements that target different stages of the pipeline.

Utilizing a uniform and contiguous collection of components holds the potential to yield significant advantages, greatly enhancing cache locality and reducing memory access times. By organizing components within a contiguous layout, the memory footprint aligns more closely with the access patterns of the processing units. This coherence allows for more efficient data retrieval, reducing the need for costly memory fetch operations. As a result, cache hits become more frequent, optimizing the utilization of high-speed cache memory and diminishing the latency associated with memory access. The resulting reduction in memory access times and enhanced cache locality synergistically contribute to an overall enhancement in computational efficiency.

Furthermore, the utilization of parallel computing architectures, particularly multi-core CPUs, emerges as a formidable technique to accelerate the execution of physics computations. By proficiently distributing computational responsibilities across numerous processing units, simulations are poised to achieve substantial enhancements in speed and responsiveness. Introducing asynchro-

nous processing allows independent stages of the physics pipeline to run concurrently. For example, collision detection can be performed in parallel with constraint solving, minimizing idle time and optimizing resource utilization.

Notably, the synergistic integration of spatial partition algorithms with parallelization yields an even greater leap in acceleration. Through the implementation of spatial partitioning techniques, such as octrees or grids, the computational load associated with collision detection and interaction calculations can be significantly alleviated. By excluding entities situated far apart in space from collision evaluations, unnecessary computations are circumvented, yielding a marked enhancement in overall performance.

## 2. Results

Proposed architecture of the physics engine allows users to configure their simulation more flexibly due to the following principles:

- **Incorporation of Additional Processing Stages.** Even in cases where certain features may not be inherently present in the default implementation, the modular nature of the approach permits the incorporation of such features as separate libraries that can be linked and utilized at runtime.

- **Selective Removal of Unnecessary Stages.** In the context of prototype models aiming to substantiate hypotheses, streamlined calculations might suffice. The modular setup ensures that users are only charged for the components they employ.

- **Dynamic Replacement of Existing Stages.** In scenarios demanding more intricate computational methodologies, the capability to replace pre-existing processing stages proves to be remarkably advantageous.

The adoption of the ECS pattern introduces novel prospects for extending entity attributes, a prospect that was previously constrained by the rigid definitions of simulated objects.

The following sections describe the new approaches of using physical engine, which become possible due to new architectural design.

## 2.1 Fully customized physics model

With the architecture detailed in this article, the concept of constructing custom simulation pipelines becomes an achievable and empowering prospect. This dynamic architecture embraces the utilization of separate simulation systems, allowing for the precise tailoring of pipelines to match the specific requirements of the Physics Model (Fig.3).

One of the important advantages of this approach lies in its flexibility. By incorporating separate simulation systems, developers gain the ability to create simulation pipelines that are finely tuned to their intended purposes. This means that components of the simulation that are not directly relevant to the current Physics Model can be selectively excluded from the pipeline. This granularity enhances performance by reducing unnecessary computations and optimizing the simulation for efficiency.

Moreover, the modularity inherent in this architecture empowers developers to effortlessly experiment with different combinations of simulation systems. This experimental

tion can lead to the discovery of optimal pipeline configurations that produce accurate and efficient results. It also simplifies the process of incorporating new simulation systems or improving existing ones, as modifications can be made to individual systems without disrupting the entire pipeline.

Custom simulation pipelines crafted using this architecture can be thought of as carefully assembled toolsets. Each system within the pipeline represents a specialized tool designed to address a particular aspect of the simulation. This modularity and adaptability ensure that the simulation remains versatile, accommodating a wide range of scenarios and use cases. Furthermore, this approach aligns seamlessly with the notion of data-driven design. Each simulation system processes data in a data-oriented manner, promoting efficient memory access patterns and enhancing overall performance. The data-driven nature of the architecture also enables better parallelization, harnessing the full potential of modern multi-core processors.

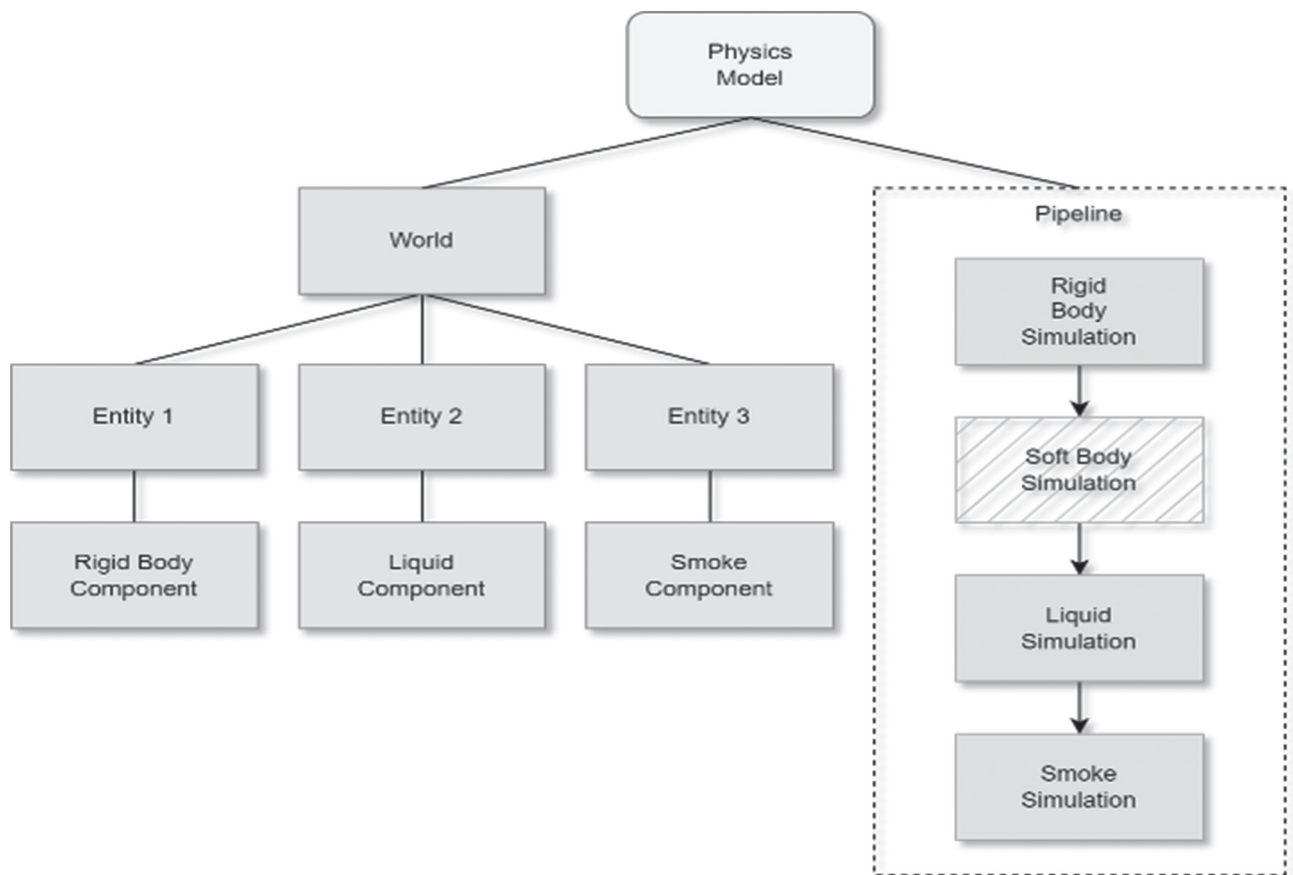


Fig. 3. Diagram of fully customized Physics Model

2.2 Partial physics model override

The framework described in this article provides a means to enhance existing physics engines by employing separate custom simulation systems [7]. As an example, it allows us to modify or extend certain aspects of the physics simulation within well-established engines to better suit our needs.

To illustrate, consider physics engines like PhysX, which come with their own built-in capabilities for simulating rigid bodies and fluids. By implementing the ideas from this framework, we can potentially replace or enhance these default simulations using dedicated custom simulation systems. This means that instead of solely relying on the pre-existing rigid body and fluid simulations within PhysX, we have the option to integrate our custom systems that might offer improved performance or more precise results, depending on the context.

To put this into action, we would create wrapper classes that encompass the existing physics engines. These wrappers manage

the core operations of the engine while allowing for the seamless integration of our custom simulation systems. Additionally, each engine could incorporate a component that handles different types of simulations, excluding those that we plan to customize (Fig.4).

In practice, when a simulation event occurs, the customized engine takes precedence. If there is a need to adjust a specific simulation, the related entity is directed to the custom engine's simulation process. After that, the entity is then passed to the custom simulation system that we have designed for the targeted enhancements.

This approach ensures a cohesive and integrated simulation process. By blending the strengths of the native engine with the adaptability of our custom systems, we can fine-tune or expand specific simulation behaviors to better align with specific requirements. This framework effectively offers a way to bridge the capabilities of established engines and the flexibility of custom systems to create physics simulations that are more tailored and versatile.

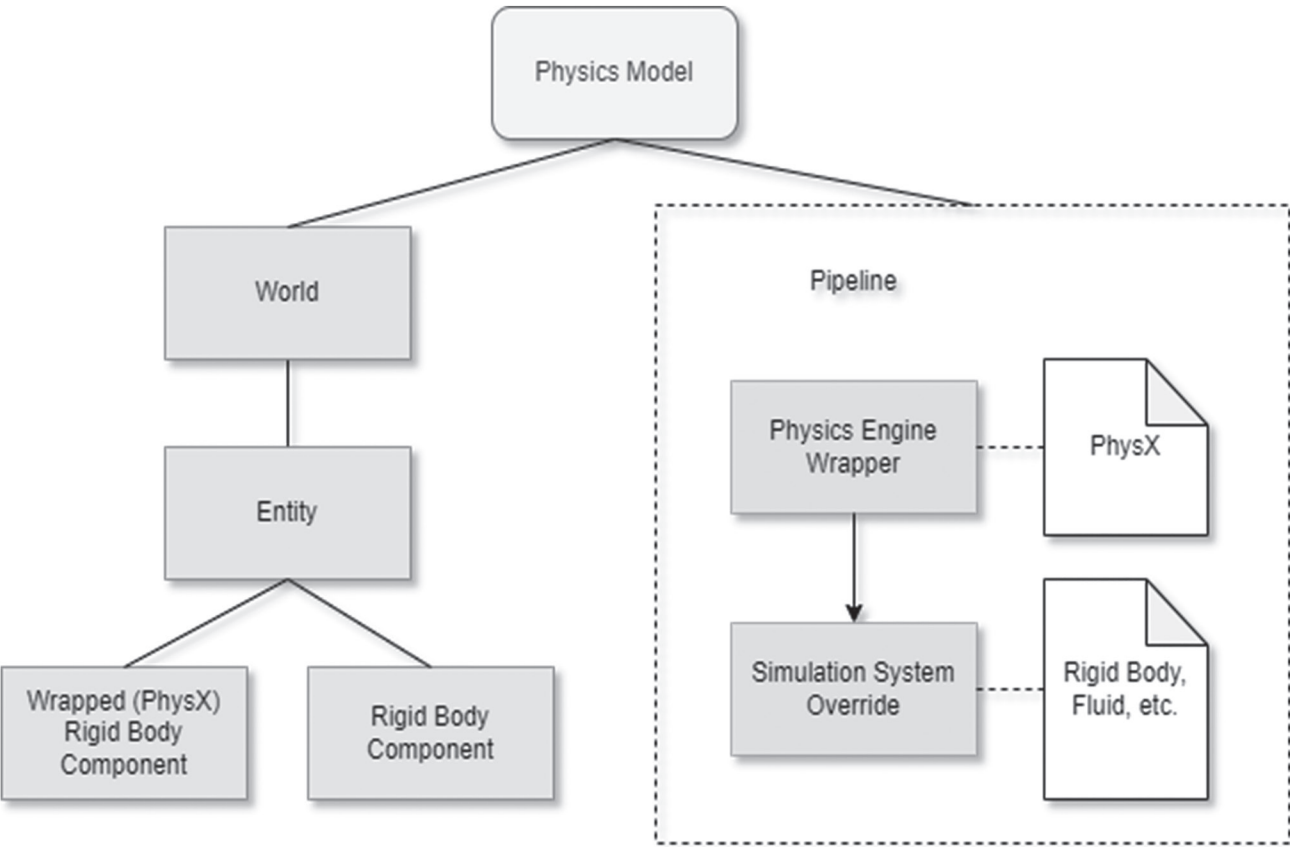


Fig. 4. Example of overriding Rigid Body and Fluid Simulation for PhysX

### 2.3 Selective physics model

The concept of allowing diverse systems to perform identical simulations for distinct Entities while employing varying computational methods introduces a realm of intriguing trade-offs between precision and performance. This innovative approach acknowledges that achieving the highest level of precision might involve computationally intensive methods, whereas opting for more efficient techniques could involve a certain level of approximation.

For instance, consider a scenario where a range of Entities exists within a virtual environment, each with unique attributes and behavior characteristics. This approach allows for a deliberate selection of simulation methods based on the specific requirements of each Entity. Some Entities might seamlessly integrate with Components from Rigid Body Simulation System 1, which is renowned for its computational precision but may entail higher computational costs. In contrast, other Entities could

opt for Components from Rigid Body Simulation System 2, leveraging its more efficient methods, albeit with a slight compromise on precision (Fig.5).

This adaptive strategy offers a nuanced balance that developers can leverage to optimize their simulations based on the intricacies of the Entities involved. Entities with complex physical behaviors that necessitate accurate results might benefit from the more precise simulation approach. Meanwhile, Entities with less intricate interactions could benefit from the computational efficiency of an alternative method.

### 3. Related works

The landscape of physics simulation and computational modeling has seen a plethora of notable contributions that have enriched our understanding of complex physical phenomena. This section provides an overview of pertinent works that have significantly impacted the field, highlighting their methodologies and insights.

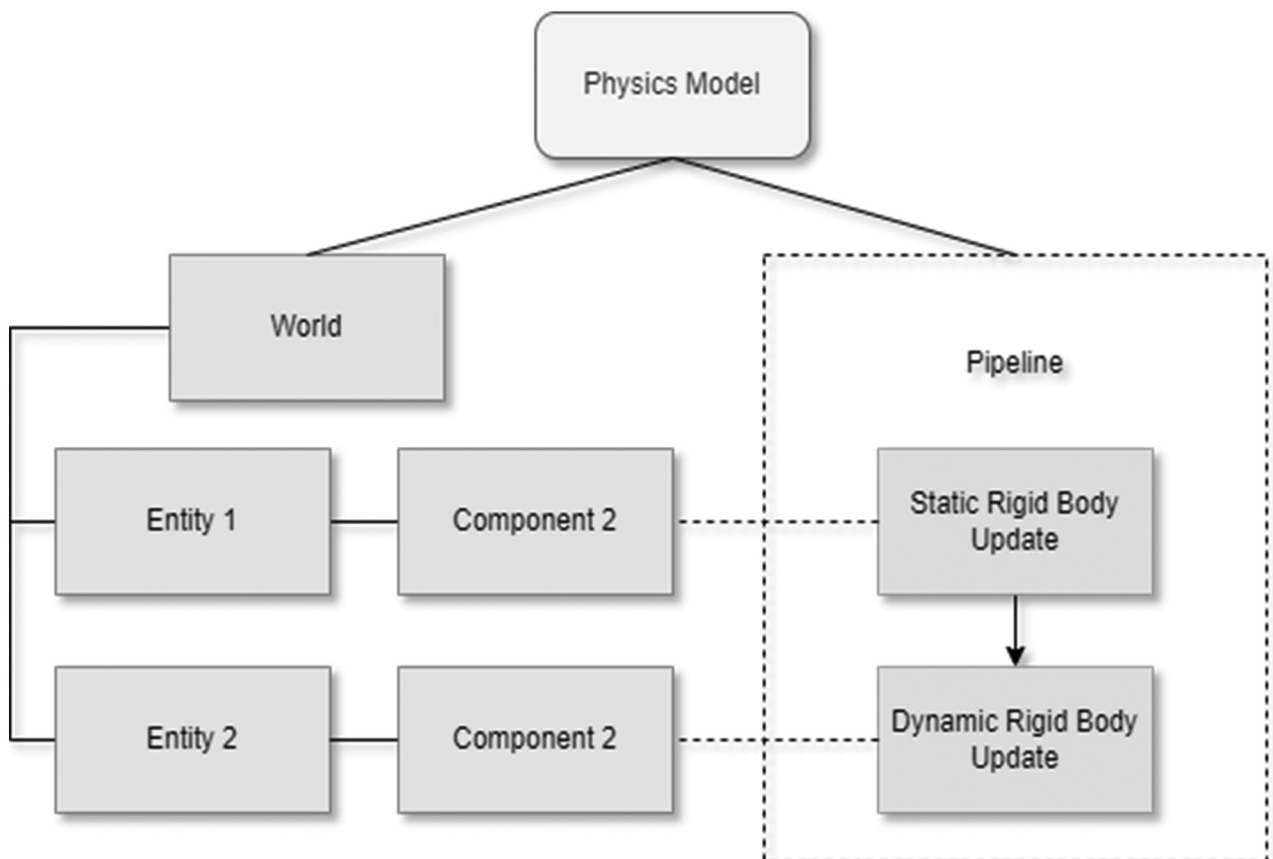


Fig. 5. Example of selective Rigid Body Simulation

Prominent physics engines have demonstrated innovative approaches to simulation. The Bullet Physics Engine [8] stands out for its robust collision detection and rigid body dynamics capabilities, establishing it as a standard choice across various applications. The NVIDIA PhysX engine [9] has gained recognition for real-time physics simulations and GPU acceleration, empowering interactive simulations in gaming and virtual environments.

The Entity Component System architecture has revolutionized entity management in simulations. The Artemis Framework [10] showcased ECS benefits in game development, facilitating efficient entity composition and behavior control. The EnTT library [11] furthered this trend by offering a high-performance ECS solution with a focus on usability and extensibility.

Exploring physics laws-centric perspectives, the xPheve physics engine [12] prioritizing a faithful replication of natural physics laws. This distinctive approach aims to achieve simulations with heightened authenticity, aligning more closely with real-world phenomena. While the xPheve approach aims to achieve authenticity through physics laws replication, it might face performance trade-offs due to the potentially computationally intensive nature of directly simulating complex physics equations. Achieving a high level of precision might require significant computational resources, potentially impacting real-time simulations. Computational-centric approaches often allow developers to optimize and fine-tune simulations for specific use cases. The xPheve approach, focused on physics laws, might provide less control over optimizing performance for specific scenarios, potentially leading to suboptimal outcomes in certain situations.

### Conclusions

In conclusion, the Physical Module is a valuable addition to the physics simulation toolkit, providing a flexible, scalable, and dynamic means of expanding the functionality and configurability of the Physical Model. By loading the module at runtime and leveraging its reflection data, develop-

ers can introduce custom components and stages, ensuring that the simulation system remains adaptable, innovative, and on the cutting edge of scientific and technological advancements.

The Entity Component System pattern revolutionizes how the world is defined in a physics simulation. Through entities, components, and systems, ECS offers a structured and efficient framework for capturing the essence of the simulated environment. This data-driven approach enhances the realism, adaptability, and complexity of the simulated world, making ECS an indispensable tool for constructing sophisticated and immersive physics simulations. Components play a vital role in the functioning of physics simulation modules by providing essential data representation, promoting modularity, enabling decoupling of logic, facilitating customization and extensibility, supporting efficient data processing, and fostering a component-based architecture. By leveraging components effectively, physics simulation modules can achieve high performance, flexibility, and maintainability, making them essential tools for exploring and understanding complex physical phenomena in diverse research and application domains.

Following the course set by the article, the future steps in the research is to investigate the practical application of this architecture in different contexts, which could unveil challenges and the innovative solutions devised to overcome them would offer valuable practical wisdom. Furthermore, examining potential limitations and trade-offs associated with this architecture is essential for a well-rounded discussion. This might encompass considerations related to computational overhead, memory management, and the intricacies of coordinating modular components within a dynamic system. As this architecture benefits from modularity, fostering an open-source community for collaborative development could be instrumental. Future research might focus on creating platforms that facilitate sharing components, best practices, and continuous improvement.

## References

1. Bernatovych, A., Stetsenko, I. (2023) Methods and software of physical simulation. *Adaptive Systems of Automatic Control* 42(1), pp. 130-40. doi: 10.20535/1560-8956.42.2023.279104 (In Ukrainian).
2. Longshaw, S., Turner, M., Finch, E., Gawthorpe, R. (2010) 'Analysing the use of Real-time Physics Engines for Scientific Simulation: Exploring the Theoretical and Practical Benefits for Discrete Element Modelling', *ACME 2010 Proceedings of the 18th Annual Conference Annual Conference of the Association of Computational Mechanics in Engineering*, Southampton, Association of Computational Mechanics in Engineering, 29-31 March 2010. pp. 199-202. doi: 10.13140/2.1.3212.7048.
3. Mbugua, S. T., Korongo, J. and Mbuguah, S. (2022) On Software Modular Architecture: Concepts, Metrics and Trends. *International Journal of Computer & Organization Trends* 12(1), 3-10. doi: 10.14445/22492593/IJCTT-V12I1P302.
4. Wiebusch, D., Latoschik, M. E. 'Decoupling the entity-component-system pattern using semantic traits for reusable realtime interactive systems', *2015 IEEE 8th Workshop on Software Engineering and Architectures for Realtime Interactive Systems (SEARIS)*, Arles, France, 2015, pp. 25-32, doi: 10.1109/SEARIS.2015.7854098.
5. Smith, B. C. (1982) *Procedural reflection in programming languages*. Thesis (Ph.D.). Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Electrical Engineering and Computer Science.
6. Liu, F., et al. (2009) 'CUDA renderer: A programmable graphics pipeline', *ACM SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques in Asia*. 16-19 December 2009. doi: 10.1145/1667146.1667189.
7. Zheng, Z., et al. (2020) Hybrid Framework for Simulating Building Collapse and Ruin Scenarios Using Finite Element Method and Physics Engine. *Applied Sciences* 10(12):4408.
8. He, H., et al. (2019). 'Simulation of Realistic Particles with Bullet Physics Engine', *E3S Web of Conferences*, 92, 14004. doi: 10.1051/e3s-conf/20199214004.
9. NVIDIA.developer. PhysX. Available at <https://developer.nvidia.com/physx-sdk> (Accessed 19 August 2023).
10. Artemis Framework. Available at <https://github.com/bsimser/artemis-framework> (Accessed 19 August 2023).
11. EnTT. Available at <https://github.com/skypjack/entt> (Accessed 19 August 2023)
12. Nourian, S., et al. (2006) 'XPHEVE: An Extensible Physics Engine for Virtual Environments', *2006 Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, Ottawa, ON, Canada, 2006, pp. 1546-1549, doi: 10.1109/CCECE.2006.277848.

Одержано: 17.08.2023

## Про авторів:

Бернатович Анатолій Олександрович,  
аспірант Національного Технічного  
Університету України  
«КПІ імені Ігоря Сікорського».  
Кількість наукових публікацій  
в українських виданнях – 2.  
<https://orcid.org/0000-0002-8403-6363>

Стеценко Інна Вячеславівна,  
доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри інформатики  
та програмної інженерії НТУУ  
«КПІ імені Ігоря Сікорського».  
Кількість наукових публікацій  
в українських виданнях – понад 130.  
Кількість наукових публікацій  
в зарубіжних виданнях – 15.  
Індекс Гірша – 12.  
<http://orcid.org/0000-0002-4601-0058>

## Місце роботи:

Національний технічний університет  
України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського»,  
03056, м. Київ,  
проспект Берестейський 37.  
Тел.: (044) 236-9651  
e-mail: [abern.kpi@gmail.com](mailto:abern.kpi@gmail.com),  
[stiv.inna@gmail.com](mailto:stiv.inna@gmail.com)

## СТВОРЕННЯ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА В МЕТЕОПРОГНОЗУВАННІ ДЛЯ РОЗУМНОГО МІСТА НА МОБІЛЬНІЙ ПЛАТФОРМІ

В статті використано підхід цифрового двійника для покращення точності метеопрогнозів у контексті розумних міст. Описано процес розробки та імплементації цифрового двійника на мобільній платформі з метою покращення якості та доступності метеорологічної інформації для мешканців міст.

Детально розглядаються основні аспекти створення цифрового двійника: збір та аналіз метеорологічних даних, обробка інформації з датчиків, використання штучних інтелектуальних алгоритмів для прогнозування погодних умов. Також розглядаються можливості мобільної платформи для зручного та ефективного використання цифрового двійника метеопрогнозування користувачами.

Результати дослідження підтверджують, що використання цифрового двійника у метеопрогнозуванні дозволяє значно покращити точність прогнозів та забезпечити швидкий доступ до актуальної інформації про погоду. Ця інноваційна технологія має великий потенціал для застосування в сучасних розумних містах, де точний та своєчасний метеопрогноз стає важливим чинником для підвищення комфорту та безпеки громадян.

Ключові слова: цифровий двійник, метеопрогнозування, смарт сіті, мобільна платформа, збір даних, аналіз даних, прогнозування подій.

### Вступ

У сучасному технологічному суспільстві, що стрімко розвивається, розумні міста стають не просто метою, а невід'ємною частиною забезпечення комфортного та ефективного життя його мешканців. Однією з найважливіших сфер інновацій у розумних містах є прогнозування погоди, яка має значний вплив на повсякденне життя та безпеку громадян.

Оскільки погодні умови є динамічними та мінливими, надання точних та своєчасних прогнозів погоди є складним завданням для сучасних систем прогнозування. Традиційні підходи до прогнозування погоди часто мають обмеження і можуть бути менш ефективними в умовах мінливого клімату. У цьому контексті створення цифрових двійників стає перспективним рішенням для підвищення точності та надійності прогнозів погоди в розумних містах. Цифровий двійник – це віртуальна модель реального об'єкта, яка постійно поповнюється даними з різних джерел. За допомогою цифрового двійника можна використовувати віртуальне представлення явища або системи для більш точного прогнозування та аналізу його поведінки.

Ця стаття описує застосування цифрових двійників у прогнозуванні погоди в розумному місті на мобільних платформах. Метою дослідження є покращення якості та доступності погодної інформації для мешканців міста, забезпечення їхньої безпеки та підвищення комфорту. У цій статті розглядаються основні аспекти створення цифрового двійника, вплив цього підходу на точність прогнозів та можливість його впровадження на мобільних платформах для зручності користувачів.

Використання цифрового двійника у прогнозуванні погоди може відкрити нові горизонти у розвитку розумних міст та покращити якість життя їх мешканців. Дана робота є важливим внеском у дослідження даної тематики та представляє перспективні шляхи оптимізації прогнозування погоди в міському середовищі.

### 1. Цифрові двійники в метеорологічному прогнозуванні

Цифрові двійники відіграють важливу роль у підвищенні якості та надійності прогнозів погоди. Цифровий двійник — це віртуальне моделювання атмосферних

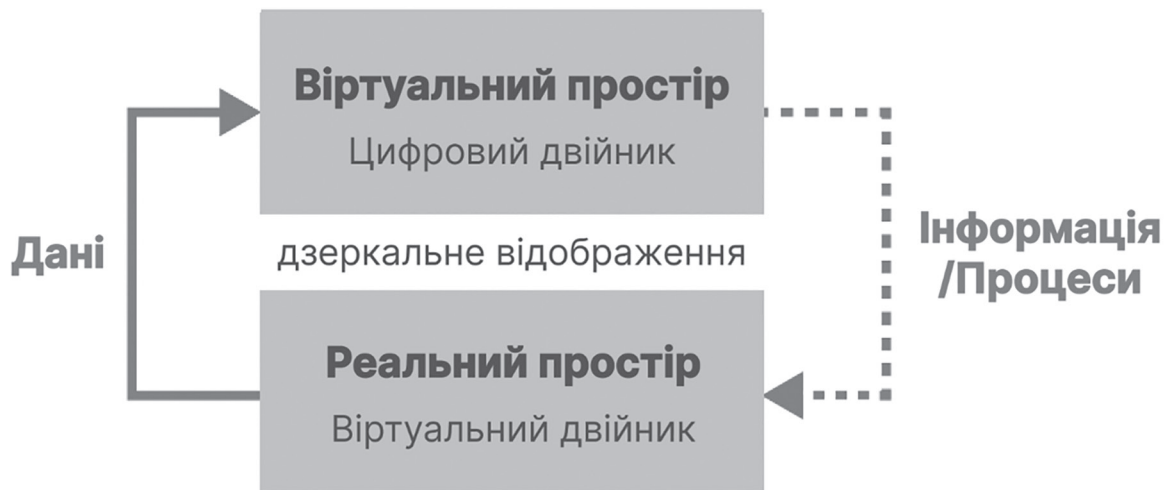


Рис. 1. Створення цифрових копій

умов і погодних явищ на основі зібраних метеорологічних даних. Ці дані надходять із різних інструментів, таких як супутники, радари та метеорологічні станції, і включають такі параметри, як температура, вологість, тиск і вітер.

Цифрові двійники використовуються для моделювання фізичних процесів, що відбуваються в атмосфері, і прогнозування погодних умов на основі наявних даних. Цифрові двійники можуть аналізувати великі обсяги інформації та встановлювати складні взаємозв'язки між різними метеорологічними факторами. Як результат, цифрові двійники можуть надавати більш точні та комплексні прогнози, передбачати зміни погодних режимів та допомагати зрозуміти причинно-наслідкові зв'язки між погодними явищами.

Використання цифрових двійників для прогнозування погоди має низку переваг. Це може зменшити ризик людської помилки, яка може виникнути під час обробки та інтерпретації погодних даних.

Цифрові двійники також можуть ефективно обробляти великі обсяги інформації і давати більш точні прогнози, беручи до уваги різні фактори, що впливають на погоду. Вони також можуть використовуватися для візуалізації погодних явищ, допомагаючи синоптикам і користувачам краще розуміти і аналізувати погоду.

Прикладом використання цифрових двійників у прогнозуванні погоди є гло-

бальне кліматичне моделювання. Цифрові двійники допомагають створювати віртуальні представлення атмосфери, океанів та інших кліматичних компонентів земної системи. Ці моделі дозволяють вивчати довгострокові кліматичні тренди та аналізувати зміни в розподілі температури, опадів, рівня моря та інших кліматичних параметрів. Використання цифрових двійників у кліматичних дослідженнях може допомогти спрогнозувати майбутні зміни клімату та їхній вплив на планету. Іншим прикладом використання цифрових двійників є погодні моделі для короткострокового прогнозування. Ці моделі використовуються для прогнозування погоди на кілька годин або днів наперед. Моделі базуються на використанні атмосферних цифрових двійників, побудованих на основі існуючих погодних даних. Ці моделі можуть прогнозувати температуру, вітер, опади та інші погодні параметри з високою точністю та часовою роздільною здатністю. Це покращує якість короткострокових прогнозів і допомагає людям планувати свої дії відповідно до майбутніх погодних умов.

Цифрові двійники також використовуються для прогнозування екстремальних погодних явищ, таких як урагани, торнадо і зливи. Ці моделі дозволяють виявити закономірності та особливості, що передують таким подіям, і з достатньою впевненістю випускати попередження. Використання

цифрових двійників у прогнозуванні екстремальних погодних умов може врятувати життя і майно та підвищити загальну громадську безпеку.

Використання цифрових двійників у прогнозуванні погоди дає низку переваг, які сприяють підвищенню якості та точності прогнозів погоди. Деякі з переваг цифрових двійників у прогнозуванні погоди включають:

- підвищення точності прогнозів. Цифрові двійники дозволяють моделювати та відтворювати поведінку атмосферних процесів більш точно. Це приводить до більш надійних прогнозів погоди, меншої кількості помилок і точнішої інформації для користувачів;

- покращення роздільної здатності прогнозів. Цифрові двійники дозволяють фіксувати погодні явища в більш тонких просторових і часових масштабах. Це дозволяє складати прогнози погоди з вищою роздільною здатністю та отримувати детальнішу інформацію про погодні умови в конкретних регіонах;

- моделювання складних залежностей. Цифровий двійник дозволяє ідентифікувати та аналізувати складні залежності атмосферних процесів, які впливають на погоду. Це дає краще розуміння метеорологічних явищ та їх взаємодії, а також дозволяє прогнозувати майбутній розвиток подій;

- ефективне використання наявних даних. Цифрові двійники можуть інтегрувати великі обсяги погодних даних з різних джерел і використовувати їх для створення точних і всебічних прогнозів. Здатність обробляти великі обсяги даних у режимі реального часу, включаючи дані із супутників і наземних датчиків, забезпечує актуальну і повну інформацію про атмосферні умови.

Використання цифрового двійника в прогнозуванні погоди дозволяє підвищити точність, надійність та ефективність прогнозів погоди. Він став невід'ємною частиною сучасних погодних систем, допомагаючи нам краще розуміти клімат і забезпечувати безпеку та комфорт людей, на яких впливають погодні умови.

## 2. Метеорологічне прогнозування та ефективне управління розумним містом

Цифрові двійники використовуються в розробці розумної інфраструктури для створення віртуальних моделей фізичних об'єктів, таких як будівлі, міста, енергетичні мережі та транспортні системи. Ці віртуальні моделі дозволяють здійснювати моніторинг, аналіз та управління фізичними об'єктами в режимі реального часу.

Однією з головних переваг використання цифрового двійника є те, що детальну інформацію про стан фізичного об'єкта можна отримати в режимі реального часу. Дані з датчиків, розміщених на фізичних об'єктах, передаються на цифровий двійник, аналізуються і порівнюються з нормальними значеннями. У разі виявлення відхилень, необхідні дії, як-от попередження оператора або активація автоматизованої системи управління для усунення проблеми, можуть бути виконані автоматично.

Крім того, цифровий двійник можна використовувати для прогнозування поведінки фізичних об'єктів на основі зібраних даних. Аналізуючи дані з цифрового двійника, можна виявити тенденції, розпізнати закономірності і передбачити потенційні проблеми та надзвичайні ситуації. Це забезпечує передбачуваність і ефективність в управлінні інфраструктурою містом.

Так, точні метеорологічні прогнози дозволяють:

- Планувати роботу транспорту міста. Наприклад, ожеледиця та снігопад можуть призвести до збільшення аварійності на дорогах, сильний вітер може затримати рейси літаків. Водночас урахування погодних умов дозволить убезпечити пасажирів та оптимізувати роботу транспорту.

- Запобігати стихійним лихам. Точні метеорологічні прогнози дозволяють заздалегідь підготуватися до стихійного лиха, якщо воно неминуче. Якщо ж мова йде, наприклад, про землетруси, то метеопрогноз дозволить вчасно здійснити евакуацію населення.

Також важливо, щоб метеорологічні прогнози були правильними. Адже невірні

метеопрогнози можуть негативно вплинути на різні галузі міського господарства, зокрема:

- Енергетична галузь. Невірні прогнози можуть призвести до дефіциту або профіциту запасів енергії, що негативно може вплинути на кінцевого споживача.
- Сільське господарство. Невірні прогнози можуть вплинути на загибель врожаю або поганий врожай, а у тваринництві на загибель худоби.

У сфері міського планування цифрові двійники можуть допомогти в плануванні та розвитку міст. Вони можуть відображати інформацію про міське середовище, наприклад, про транспортну інфраструктуру і розташування будівель. Це дозволяє моделювати різні сценарії розвитку міст, аналізувати вплив нових будівель та інфраструктурних змін на навколишнє середовище та оптимізувати містобудівні проекти.

Цифровий двійник також може бути використаний для оптимізації енергетичних систем, в тому числі електромереж. Він може відображати такі характеристики, як структура мережі, розподіл навантаження та стан енергоефективності. Цифрові двійники можуть бути використані для розробки стратегій управління енергоспоживанням, виявлення проблем у мережі та аналізу системи з метою підвищення ефективності та надійності системи.

Цифровий двійник також може бути корисним у проектуванні систем водопостачання. Він може показати розташування джерел води, трубопроводів, насосних станцій та інших компонентів системи. А це в свою чергу може допомогти виявити потенційні проблеми, такі як витoki та перевантаження, а також покращити управління системою водопостачання.

Цифрові двійники мають значний потенціал у розвитку розумної інфраструктури, надаючи точну віртуальну модель реальної системи. Вони надають точні віртуальні моделі реальних систем, що дозволяє аналізувати, прогнозувати та управляти системами з високою точністю та ефективністю. Використання цифрових двійників здатна покращити якість життя в містах,

зменшити споживання енергії та ресурсів і сприяти сталому розвитку.

Використання цифрових двійників у розвитку розумних інфраструктур має кілька переваг:

1. Підвищення ефективності: Цифрові двійники дозволяють відстежувати та аналізувати різні аспекти інтелектуальної інфраструктури в режимі реального часу. Це може допомогти визначити більш ефективне використання ресурсів, оптимізувати роботу системи і підвищити продуктивність.

2. Передбачуваність і далекоглядність: цифрові двійники уможливають аналіз великих обсягів даних і виявлення тенденцій. Це дозволяє передбачити майбутні проблеми, виявити ризики та вжити превентивних заходів до того, як вони перетворяться на серйозні проблеми.

3. Зменшення витрат та ризиків. Цифрові двійники можуть зменшити витрати та ризики впровадження нових технологій, рішень та розумних змін в інфраструктурі, забезпечуючи віртуальне тестування та симуляцію. Це дозволяє проводити віртуальні експерименти та аналізувати результати до фізичного впровадження.

4. Забезпечення безпеки та надійності: Цифрові двійники можуть безперервно контролювати стан різних систем та об'єктів розумної інфраструктури. Несправності, аномалії та потенційні проблеми можна швидко виявити та відреагувати на них, запобігаючи аваріям та збоям.

5. Підвищення ефективності управління. Цифровий двійник є корисним інструментом для управління інтелектуальною інфраструктурою. Він надає доступ до важливих даних та аналітики, які можуть допомогти вам приймати обґрунтовані рішення та планувати майбутні кроки.

Ці переваги роблять використання цифрових двійників високоефективним у розробці та управлінні інтелектуальною інфраструктурою, сприяючи її оптимізації, ефективності та стійкості.

Однак треба бути об'єктивними. І після переваг цифрових двійників згадаємо і про недоліки. Зокрема, до недоліків можна віднести наступне:

– Високошвидкісна передача даних. Цифрові двійники потребують високошвидкісної передачі даних між датчиками, системами обробки та користувачами. Це вимагає використання сучасної техніки, високошвидкісного інтернету тощо;

– Зберіганням великих обсягів даних. Для зберігання, обробки, аналізу великих обсягів даних, а також забезпечення їхньої безпеки від кібератак, потрібні дорогі сучасні технології та своєчасне обслуговування. Це потребує значних витрат;

– Інтеграція з іншими системами.

Наразі не існує загальноприйнятих стандартів для цифрових двійників, що може ускладнювати інтеграцію з іншими системами та обмін даними між різними джерелами та користувачами.

### 3. Функції створення цифрових двійників для метеопрогнозування та приклади впровадження

Як ми вже зазначали, цифровий двійник у метеорології — це віртуальне моделювання атмосферних умов і погодних явищ на основі зібраних метеорологічних даних. Зокрема, визначених методів створення віртуальних моделей включають:

- **Збір та аналіз даних про метеорологічні параметри.** Це один з основних методів, який включає збір даних із метеостанцій, супутників, дронів тощо про температуру, вологість, атмосферний тиск, вітер та інші погодні параметри.
- **Створення двовимірної моделі міста (картографія).** Створюється модель міста з урахуванням його ландшафту, забудови, водних ресурсів та інших об'єктів.
- **Математичне моделювання.** Використовують диференціальні рівняння, статистичні методи та інші інструменти для моделювання атмосферних процесів та погодних явищ.
- **Порівняння результатів моделей.** Порівняння результатів моделювання з реальними метеорологічними даними для виявлення та виправлення невідповідностей між ними.

За кордоном уже є приклади успішного впровадження цифрових двійників у метеорологічному прогнозуванні у містах. Це такі міста, як Шанхай (Китай), Нью-Йорк (США), Роттердам (Нідерланди), Мельбурн (Австралія), місто-держава Сингапур, країна Гренада.

- 1) **Гренада.** 2021 року країна стала першою, хто створив цифрову копію цілої країни, 3D-модель, яку урядовці можуть використовувати для планів сталого розвитку. Як і багато островних держав, Гренада стикається з невизначеним майбутнім перед зміною клімату. Спека, що посилюється, інтенсивні опади і проникнення солоної води в систему водопостачання і ґрунт почали загрожувати двом основним економікам країни — сільському господарству і туризму (журнал «Lidar», 30.04.2022 р).
- 2) **Сингапур.** Місто-держава розташоване на 63 островах, в тому числі створених штучно. Концепція цифрового двійника була ухвалена Сингапуром ще 2015 року. Система допомагає управляти ресурсами, планувати транспорт, аналізувати наслідки підвищення рівня моря.
- 3) **Роттердам, Нідерланди.** Роттердам — це портове місто. Віртуальна копія міста дозволяє відстежити інтенсивність руху на водних каналах та автошляхах, оптимізувати відкриття/закриття мостів та перенаправляти транспортні потоки в режимі реального часу. Прогнозування погоди дозволяє своєчасно дізнатись про шторм, сильний вітер, що заважає руху суден.
- 4) **Мельбурн, Австралія.** Мельбурн — один з основних комерційних та промислових центрів Австралії — розташовано навколо затоки Порт-Філіп. Тут цифровий двійник використовується для моделювання погодних явищ, зокрема, теплових хвиль.
- 5) **Нью-Йорк, США.** В Нью-Йорку було впроваджено цифровий з метою прогнозування снігопадів, штормів та інших екстремальних погодних

явищ, що дозволяє координувати роботу транспорту, інфраструктури, а також інформувати мешканців про потенційні небезпеки.

Отже, кожне місто використовує технологію цифрових двійників (метавсесвіту) для власних цілей. Однак важливо, що всі двійники є чудовим стратегічним інструментом для розвитку міст у реальному світі.

Враховуючи позитивний досвід метеорологічного прогнозування на основі цифрових двійників, в майбутньому очікується збільшення кількості впровадження цифрових двійників окремими містами та країнами.

#### **4. Розробка цифрового двійника для метеопрогнозування на мобільному телефоні**

Для реалізації проєкту створення цифрового двійника в метеопрогнозуванні для розумного міста на мобільній платформі було розроблено додаток мовою Swift для iOS платформи, який використовується в інтернеті речей для реалізації цифрових двійників.

Проєкт складається з трьох основних класів: два класи для користувацького інтерфейсу (UI) та головний клас (Main Class).

Перший UI клас відповідає за відображення карти Києва з використанням фреймворка MapKit. Цей клас забезпечує завантаження карти та можливість рендерингу різних маркерів або шарів на ній, які представляють райони моніторингу якості повітря.

Другий UI клас відповідає за відображення інформації про якість повітря в конкретних районах Києва на карті. Він може відображати дані про забруднення повітря, прогноз погоди та інші метеорологічні дані, необхідні користувачу.

Головний клас (Main Class) виконує основні функції додатка, зокрема, збір даних, взаємодію з цифровим двійником та обробку інформації для відображення на карті.

Для отримання даних про прогноз погоди із сервера використовується фреймворк Alamofire, який дозволяє виконувати HTTP-запити.

Цифровий двійник являє собою програмне представлення реального процесу метеопрогнозування. Він надає необхідні дані про стан атмосфери та прогноз погоди для різних районів Києва. Інформація може бути отримана через API або зберігатися на віддаленому сервері.

В цьому додатку, цифровий двійник використовується для створення програмного представлення реального процесу метеопрогнозування та моніторингу якості повітря на мобільному телефоні. Цифровий двійник (Digital Twin) відображає реальні об'єкти чи процеси у віртуальному середовищі, в якому можна аналізувати, маніпулювати та здійснювати прогнози щодо їх поведінки.

У даному додатку цифровий двійник включає такі компоненти:

1. Збір даних: Цифровий двійник забезпечує збір даних про погоду та якість повітря з різних джерел, таких як датчики, метеорологічні станції, метеорологічні API та інші. Ці дані включають індекс якості повітря з різними показниками.
2. Зберігання даних: Отримані дані зберігаються в цифровому двійнику, що дозволяє зберігати історичні дані та здійснювати їх аналіз.
3. Аналіз даних: Цифровий двійник аналізує зібрані дані, застосовує алгоритми прогнозування та аналізу, щоб передбачити метеопогоду на майбутні години або дні, а також визначити якість повітря у різних районах міста.
4. Взаємодія з додатком: Додаток на мобільному телефоні взаємодіє з цифровим двійником, зчитуючи дані про прогноз погоди та якість повітря для відображення на графічному інтерфейсі. Користувач може отримувати актуальні дані про погоду для різних місць, вибирати райони моніторингу на карті Києва та переглядати детальну інформацію про якість повітря.
5. Прогнозування: З допомогою цифрового двійника, додаток може здійснювати прогноз погоди та якості по-

вітря на основі аналізу історичних даних та алгоритмів прогнозування. Користувачам надається можливість заздалегідь знати очікувані погодні умови та рівень забруднення повітря у вибраних районах.

Отож, додаток забезпечує візуалізацію та доступ до інформації про метеопрогнозування на мобільному телефоні для розумного міста, що допомагає користувачам бути поінформованими про поточні погодні умови та якість повітря у різних частинах Києва. Нижче наведено детальний опис коду:

1. Імпорт бібліотек: SwiftUI, MapKit та Alamofire.

```
import SwiftUI
import MapKit
import Alamofire
```

2. Створення структури MapView, що реалізує протокол UIViewRepresentable. Це інтерпрє MKMapView у SwiftUI.

```
struct MapView:
    UIViewRepresentable { ... }
```

3. Масив Kyiv Points, який містить кортежі з географічними координатами і назвами районів Києва.

```
let kyivPoints: [(latitude: Double,
longitude: Double, street: String)] = [
    (50.399373, 30.518903, «Голосіївський район»),
    (50.431209, 30.516795, «Солом'янський район»),
    І так далі...
    (50.513401, 30.617103, «Деснянський район»),]
```

4. Методи makeCoordinator(), makeUIView(context:) та updateUIView(\_ :context:) з протоколу UIViewRepresentable для створення і налаштування карти.

```
func makeCoordinator() ->
Coordinator {
    Coordinator(self)
}
```

```
func makeUIView(context:
Context) -> MKMapView {
    let mapView = MKMapView()
    mapView.delegate = context.
coordinator
    mapView.
register(CustomAnnotationView.self, for
AnnotationViewWithReuseIdentifier: MK
MapViewDefaultAnnotationViewReuseId
entifier)
    return mapView
}
```

```
func updateUIView(_ uiView:
MKMapView, context: Context) {
    fetchStations { result in
        switch result {
        case .success(let stations):
            DispatchQueue.main.async {
                displayStations(stations: stations,
                mapView: uiView)
                setMapRegionToKyiv(mapView:
                uiView)
            }
        case .failure(let error):
            print("Error fetching stations: \
(error.localizedDescription)") } }
```

5. Визначення географічних координат Києва для встановлення регіону (setMapRegionToKyiv(mapView:)), відображення районів якості повітря на карті (displayStations(stations:mapView:)), додавання маркерів (addMarker(at:title:subtitle:mapView:)) та завантаження даних про райони з OpenWeatherMap API (fetchStations(completion:)).

```
func setMapRegionToKyiv(mapView:
MKMapView) {
    let kyivLatitude = 50.450001
    let kyivLongitude = 30.523333 ... }

func displayStations(stations:
[Station], mapView: MKMapView) {
    for (index, station) in stations.
enumerated() {
        let coordinate = CLLo
cationCoordinate2D(latitude:
kyivPoints[index].latitude, longitude:
kyivPoints[index].longitude)
```

```

func addMarker(at coordinate:
CLLocationCoordinate2D, title:
String, subtitle: String, mapView:
MKMapView) {
    let markerTintColor = UIColor.
systemBlue
    let stationAnnotation =
StationAnnotation(coordinate:
coordinate)

```

```

func fetchStations(completion:
@escaping (Result<[Station], Error>)
-> Void) {
    let apiKey = Bundle.main.
object(forKey)
    let group = DispatchGroup()
    var fetchedStations: [Station]
= []
    for point in kyivPoints {
        group.enter()
        let searchUrl = https://api.
openweathermap.org/data/2.5/air_
pollution?lat=(point.latitude)&lon=(
point.longitude)&appid=(apiKey) ... }

```

- Створення класу CustomAnnotationView, що наслідує MKMarkerAnnotationView, і класу StationAnnotation, що наслідує NSObject і реалізує протокол MKAnnotation. Вони забезпечують налаштування вигляду аотацій.

```

class CustomAnnotationView:
MKMarkerAnnotationView { ...
    class StationAnnotation:
NSObject, MKAnnotation { ... }

```
- Структури ApiResponse, Coordinate, Station, MainInfo та Components для декодування JSON з OpenWeatherMap API.

```

struct ApiResponse: Codable { ...
struct Coordinate: Codable { ...
struct Station: Codable { ...
struct MainInfo: Codable { ...
struct Components: Codable {
...}}}}

```

Загалом, код демонструє створення цифрового двійника та детальний опис повітря у режимі реального часу, відображення карти Києва з районами моніторингу якості

повітря, а також допоміжний екран з деталями про кожний район і склад повітря в ньому. Застосування цифрового двійника у додатку дозволяє створити програмне представлення реального процесу метеопрогнозування, що зберігає та обробляє інформацію про стан атмосфери та погодні умови у різних місцях міста. Завдяки цьому, додаток може оперативно надавати актуальні дані користувачам, що робить його надзвичайно корисним для повсякденного використання.



Рис. 3. Розробка мобільного додатку прогнозування погоди Digital Twin

## Висновки

Створення цифрового двійника в метеопрогнозуванні для розумного міста на мобільній платформі є важливим та перспективним напрямом. В статті запропоновано створення цифрового двійника. Проект такого додатка дозволяє надавати користувачам зручний доступ до актуальної інформації про якість повітря та прогноз погоди для різних районів міста, що є особливо важливим в умовах зростання екологічних проблем та кліматичних змін. Застосування мови програмування Swift та фреймворків MapKit та Alamofire дозволяє зручно та ефективно реалізувати функціонал додатка. Мова SwiftUI сприяє швидкій розробці інтерфейсу та забезпечує його гарний зовнішній вигляд.

Цифровий двійник, який відображає реальний процес метеопрогнозування, є ключовою складовою додатка. Він надає доступ до актуальних даних про погодні

умови, допомагає прийняти об'єктивні рішення та підвищує рівень свідомості користувачів щодо впливу клімату на їхнє здоров'я та навколишнє середовище.

Застосування цифрового двійника у метеопрогнозуванні є однією з інноваційних технологій, яка покращує якість життя в містах та допомагає ефективніше використовувати ресурси. Завдяки таким проектам, міста стають більш стійкими до змін клімату, а мешканці мають можливість бути в курсі погодних умов та приймати свої обґрунтовані рішення на основі надійної інформації.

У майбутньому, розвиток цифрових двійників та їх інтеграція в мобільні додатки можуть забезпечити ще точніший та індивідуалізований метеопрогноз для користувачів. А це допоможе покращити якість життя, зменшити негативний вплив кліматичних змін та забезпечити більш стійку розвинену екологію.

### Література:

1. D. Botín-Sanabria, Adriana-Simona Mihaita, Rodrigo E. Peimbert-García, M. A. Ramírez-Moreno, R. Ramírez-Mendoza, J. Lozoya-Santosless (2022) Digital Twin Technology Challenges and Applications: A Comprehensive Review
2. Mohd Javaid, Abid Haleem, Rajiv Suman (2023) Digital Twin applications toward industry 4.0
3. Zhang, X., & Xie, M. (2020). Digital twin: A survey from data acquisition to virtual reality visualization. *IEEE Access*, 8, 108951-108969.
4. Martínez, J. F., Lozano, R., & García, R. (2019). Digital twin implementation for industrial machine condition monitoring. *Sensors*, 19(24), 5512.
5. Liu, Y., & Peng, F. (2020). A digital twin-based approach for real-time energy management of smart cities. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(5), 3492-3501.
6. Bhattacharya, S., Sardar, S., Bandyopadhyay, S., & Dutta, S. (2020). Digital twin for smart city applications: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(6), 4177-4189.
7. Luo, Z., Chen, X., Luo, Q., Wang, W., & Tang, L. (2020). Digital twin-based energy management system for smart cities. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(4), 2725-2734.
8. Cha, S., & Lee, J. (2019). Digital twin-based real-time monitoring system for smart buildings. *Energies*, 12(22), 4287.
9. Yan, Y., & Gu, F. (2019). Digital twin-driven design for cyber-physical energy systems in smart cities. *Journal of Cleaner Production*, 221, 268-278.
10. Magazine «Lidar» (2022) Linda Peters (<https://lidarmag.com/2022/04/30/climate-change-prompts-grenada-to-create-the-first-national-digital-twin/>)

Одержано: 07.08.2023

### Про авторів:

Гайдукевич Владислав Олегович,  
аспірант Інституту програмних  
систем НАН України.

Кількість наукових публікацій  
в українських виданнях – 1.  
<https://orcid.org/0000-0002-0614-6778>

Дорошенко Анатолій Юхимович,  
доктор фізико-математичних наук,  
професор, завідувач відділу теорії  
комп'ютерних обчислень Інституту  
програмних систем НАН України,  
професор кафедри автоматики  
і управління в технічних системах  
НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського».  
Кількість наукових публікацій  
в українських виданнях – понад 180.  
Кількість наукових публікацій  
в іноземних виданнях – понад 70.  
Індекс Гірша – 6.  
<http://orcid.org/0000-0002-8435-1451>,

### Місце роботи авторів:

Інститут програмних систем  
НАН України,  
03187, м. Київ-187,  
проспект Академіка Глушкова, 40.  
e-mail: doroshenkoanatoliy2@gmail.com,  
gaidukevichvlad@gmail.com

## ПОШУК НОВИЗНИ У МЕТОДІ НЕЙРОЕВОЛЮЦІЇ ДЛЯ ПОЗИЦІОНУВАННЯ РОБОТИЗОВАНОЇ КІНЦІВКИ

У статті досліджено використання алгоритму нейроеволюції для пошуку політик у формі нейромереж у процесі створення контролера для управління роботизованою кінцівкою. Описано основні аспекти нейроеволюційного підходу для навчання нейромережі у задачах, що не мають найкращого рішення та потребують навчання з підкріпленням. Задача позиціонування має такий ландшафт функцій пристосованості, що робить її схильною потрапляти у пастки локального оптимуму.

Досліджено підхід підвищення ефективності пошуку політики у формі нейромережі для задачі позиціонування робочої кінцівки. Зокрема, розглянуто використання пошуку новизни для поліпшення нейроеволюційного процесу навчання за допомогою алгоритму NEAT. Цей підхід покращує здатність алгоритму знаходити інноваційні та ефективні рішення, сприяючи розвитку більш універсальних і потужних архітектур нейронних мереж.

Результати навчання політики управління для двовимірної роботуки з двома ланками у симуляції середовища показали, що використання пошуку новизни дозволяє отримати ефективну політику в формі нейромережі, яка має мінімальну конфігурацію. А це дозволить підвищити швидкодію контролера, яка є критичною для роботи реальної системи. Дослідження даного підходу для вирішення задачі позиціонування в системах більшої розмірності та складних роботизованих систем становлять особливий інтерес для покращення програмних контролерів управління роботизованими кінцівками в динамічних умовах реального світу.

Ключові слова: нейронна мережа, нейроеволюція, роботизована рука, навчання з підкріпленням, NEAT, пошук новизни, функція пристосованості.

### Вступ

У сфері робототехніки дослідження інтелектуальних контролерів для управління робочими кінцівками є актуальним напрямком досліджень і розробок. Навіть враховуючи активну роботу провідних дослідницьких центрів по всьому світу, рівень точності та ефективності роботизованої руки все ще не може досягнути рівня людської руки. А з огляду на те, як промисловість продовжує використовувати автоматизацію, попит на роботизовані системи, які можуть виконувати складні та точні завдання, зріс. Від виробництва до охорони здоров'я, від логістики до аерокосмічної галузі, розгортання роботизованих систем для задач маніпулювання об'єктами стало повсюдним, революціонізуючи традиційні робочі процеси та відкриваючи нові можливості. У цьому контексті розробка інтелектуальних контролерів, особливо тих, що використовують нейроеволюцію, стала критично важливим фактором для оптимізації продуктивності та адаптивності роботизованих маніпуляторів у різноманітних середовищах.

Складність, притаманна сучасним роботам, вимагає контролерів, які виходять за межі традиційних методологій, заснованих на правилах. Інтелектуальні контролери, засновані на передових технологіях, таких як штучний інтелект, машинне навчання та нейронні мережі, обіцяють подолати розрив між можливостями роботизованої руки та вимогами складних сценаріїв реального світу. Серед цих методів нейроеволюція виділяється як потужний і актуальний підхід, який використовує принципи еволюції для створення інтелектуальних контролерів, адаптованих до задач роботизованої руки.

Дана стаття розглядає метод підвищення ефективності застосування нейроеволюції для пошуку політик у формі нейромереж, які можуть бути використані для різноманітних задач управління роботизованою кінцівкою, зокрема, позиціонування та маніпуляції цільовим об'єктом. Метою дослідження є підвищення точності нейромережі для позиціонування робочої кінцівки, яка може бути навчена з допомогою

нейроеволюційного алгоритму підходами навчання з підкріпленням, які не вимагають збору тренувального набору даних.

Задача позиціонування має такий ландшафт функцій пристосованості, що робить її схильною потрапляти у пастки локального оптимуму. Вирішення даної проблеми становить особливий інтерес для подальшого покращення програмних контролерів управління роботизованими кінцівками.

### **1. Політики в формі нейромереж для задачі управління роботизованою кінцівкою**

Більшість роботизованих завдань вимагають виконання багатокрокових цілей, для яких потрібен механізм планування. Традиційні роботизовані контролери зазвичай розробляються вручну, а розподіл завдань на підзадачі виконує людина-конструктор.

Оскільки завдання та робочі середовища для роботів ускладнюються, зростає потреба в методах навчання та пошуку, які можуть планувати вирішення задачі, не покладаючись на вже існуючу структуру підзадач або станів, розроблену людиною.

Методи навчання та еволюційного пошуку розроблені для оптимізації швидкої поведінки, яка потім використовується певним контролером вищого рівня. Нейроеволюція – це сімейство методів машинного навчання, які використовують еволюційні алгоритми для полегшення вирішення складних проблем, таких як ігри, робототехніка та моделювання природних процесів. Нейроеволюційні алгоритми імітують процес природного відбору. Кінцевим результатом нейроеволюції є оптимальна топологія мережі, яка робить модель більш ресурсоефективною та легшою для аналізу [4]

Для навчання з учителем потрібні набори ситуацій захвату та відповідної оптимальної поведінки. Оскільки оптимальна поведінка часто невідома, покрити типові ситуації – складна задача. Нейроеволюція – це метод навчання з підкріпленням, і він не потребує навчальних прикладів, де ідеальна поведінка захватного пристрою відома.

Нейроеволюція не покладається на повну інформацію про стан. Інші методи

з підкріпленням часто припускають, що поточний стан системи повністю відомий. Однак, якщо конфігурація середовища динамічно змінюється, спостережувані значення реакцій не можуть бути пов'язані з правильним основним станом. Нейроеволюція вирішує проблему, розвиваючи повторювані зв'язки; повторення встановлює пам'ять, яка дає можливість розрізняти стани.

Класичною задачею для роботизованої кінцівки із захватним пристроєм є взаємодія з цільовим об'єктом, що є проблемою на стику робототехніки, комп'ютерного зору та штучного інтелекту. Стійкий захват передбачає складну координацію рухів роботизованої руки з метою точного позиціонування руки та маніпулювання об'єктами в навколишньому середовищі. Тобто цю задачу можна розділити на дві взаємозалежні частини: позиціонування руки та маніпулювання об'єктом.

Необхідність використання двох контролерів для цього завдання демонструє, що нейроеволюції легше розвинути реактивну поведінку, ніж довгострокову стратегічну поведінку.

Розглянемо детальніше першу підзадачу – позиціонування кінцівки роботизованої руки для досягнення цільового об'єкту.

Позиціонування руки означає точне розміщення кінцевого елемента роботизованої руки (наприклад, захвату або інструменту) у певному місці в середовищі. Це передбачає визначення відповідних кутів з'єднань і рухів, необхідних для досягнення бажаної мети.

Роботизована рука зазвичай складається з кількох шарнірів, які забезпечують руку ступенями свободи (DOF). DOF представляє кількість незалежних параметрів, необхідних для опису конфігурації руки. Кожен суглоб дозволяє руці обернутися або переміститися вздовж певної осі, дозволяючи руці рухатися в кількох напрямках. Позиціонування роботизованої руки базується на використанні систем координат для визначення положення та орієнтації руки. Орієнтація руки може бути представлена за допомогою кутів Ейлера, кватерніонів або матриць обертання.

## 2. Алгоритм NEAT

NEAT (NeuroEvolution of Augmenting Topologies) є потужним нейроеволюційним алгоритмом, призначеним для розвитку штучних нейронних мереж (ANN) зі складними та адаптивними структурами. Розроблений Кеннетом О. Стенлі та Рісто Мійкулайненом 2002 року, NEAT став відомим як інноваційний підхід до розвитку нейронних мереж для різних завдань із контролем, оптимізацією та розпізнаванням шаблонів включно.

NEAT був спеціально розроблений для вирішення проблем розвитку нейронних мереж із різними топологіями, що було обмеженням у традиційних підходах нейроеволюції. NEAT представляє механізми, які дозволяють нейронним мережам ускладнюватися з часом, дозволяючи їм вирішувати дедалі складніші завдання.

Розглянемо ключові особливості та концепції алгоритму NEAT.

- **Генотип і фенотип:** у NEAT індивідууми представлені як генотипом, так і фенотипом. Генотип кодує структуру нейронної мережі, включаючи вузли (нейрони) і зв'язки (синапси), тоді як фенотип представляє активну мережу з фактичними вагами, призначеними зв'язкам.

- **Інновації та історичні маркування:** NEAT використовує історичну схему маркування для відстеження походження генів (з'єднань і вузлів) протягом поколінь. Інновації в структурі мережі зберігаються. Це гарантує, що нові функції не будуть втрачені під час еволюційного процесу.

- **Ускладнення та спрощення:** NEAT дозволяє нейронним мережам розвиватися та ускладнюватися протягом багатьох поколінь. Нові вузли та з'єднання можна вводити поступово, починаючи від простих мереж і розвиваючись до більш складних структур. Крім того, NEAT підтримує видалення зайвих або непотрібних структур, сприяючи спрощенню мереж, коли це виправдано.

- **Видоутворення:** NEAT включає видоутворення, процес поділу популяції на види на основі подібності. Це запобігає домінуванню кількох особин і дозволяє зберегти різноманітність. Специфікація заохо-

чує дослідження різних мережевих структур і запобігає втраті багатообіцяючих інновацій.

- **Спільний доступ до пристосованості:** NEAT використовує обмін пристосованістю серед видів. Геноми з подібною мережевою структурою діляться значеннями фітнес-функції, сприяючи співпраці всередині виду, а не інтенсивній конкуренції. Це дає інноваційним структурам шанс розвиватися та вдосконалюватися.

- **Схрещування і мутація:** NEAT використовує операції схрещування та мутації. Схрещування поєднує гени двох батьків для створення нащадків із сумішню їхніх ознак. Мутація вносить невеликі зміни в гени, полегшуючи дослідження простору рішення.

Еволюційний цикл алгоритму NEAT передбачає створення нових поколінь нейронних мереж шляхом відбору, відтворення, кросинговеру та мутації. Придатність кожної окремої мережі оцінюється на основі її продуктивності в конкретному завданні. Протягом багатьох поколінь NEAT ітеративно розвиває мережі, які демонструють покращену продуктивність і підвищену складність, що приводить до рішень, які добре підходять для їхніх завдань.

Загалом, інноваційний підхід NEAT до розвитку нейронних мереж із різними топологіями зробив значний внесок у розвиток нейроеволюційних алгоритмів та їх застосування для оптимізації рішень, що базуються на використанні нейромереж.

## 3. Оптимізація пошуком новизни

Хоча методи прямої оптимізації функцій пристосованості добре працюють у багатьох простих задачах, у розв'язку більш складних задач вони часто потрапляють у пастку локального оптимуму.

Пошук новизни представляє собою підхід, який може бути інтегрований в алгоритм NEAT, щоб направляти еволюційний процес до знаходження оптимальних рішень там, де ландшафти функцій пристосованості не можуть бути успішно пройдені за допомогою процесу оптимізації, заснованого виключно на вимірюванні близькості поточного рішення до цілі. Пошук нови-

зни має на меті усунути обмеження традиційної еволюції на основі цільової функції, заохочуючи дослідження нових областей простору рішень на основі новизни рішень, а не лише їх значення цільової функції [1].

У звичайній еволюції на основі цільової функції особини в популяції зазвичай оцінюються на основі їхньої продуктивності у виконанні конкретного завдання, і еволюційний процес надає перевагу особам, які мають успіх у цьому завданні. Незважаючи на ефективність, цей підхід може призвести до збіжності до локальних оптимумів, де рішення можуть застрягнути в неоптимальних областях простору рішень і не вдасться дослідити альтернативні рішення.

Пошук новизни відкриває іншу перспективу. Замість того, щоб зосереджуватися виключно на функції пристосованості, він оцінює особини на основі їх новизни, яка кількісно визначає, наскільки поведінка або характеристики особини відрізняються від інших. Новизна визначається віддаленістю або несхожістю у поведінці чи просторі ознак.

Інтеграція пошуку новизни у алгоритм NEAT передбачає кілька ключових кроків:

1. Визначення поведінки або особливостей. Поведінка або особливості окремих осіб повинні бути визначені так, щоб їх можна було кількісно оцінити та порівняти. Для робототехнічних завдань це може включати визначення конкретних аспектів поведінки, таких як траєкторії, стани або сенсорні моделі.

2. Розрахунок новизни. Новизна особини визначається шляхом порівняння її поведінки чи особливостей з іншими індивідами в популяції. Міра відстані або несхожості, така як евклідова відстань або метрика подібності, використовується для обчислення показників новизни.

3. Архів. «Архів новинок» підтримується для зберігання різноманітного набору поведінки або функцій, які зустрічалися раніше. Архів є еталоном для розрахунку новизни і допомагає запобігти передчасній збіжності популяції.

4. Відбір. Замість того, щоб відбирати особини виключно на основі функції

пристосованості, алгоритм NEAT із використанням пошуку новизни враховує оцінки функції пристосованості та новизни. Особини з високими показниками новизни отримують шанс вижити та розмножуватися, навіть якщо їхні показники функції пристосованості нижчі. Це спонукає до дослідження нових і недосліджених регіонів простору рішень.

Пошук новизни сприяє дослідженню, заохочуючи популяцію знаходити різноманітні рішення, які спочатку можуть бути пропущені традиційним відбором на основі функції пристосованості.

Крім того, завдяки пріоритетності новизни алгоритм має меншу ймовірність застрягти в локальних оптимумах. Це запобігає передчасному переходу до неоптимальних рішень популяції.

Різноманітність рішень, виявлених за допомогою пошуку новизни, може привести до більш надійних та адаптованих рішень, оскільки алгоритм розглядає більший простір пошуку.

Пошук новизни застосовувався в задачах, де дослідження різноманітних рішень має вирішальне значення. Включаючи новизну як критерій відбору, NEAT з пошуком новизни покращує здатність алгоритму знаходити інноваційні та ефективні рішення, сприяючи розвитку більш універсальних і потужних архітектур нейронних мереж.

#### **4. Задачі позиціонування кінцівки робота у навчальному середовищі для пошуку політики у формі нейромережі**

Для задачі навчання ми розглянемо модель роботизованої руки, представлену як інтелектуальний агент в обмеженому та спрощеному середовищі.

Агент – це суб'єкт, здатний сприймати своє оточення за допомогою датчиків, а також впливати на своє оточення за допомогою приводів. Агенти зазвичай можуть сприймати власні дії, але не обов'язково є вплив цих дій на навколишнє середовище. Агент може бути математично описаний функцією агента, яка визначає дію агента на основі всієї його послідовності сприйняття.

Тож, поведінка агента може бути повністю описана шляхом визначення дії для кожної можливої послідовності сприйняття [1]. Схема взаємодії агента і середовища представлена на рис. 1.

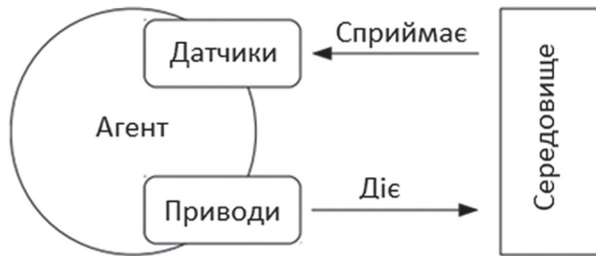


Рис. 1. Взаємодія компонентів навчального середовища

Розглянемо задачу позиціонування кінцівки роботизованої руки за допомогою середовища OpenAI Gym із двовимірною роботизованою рукою з двома суглобами. Це середовище моделювання призначене для забезпечення віртуальної платформи з метою тестування та розробки алгоритмів керування двовимірною роботизованою рукою [7]. Приклад стану навколишнього середовища представлений на рис. 2.

Робот складається з двох з'єднань, кожне довжиною 100 пікселів, і мета – досягти червоної крапки, яка випадково генерується в кожному епізоді. Простір дій представляє можливі дії, які може виконати агент. У двовимірному середовищі маніпулятора простір дій складається з керування кутами з'єднання маніпулятора робота:

- 0: залишити поточне значення кута з'єднання
- 1: приріст кута з'єднання 1
- 2: зменшення кута з'єднання 1
- 3: приріст кута з'єднання 2
- 4: зменшення кута з'єднання 2
- 5: приріст кутів з'єднань 1 і 2
- 6: зменшення кутів з'єднань 1 і 2

Простір спостережень дає інформацію про поточний стан навколишнього середовища. У середовищі двовимірної руки робота простір спостережень є безперервним і містить відповідну інформацію, необхідну для контролю та ухвалення рішень:

- цільова позиція в напрямку x, пікселі
- цільова позиція в напрямку y, пікселі
- поточне положення з'єднання 1, рад
- поточне положення з'єднання 2, рад.

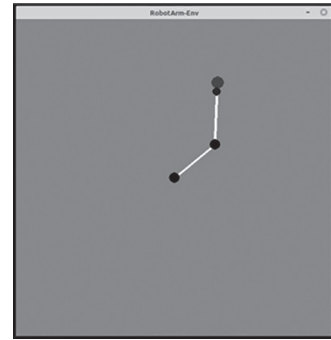


Рис. 2. Середовище OpenAI Gym 2D Robot Arm

Навколишнє середовище забезпечує винагороду для управління процесом навчання. Винагорода залежить від досягнення цільової позиції:

- робот отримає штраф -1, якщо поточна відстань між кінцівкою і цільовою позицією більша, ніж попередня відстань;
- робот отримає винагороду 1, якщо поточна відстань між кінцівкою і цільовою позицією  $> -\epsilon < \epsilon$ , де  $\epsilon = 10$  пікселів.

Крім того, визначено умови завершення для визначення кінця епізоду: поточна винагорода становить -10 або +10.

Під час експериментів із середовищем OpenAI Gym 2D Robot Arm було визначено недолік обмеженого кута обертання з'єднань, що суттєво обмежує простір пошуку, проте створює додаткові умови для демонстрації переваг нейроеволюційного підходу.

## 5. Розробка контролера для позиціонування робочої кінцівки симулятора

Для навчання політики у формі нейромережі для управління робочою кінцівкою в середовищі була обрана бібліотека NEAT-Python як реалізація алгоритму NEAT. Бібліотека NEAT-Python забезпечує реалізацію стандартних методів NEAT для моделювання генетичної еволюції геномів організмів у популяції. Вона містить утиліти для перетворення генотипу організму

в його фенотип (штучну нейронну мережу) і надає зручні методи для завантаження та збереження конфігурацій геному разом із параметрами NEAT. Крім того, вона надає корисні процедури, які допомагають збирати статистичні дані про хід еволюційного процесу та зберігати/завантажувати проміжні контрольні точки. Контрольні точки дозволяють нам періодично зберігати стан еволюційного процесу і пізніше відновлювати виконання процесу [1].

Для прискорення процесу навчання було використано розпаралелювання обчислень функції пристосованості між процесорами за допомогою класу `ParallelEvaluator`: `neat.ParallelEvaluator(mp.cpu_count(), config.eval_genome, timeout=20)`

У процесі нейроеволюції використовується двовимірний симулятор роботизованої руки для реалізації методу навчання методом спроб і помилок. Він підтримує популяцію геномів, які розвиваються з покоління в покоління, доки не буде знайдено успішний розв'язок. У процесі еволюції кожен організм у популяції перевіряється на придатність шляхом імітації руки з двома суглобами. Наприкінці симуляції організм отримує сигнал винагороди у вигляді кількості часових кроків, протягом яких він міг досягти цільової червоної точки та максимальної винагороди. Отриманий сигнал винагороди визначає працездатність організму і вирішує його долю в процесі нейроеволюції.

Спершу розглянемо реалізацію навчання з використанням звичайного алгоритму NEAT. Управління еволюційним процесом відбувається з використанням цілеорієнтованої цільової функції (goal-oriented objective function). Для розглянутого агента функція пристосованості набуває значення  $[-10, 10]$  залежно від успішності досягнення цільової позиції.

Досягнення цільової точки робочої кінцівки має локальні пастки найкращої пристосованості в областях, де значення функції буде коливатися у проміжку  $[-10, 10]$ , проте глобального наближення до кінцевої позиції досягнуто не буде.

Вибір гіперпараметрів було здійснено з застосуванням широких меж пошуку,

адже маємо великий обсяг керуючих сигналів для робочої кінцівки. Початкова конфігурація фенотипу нейромережі включає 4 вхідних вузли, 7 вихідних вузлів та 1 прихований вузол. Вузли входу відповідають параметрам, що описують поточний стан системи, а вузли виходу відповідають керуючим сигналам. Прихований вузол призначений для введення нелінійності з самого початку еволюційного процесу. Структура нейромережі представлена на рисунку 3:

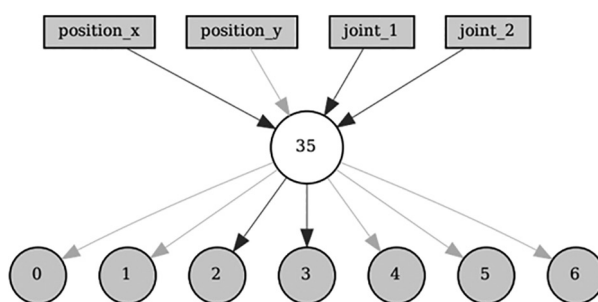


Рис. 3. Структура початкової нейромережі

Для розширення області пошуку необхідно покрити велику видову різноманітність популяції, щоб спробувати різні конфігурації геному протягом обмеженої кількості поколінь. Цього можна досягти або зниженням порогу сумісності, або збільшенням значень коефіцієнтів, що використовуються для розрахунку показників сумісності геному. Використані наступні значення параметрів:

[NEAT]

`compatibility_disjoint_coefficient = 1.1`

[DefaultSpeciesSet]

`compatibility_threshold = 3.0`

Оскільки початкова структура нейромережі має досить велику кількість виходів на невелику кількість входів, існує ймовірність перенавчання мережі, коли певні вхідні вузли не використовуватимуться і це буде приводити до субоптимального рішення, яке знаходиться в локальному мінімумі. Водночас на меті є створення оптимальної конфігурації нейромережі, яка матиме мінімальну кількість прихованих вузлів та зв'язків. Тому вірогідності додавання та видалення вузлів мають бути невеликими. Причому враховуючи початкову повно-

зв'язну модель, вірогідність видалення має бути додатково зменшена:

```
[DefaultGenome]
conn_add_prob      = 0.3
conn_delete_prob   = 0.2
```

За результатами експерименту навіть після 1000 поколінь еволюції успішний контролер не був знайдений. Графік видоутворення показав, що процес зійшовся до одного виду, який далі не зміг отримати ефективне рішення. Тому поріг стагнації було зменшено, а кількість видів збільшено, щоб еволюційний процес підтримувався за рахунок видів, які не показали покращення значення пристосованості і підлягають вимиранню:

```
[DefaultStagnation]
species_fitness_func = max
max_stagnation       = 20
species_elitism       = 1
[DefaultReproduction]
survival_threshold = 0.2
min_species_size     = 2
```

Найкращий геном, отриманий з використанням алгоритму нейроеволюції, кодує непрактичну конфігурацію нейроконтролера, яка враховує лише входи 3 та 4, що відповідають за переміщення другої ланки. Такий результат показує, що алгоритм потрапив у пастку локально оптимального рішення, коли поворот ланки, найближчої до цільової точки, може дати локальний приріст цільової функції. Причому перша ланка не була використана, хоча її поворот дозволить наблизитися до кінцевої точки.

Найкраща пристосованість організму, яка була отримана, становить всього 2, що недостатньо порівняно із цільовим значенням 10 (критерієм закінчення). Структура нейромережі, що закодована цим організмом, представлена на рисунку 4.

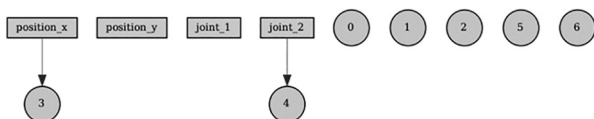


Рис. 4. Структура нейромережі, що закодована в найкращому геномі з використанням NEAT без пошуку новизни

На графі видно, що повороти другого з'єднання залежать лише від положення по одній осі та його поточного положення. Така структура призводить до спрощених рухів, декілька з яких направляють кінцівку у напрямку цільової точки, але вони є недостатніми для її досягнення.

Графік видоутворення, представлений на рисунку, показує, як протягом поколінь популяції організмів розвивався процес видоутворення. Аналіз середніх показників пристосованості показав, що нейроеволюційний процес покращував показники пристосованості на перших поколіннях, проте з часом він зупинився на плато, не показуючи покращень.

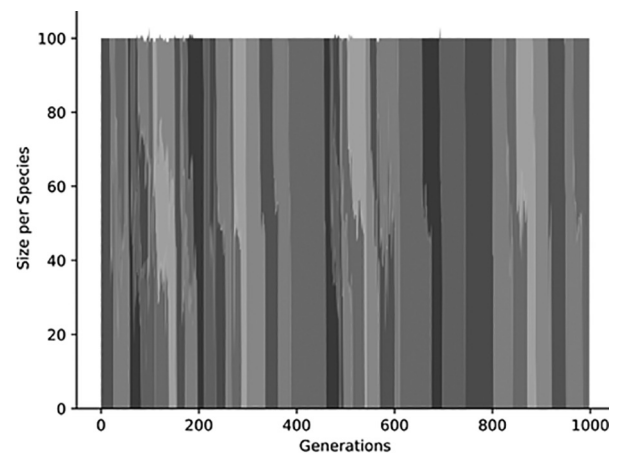


Рис. 5. Графік видоутворення еволюційного процесу з використанням NEAT без пошуку новизни

Отже, збільшення кількості поколінь не буде рішенням, необхідно використовувати механізми для покращення характеристик нейроеволюційного процесу. Тому введемо використання методу пошуку новизни, описаного раніше. Запуск здійснимо з тими ж гіперпараметрами та на тій же кількості поколінь. Після 1000 поколінь еволюції найкращий агент-контролер досяг значення функції пристосованості 6, що значно перевищує попередній результат. Крім того, аналіз конфігурації нейромережі найкращої особи (представлена на рисунку 6) показує, що дана мережа надійніша, адже має зв'язки від усіх вхідних вузлів.

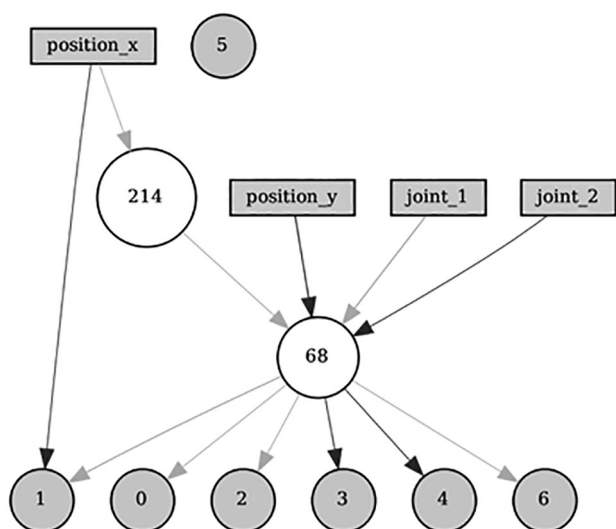


Рис. 6. Структура нейромережі, що закодована в найкращому геномі з використанням NEAT з пошуком новизни

Збільшення кількості поколінь дозволить мережі дорозвинути переможця для отримання ефективного контролеру з мінімальною конфігурацією та керуванням усіма доступними управляючими сигналами. Зокрема, одночасним приростом кутів з'єднань 1 і 2 (вихідний вузол 5), який не має розвинутих зв'язків у отриманій конфігурації з найкращого геному.

## Висновки

Вирішення задачі здійснення захватів роботизованою кінцівкою вимагає надійних стратегій керування, що мають враховувати варіативність умов середовища. Позиціонування робочої кінцівки має значний простір пошуку, тож класичні методи програмування контролерів дають ефективні рішення лише для чітко визначених обмежених виробничих умов. А в умовах довільного середовища мають бути використані контролери, що використовують знання, накопичені під час взаємодії з цим середовищем. Інтеграція таких методів штучного інтелекту, як машинне навчання та навчання з підкріпленням, сприяла значному прогресу у вирішенні складнощів позиціонування рук і маніпулювання об'єктами.

У статті досліджено підхід до покращення ефективності навчання політики управління роботизованою кінцівкою у формі нейромережі з допомогою використання пошуку новизни для нейроеволюційного алгоритму NEAT. Задача позиціонування має такий ландшафт функцій пристосованості, що робить її схильною потрапляти у пастки локального оптимуму. Експерименти з моделлю двовимірної роботи з двома ланками показали, що використання пошуку новизни дозволяє отримати ефективну політику в формі нейромережі. Адже NEAT з пошуком новизни покращує здатність алгоритму знаходити інноваційні та ефективні рішення, сприяючи розвитку більш універсальних і потужних архітектур нейронних мереж.

Розробка оптимальних політик управління із застосуванням нейроеволюційного підходу може забезпечити не лише високу точність позиціонування, а й мінімальну конфігурацію. А це підвищує швидкість системи, яка є важливою характеристикою для роботизованої системи. Майбутні дослідження даного підходу для вирішення задачі позиціонування в системах більшої розмірності та складних роботизованих систем становлять особливий інтерес для покращення програмних контролерів управління роботизованими кінцівками в динамічних умовах реального світу.

## Література:

1. I. Omelianenko, Hands-On Neuroevolution with Python: Build high-performing artificial neural network architectures using neuroevolution-based algorithms, Packt Publishing, 2019
2. R. Mahjourian, R. Miikkulainen, Neuroevolutionary Planning for Robotic Control, Department of Computer Science The University of Texas at Austin Austin, 2018
3. Kenneth O. Stanley and Risto Miikkulainen, Evolving Neural Networks Through Augmenting Topologies, Evolutionary Computation 10 (2): 99-127, 2002.
4. Застосування засобів нейроеволюції в технічних системах автоматизації керування / А.Ю. Дорошенко, І.З. Ашур

// Проблеми програмування. – 2021. – № 1. – С. 16-25

5. Альона Вітюк, Анатолій Дорошенко. Програмний пакет для оцінки похибка калібрування стереокамери в системі комп'ютерного зору. Проблеми програмування, 2022. № 3-4. С. 469–477. <https://doi.org/10.15407/pp2022.03-04.469>
6. M. Würtinger, Neuroevolution for Robot Control, Test Framework and Experimental Evaluation, Institut für Informatik Lehrstuhl für Programmierung und Softwaretechnik, 2011. URL: [https://www.pst.ifi.lmu.de/Lehre/Abschlussarbeiten/vorlagen/thesis-wuertinger\\_2011-12-19.pdf](https://www.pst.ifi.lmu.de/Lehre/Abschlussarbeiten/vorlagen/thesis-wuertinger_2011-12-19.pdf)
7. OpenAI Gym 2D Robot Arm Environment, URL: <https://github.com/ekorud-awan/gym-robot-arm>
8. Huang, Pei-Chi, Sentis et al., Tradeoffs in Neuroevolutionary Learning-Based Real-Time Robotic Task Design in the Imprecise Computation Framework. ACM Transactions on Cyber-Physical Systems. 3. 1-29. 10.1145/3178903, 2019

Одержано: 30.08.2023

### *Про авторів:*

Вітюк Альона Євгеніївна,  
аспірант НТУУ «КПІ імені Ігоря  
Сікорського».  
Кількість наукових публікацій  
в українських виданнях – 4.  
<https://orcid.org/0000-0002-1445-9598>

Дорошенко Анатолій Юхимович,  
доктор фізико-математичних наук,  
професор, завідувач відділу теорії  
комп'ютерних обчислень Інституту  
програмних систем НАН України,  
професор кафедри автоматики і управління  
в технічних системах НТУУ  
«КПІ імені Ігоря Сікорського».  
Кількість наукових публікацій  
в українських виданнях – понад 200.  
Кількість наукових публікацій  
в іноземних виданнях – понад 80.  
Індекс Гірша – 6.  
<http://orcid.org/0000-0002-8435-1451>,

### *Місце роботи авторів:*

Національний технічний університет  
України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського»,  
проспект Перемоги 37  
та Інститут програмних систем НАН  
України, 03187, м. Київ-187, проспект  
Академіка Глушкова, 40.  
e-mail: [alyonavityuk@gmail.com](mailto:alyonavityuk@gmail.com),  
[doroshenkoanatoliy2@gmail.com](mailto:doroshenkoanatoliy2@gmail.com)

## ПРОБЛЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПЛАНУВАННЯ СИЛ, ЗАСОБІВ ТА РЕСУРСІВ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ПРОТИДІЄЮ НАДЗВИЧАЙНИМ СИТУАЦІЯМ

У статті розглянуто питання автоматизації планування сил, засобів та ресурсів, використовуваних у процесі протидії надзвичайній ситуації. Наведено формальний опис задачі планування сил, засобів та ресурсів та обґрунтовано, що ця задача включає дві взаємопов'язані задачі, які передбачають виконання оцінки потенційних можливостей аналізованого регіону щодо доступних сил, засобів та ресурсів для протидії надзвичайній ситуації та генерування варіантів угруповань сил, засобів та ресурсів, функціонально достатніх для протидії аналізованій надзвичайній ситуації з урахуванням множини обмежень. Детально розглянуто питання автоматизації рішення задач оцінки потенційних можливостей регіону та генерації варіантів угруповань сил, засобів та ресурсів. Охарактеризовано основні функції систем АНАЛІЗ та СИНТЕЗ, засобами яких зазначені задачі вирішуються. Обґрунтовано, що завдяки вирішенню цих задач забезпечується адаптація електронного плану дій до реальних можливостей регіону.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, електронний план дій, планування, сили, засоби, ресурси, регіон.

### Вступ

В статті [1] в рамках опису архітектури СППР СПОР були коротко розглянуті питання адаптації типового електронного плану дій (ЕПД) до реальних можливостей та властивостей регіону НС. Метою даної статті є деталізація цих питань з точки зору особливостей автоматизації їх вирішення.

Однією з найактуальніших задач, що вирішується в процесі ухвалення рішень та характеризується складністю формалізації, є планування цілеспрямованих дій, упорядкована сукупність яких дозволяє отримати бажаний результат. У процесі ухвалення рішень, спрямованих на протидію надзвичайній ситуації (НС), проблема планування дій стає центральною, визначає дійовість і ефективність заходів, що вживаються в процесі протидії НС, та формує стратегію дій сил та засобів, залучених для ліквідації НС. Електронними прототипами фіксації такої стратегії є ЕПД [2].

Формування стратегії дій сил та засобів, що потребують відповідних ресурсів, залежить від якості розв'язання задачі планування сил, засобів та ресурсів (СЗР), необхідних для протидії НС. В свою чергу, задача планування СЗР перебуває у безпосередньому зв'язку із задачею планування заходів протидії НС.

У цілому зміст задачі планування СЗР полягає у наступному: для заданої НС, яка визначається класом, вектором потужностей робіт (дій), необхідних для її подолання, і місцем (регіоном) протікання, виходячи з наявних у регіоні і доступних для використання СЗР, необхідно побудувати і оцінити повну сукупність угруповань СЗР, здатних досягти місця подій у визначений час і подолати НС, не перевищуючи водночас ліміту доступних ресурсів.

Означена структура задачі планування має складний взаємозалежний характер, який потребує спеціального аналізу на формальному рівні з урахуванням результатів, викладених в [3].

### 1. Формальний опис задачі планування сил, засобів та ресурсів

Задача  $P_{СЗР}$  планування СЗР формально може бути описана за допомогою кортежу:

$$P_{СЗР} = \langle R, NS, Pr \rangle,$$

де  $R$  – регіон, що розглядається;

$NS$  – НС, що виникла в регіоні  $R$ ;

$Pr$  – правила планування СЗР, порядок використання та зміст яких залежать від змісту і структури елементів  $R$  та  $NS$ .

Регіон  $R$  може бути описаний четвіркою:

$$R = \langle S, C, E, P \rangle,$$

де  $S$  – система зв'язків у регіоні  $R$ ;

$C$  – сукупність сил та засобів різних класів, розташованих у регіоні  $R$ ;

$E$  – сукупність ресурсів різних класів, розташованих у регіоні  $R$ ;

$P$  – сукупність пунктів локалізації елементів  $C$  та  $E$  у регіоні  $R$ .

У свою чергу, НС  $NS$  може бути описана так:

$$NS = \langle CL, MS \rangle,$$

де  $CL$  – клас НС (відповідно до Класифікатора НС [4]);

$MS$  – кількісні характеристики НС.

Під правилами  $Pr$  будемо розуміти відображення  $pr$ :

$$pr: NS \rightarrow EPD^n,$$

де  $EPD^n$  – типовий ЕПД, що у графоматематичному вигляді представляє особливості аналізованої НС  $NS$ ;  $n$  – кількість альтернатив протидії НС  $NS$ , що враховують множину доцільних технологій протидії та множину варіантів можливого використання СЗР у складі технологій протидії  $NS$ ;  $n \in N$ , де  $N$  характеризує потенційну багатоальтернативність протидії НС, виходячи із властивостей  $NS$  та прогнозованих можливостей регіону  $R$ .

Необхідно зазначити, що задача розроблення типового ЕПД [2] відповідає практичній інтерпретації наведеного відображення.

Система зв'язків  $S$  між пунктами  $P$  описується двійкою:

$$S = \langle D, SV \rangle,$$

де  $D$  – показник пропускнуої спроможності окремого зв'язку з  $S$  для сил та засобів  $C$  в регіоні  $R$ ;

$SV$  – властивості зв'язку  $S$ , які впливають на витрати ресурсів  $E$  під час його використання.

Сукупність сил та засобів  $C$  є об'єднанням окремих одиниць сил та засобів  $C_j$ :

$$C = \bigcup_{j \in J} C_j,$$

де  $J$  – множина класів сил та засобів.

$C_j$  описується кортежем:

$$C_j = \langle M, Ep \rangle,$$

де  $M$  – множина потужностей  $M_j$  у всіх видах робіт, для яких одиниця сил та засобів  $C_j$  призначена;

$Ep$  – множина ресурсів  $Ep_j^k$ , необхідних для використання одиницею сил та засобів  $C_j$ .

Сукупність ресурсів  $E$  є об'єднанням окремих ресурсів  $E_j^k$ :

$$E = \bigcup_{\substack{k \in K \\ j \in J}} E_j^k,$$

де  $K$  – множина класів ресурсів.

У свою чергу,  $E_j^k$  може бути представлена двійкою:

$$E_j^k = \langle CLE, KE \rangle,$$

де  $CLE$  – клас ресурсу;

$KE$  – кількість ресурсу.

Водночас необхідно, щоб виконувалась вимога:

$$Ep_j^k \subset E_j^k.$$

Кількісні характеристики  $MS$  НС можуть бути описані наступним чином:

$$MS = \langle CLW, KW \rangle,$$

де  $CLW$  – клас виду робіт, необхідних для подолання НС  $NS$ ;

$KW$  – необхідна потужність із даного виду робіт.

$M_j$  може бути описана за допомогою кортежу:

$$M_j = \langle CLW_j, KW_j \rangle,$$

де  $CLW_j$  – клас виду робіт, який виконується одиницею сил та засобів  $C_j$ ;

$KW_j$  – потужність із даного виду робіт, яка відповідає одиниці сил та засобів  $C_j$ .

Однак необхідно, щоб виконувалась вимога:

$$MS \subset M_j.$$

Разом з тим, вирішуючи задачу  $P_{СЗР}$  планування СЗР для подолання НС  $NS$ , необхідно враховувати наступні обмеження:

1) для кожної компоненти  $CLW_j$  вектору потужностей  $KW$  має виконуватись умова:

$$\sum_{j \in J} KW_j^{CLW_j} \leq KW_R^{CLW_j};$$

2) для кожної компоненти  $CLE$  вектору ресурсів  $E$  має виконуватись умова:

$$\sum_{j \in J} Ep_j^{CLE} \leq E_R^{CLE}$$

(до обмежень (2) також мають входити витрати на переміщення сил та засобів до місця подій);

3) для кожної одиниці сил та засобів формується показник прохідної спроможності  $D$ , який формалізує характер впливу стану та властивостей зв'язку  $S$  для елементів множини  $C$ , що також входить до складу обмежень задачі;

4) до системи обмежень також входять географічні умови регіону  $R$ , зафіксовані у його оперативній електронній карті (ОЕК), а також дані БД сил і засобів  $C$  та ресурсів  $E$  регіону  $R$ .

Розв'язанням задачі планування СЗР є формування остаточного ЕПД  $EPD_R^{n_1}$  ( $EPD_R^{n_1} \subset P_{СЗР}$ ), адаптованого до реальних можливостей регіону  $R$  шляхом залучення для протидії НС необхідних угруповань СЗР, наявних в регіоні  $R$ . Це забезпечується в результаті виконання операції  $r$  над  $EPD^n$  та відповідає конкретизації змісту й структури типового ЕПД реальним даним про існуючі СЗР регіону  $R$ :

$$r: EPD^n \rightarrow EPD_R^{n_1},$$

де  $n_1$  – кількість альтернатив протидії НС  $NS$  з урахуванням реальних властивостей регіону  $R$  (в тому числі мережі доріг, на яких мають виконуватись транспортні операції);  $n < n_1 \leq N$ .

З іншого боку, типові ЕПД  $EPD^n$  можуть бути подані як об'єднання деякої сукупності технологій  $T^n$ , види, кількість і зміст яких залежать як від виду НС  $NS$ , так і від знань про існуючі заходи протидії НС  $NS$ :

$$EPD^n = \bigcup_{n \in N} T^n.$$

У свою чергу, технології  $T^n$  можуть бути подані як об'єднання семантично упорядкованої сукупності технологічних операцій  $TO_f$ , які є елементарними складовими типових ЕПД  $EPD^n$  і можуть використовуватися в складі багатьох технологій  $T^n$ :

$$T^n = \bigcup_{f \in F} TO_f.$$

Потужність  $F$  множини технологічних операцій визначає необхідну їх кількість, а елементи множини характеризують семантику таких операцій, що у сукупності формує необхідний набір технологічних операцій [2], використовуваний для створення ЕПД засобами СППР СПОР.

Таким чином, транзитивно отримуємо:

$$EPD^n = \bigcup_{f \in F} TO_f.$$

Отже, виконання операції  $r$  слід інтерпретувати як проведення аналізу можливості виконання сукупності технологічних операцій  $TO_f$  у складі типового ЕПД  $EPD^n$  з протидії НС  $NS$  на основі реальної інформації про стан СЗР регіону  $R$  та вибір сукупності технологій  $T^n$ , які забезпечені необхідними СЗР, і можуть бути виконані з урахуванням наведених вище обмежень 1 – 4, та, як наслідок, формують остаточний ЕПД  $EPD_R^{n_1}$ , адаптований до реальних можливостей регіону  $R$ .

Виходячи з викладеного, у загальному випадку задача планування СЗР складається з двох взаємопов'язаних задач, що включають до свого складу:

1) оцінку потенційних можливостей регіону НС щодо доступних СЗР для протидії НС;

2) генерування варіантів угруповань СЗР, функціонально достатніх для протидії НС з урахуванням множини обмежень.

Питання автоматизації розв'язання зазначених задач розглянуто відповідно в п.2 та п.3 статті.

## 2. Оцінка потенційних можливостей регіону НС

Оцінка потенційних можливостей регіону НС щодо доступних СЗР виконується засобами системи АНАЛІЗ. Систему АНАЛІЗ реалізовано мовою PDC Visual Prolog 5.2. До складу системи АНАЛІЗ входить база знань (БЗ) разом з інструментальними засобами її супроводу, в якій,

зокрема, представлені знання про множину технологій протидії різним НС.

Слід зауважити, що результативне вирішення задачі аналізу можливостей регіону засобами системи АНАЛІЗ потребує наявності розвиненого інформаційного забезпечення (БД регіону), яке зберігало б актуальну інформацію про СЗР, розміщені у регіоні (наприклад, у складі семантичних БД ОЕК регіону).

Система АНАЛІЗ забезпечує виконання наступних функцій [5]:

- 1) аналіз можливостей регіону щодо протидії НС;
- 2) синтез видів НС, що можуть бути подолані за рахунок власних СЗР регіону;
- 3) прогноз можливостей регіону щодо протидії НС.

Реалізація зазначених функцій зводиться до виконання, з одного боку, аналізу можливості протидії виду НС, що розглядається, з іншого боку – синтезу складних технологій протидії НС, забезпечених необхідними СЗР. Водночас, якщо виконання функції (2) ґрунтується на аналізі СЗР, розташованих виключно в регіоні, що розглядається, то виконання функцій (1) і (3) – на аналізі всього комплексу доступних СЗР (у тому числі тих, що знаходяться за межами регіону). У процесі аналізу відповідних доступних СЗР здійснюється формування множини складних технологій, виконання яких забезпечується за рахунок існуючих сукупностей СЗР.

Таким чином, виконання аналізу доступних СЗР дозволяє обмежити множину потенційно можливих альтернатив протидії до множини згенерованих складних технологій, забезпечених необхідними формуваннями СЗР.

**2.1. Задача аналізу можливостей регіону щодо протидії НС.** Призначенням цієї задачі є виконання попереднього планування СЗР, яке полягає у генеруванні множини складних технологій, потенційно застосовних для протидії НС, що розглядається, забезпечених необхідними формуваннями СЗР. У результаті розв'язання цієї задачі генеруються всі можливі варіанти складних технологій протидії НС, які можуть бути підрозділені на два види: складні

технології, виконання яких досягається виключно за рахунок СЗР, розміщених у межах регіону, і складні технології, виконання яких забезпечується за умови спільного використання СЗР, розміщених як у регіоні, так і за його межами. Згенеровані складні технології та відповідні їм сукупності СЗР формують вихідну інформацію для системи СИНТЕЗ (див. п.3 статті).

Для розв'язання задачі аналізу використовуються алгоритми пошуку на оргграфах. Як оргграф виступає граф технологій протидії НС. Як вершини графа виступають елементи технологій, декомпозовані до рівня окремих операцій, і найменування СЗР, що використовуються для виконувальності окремих операцій. Зв'язна сукупність таких вершин формує структуру технологій протидії НС, що розглядається. Для оброблення такого оргграфу використовується модифікований алгоритм пошуку в глибину із поверненням. У процесі пошуку виконується зіставлення окремих знайдених екземплярів СЗР і використовуваних для виконання розглянутої технології протидії НС, з конкретними СЗР, розташованими в регіоні. В результаті завершення пошуку в глибину формуються дві різні множини варіантів:

- 1) множина варіантів угруповань СЗР, розташованих у регіоні НС, необхідних для протидії НС;
- 2) множина додаткових варіантів угруповань СЗР, необхідних для протидії НС, що розташовані як у регіоні НС, так і за його межами.

Найменування екземплярів СЗР, що складають варіанти угруповань СЗР, розташованих у межах регіону НС, формується із зазначенням місць їх дислокації та кількості, з посиланнями на технології протидії НС, для здійсненності яких даний екземпляр СЗР необхідний. Найменування екземплярів СЗР, необхідних для протидії НС та розташованих за межами регіону НС, формуються лише із зазначенням тих технологій протидії НС, для здійсненності яких даний екземпляр СЗР необхідний.

Водночас, загальна кількість сформованих варіантів протидії буде визначатися як об'єднання доступних та альтернатив-

них сукупностей технологій протидії НС, що відповідає всьому вектору технологій протидії аналізованій НС, представлених у БЗ системи АНАЛІЗ.

**2.2. Задача синтезу видів НС, що можуть бути подолані за рахунок власних СЗР регіону** є зворотною до задачі, розглянутій в п.2.1. Призначення цієї задачі полягає у виконанні завчасного (не оперативного) аналізу дієздатності регіону з метою визначення множини видів НС, протидія яким досяжна за рахунок власних СЗР регіону, що, з одного боку, значно знижує невизначеність, властиву початковим етапам процесу ухвалення рішень щодо протидії НС, з іншого боку – дозволяє своєчасно і мотивовано використовувати відповідні доступні СЗР для оперативної протидії НС.

Для розв'язання задачі синтезу видів НС застосовано метод прямого логічного виводу, запропонований у [6]. Як початковий стан виводу виступають екземпляри СЗР, розташовані в регіоні НС. Логічний вивід, що полягає у висхідному просуванні мережевою структурою технологій, представлених у БЗ системи АНАЛІЗ, успішно виконується за умови, коли кожна субтехнологія, що входить до складу технології протидії окремій НС, забезпечена необхідними СЗР регіону; в іншому випадку технологія виведена не буде. Розв'язання задачі синтезу засобами системи АНАЛІЗ здійснюється в результаті вибору регіону НС та виконання процесу прямого логічного виводу, внаслідок якого формується множина видів НС, яким спроможний протидіяти цей регіон за рахунок власних СЗР.

**2.3. Задача прогнозу можливостей регіону щодо протидії НС.** Призначенням цієї задачі є виконання завчасного (не оперативного) аналізу дієздатності регіону з метою отримання прогнозної оцінки щодо можливості виникнення видів НС, породження яких спричиняється життєдіяльністю та особливостями регіону, що розглядається. А також – завчасного планування заходів протидії таким НС, що дозволяє, з одного боку, мотивовано оцінювати характер впливу об'єктів, що розміщуються (зводяться) в регіоні, на його нормальну життєдіяльність, з іншого боку – отримувати вичерпну

інформацію про необхідні сукупності СЗР, які вимагають свого розміщення у регіоні.

Розв'язання цієї задачі ґрунтується як на інформації БД про потенційно небезпечні виробництва, розташовані в регіоні, так і на знаннях, представлених у БЗ системи АНАЛІЗ, що описують каузальні зв'язки між видами небезпечних виробництв і типами НС, які можуть бути спричинені небезпечними виробничими процесами. Алгоритми розв'язання цієї задачі ґрунтуються на алгоритмах пошуку на оргграфах (див. п.2.1).

Розв'язання задачі прогнозу передбачає вибір досліджуваного регіону та виконання обстеження готовності СЗР регіону протидіяти можливим НС, виникнення яких потенційно може бути викликане функціонуванням виробництв, розташованих у досліджуваному регіоні. Результати обстеження регіону поділяються на два випадки: задовільне забезпечення та незадовільне забезпечення регіону. У випадку, коли забезпечення регіону угрупованнями СЗР є задовільним, система АНАЛІЗ пропонує для огляду склад технологій протидії можливим НС та відповідні СЗР із зазначенням місць їх розташування та кількості. У випадку, коли забезпечення регіону є незадовільним, система пропонує для огляду не тільки інформацію про доступні СЗР, а й вказує на необхідні додаткові СЗР, залучення яких необхідне для протидії аналізованій НС.

Отже, реалізоване засобами системи АНАЛІЗ комплексне вирішення проблеми оцінки можливостей регіону дозволяє швидко і точно оцінювати рівень готовності регіону до протидії множині НС, які входять до складу Класифікатора НС. Отримувані результати дозволяють адекватно оцінювати ступінь дієздатності окремого регіону та планувати перелік необхідних заходів для підвищення його готовності до подолання потенційно можливих НС.

### **3. Генерування варіантів угруповань СЗР**

Генерування варіантів угруповань СЗР, функціонально та кількісно достатніх для протидії НС з урахуванням множини обмежень, виконується засобами системи

СИНТЕЗ. Систему СИНТЕЗ реалізовано мовою PDC Visual Prolog 5.2.

Генерування варіантів угруповань СЗР [7] передбачає на основі врахування всіх обставин поточної ситуації вирішення задач оперативного комбінування, розподілу та доставки на місце подій угруповань СЗР, визначених засобами системи АНАЛІЗ, необхідних та достатніх для подолання НС у межах аналізованих складних технологій протидії. Під вирішенням завдань комбінування, розподілу та доставки угруповань СЗР мається на увазі побудова та оцінка повної сукупності угруповань сил та засобів, здатних досягти в заданий час місця подій та подолати НС, одночасно не перевищуючи ліміту доступних ресурсів.

На відміну від системи АНАЛІЗ, що здійснює якісний аналіз можливості використання СЗР для протидії НС, система СИНТЕЗ забезпечує варіантне планування СЗР на підставі кількісного аналізу СЗР та здійснює порівняння, оптимізацію та остаточний вибір угруповань сил та засобів за показниками коефіцієнту запасу за всіма компонентами вектору потужностей для НС та коефіцієнту використання доступних ресурсів за всіма компонентами вектору ресурсів регіону. В процесі оперативного планування формується множина варіантів комбінацій сил та засобів, що задовольняють усю систему обмежень. У разі, якщо система АНАЛІЗ породжує рішення, що потребують додаткових угруповань СЗР, засобами системи СИНТЕЗ здійснюється пошук варіантів угруповань сил та засобів, розташованих за межами регіону НС, із знаходженням найкращих із них за критеріями найменшого дефіциту потужностей чи ресурсів.

Вихідними даними для задачі варіантного планування СЗР є: умови регіону та території місця подій, запаси різних ресурсів; характеристики транспортних комунікацій; доступні сили та засоби із зазначенням їхніх характеристик та пунктів розміщення; опис НС з конкретизацією класу, місця подій, потужності та фронту робіт (обмежень на можливу кількість одночасно розгорнутих сил та засобів). Варіантне пла-

нування здійснюється з використанням інформації про дорожню мережу регіону НС, що надходить з картографічної БД ОЕК.

Рішенням варіантного планування є синтезування впорядкованих альтернативних варіантів угруповань сил та засобів, що описуються структурою, складом і схемами переміщення до місця подій, яке відповідає наступним умовам:

1) Кожне угруповання сил та засобів має:

- потужності, достатні для подолання НС за всіма видами виконуваних робіт;
- необхідний фронт робіт на місці подій;
- можливість досягти місця подій за дорожніми умовами;
- усі необхідні ресурси;

2) Витрати сукупності залучених угруповань сил та засобів не перевищують ресурсних обмежень за будь-яким видом ресурсів.

Під час вирішення задачі синтезу варіантів угруповань СЗР здійснюється оброблення графу технологій протидії НС, який за своїми властивостями подібний до орграфу, використовуюваного для аналізу можливостей регіону (див. п.2.1). За вершини графа виступають елементи технологій, декомпозовані до рівня окремих операцій, та найменування СЗР, що використовуються для виконання операцій. Пов'язна сукупність таких вершин формує структуру технологій протидії досліджуваній НС. Для оброблення такого орграфу використовується алгоритм пошуку в глибину із поверненням. У процесі пошуку виконується зіставлення окремих знайдених екземплярів СЗР і використовуваних для виконання розглянутої технології протидії НС, з конкретними СЗР, розташованими в регіоні, з урахуванням їх кількісних показників. У результаті виконання недетермінованого пошуку формується множина варіантів угруповань СЗР, що функціонально та кількісно достатні для протидії НС з урахуванням множини визначених обмежень.

Таким чином, в результаті виконання автоматизованого оперативного планування процесів протидії генеруються сукупності

складних технологій протидії НС, здійснення яких забезпечується за рахунок чітко визначених угруповань СЗР, за всіма показниками здатних виконати відповідні необхідні обсяги робіт із протидії НС.

#### 4. Формування остаточного ЕПД, адаптованого до регіону НС

Результати оперативного планування, що виконуються засобами систем АНАЛІЗ та СИНТЕЗ, використовуються для формування остаточного ЕПД, адаптованого як до властивостей і можливостей регіону, що розглядається, так і до особливостей НС, що відбувається. Процес адаптації типового ЕПД забезпечується засобами СППР СПОР за рахунок:

1. Збереження у ПД лише тих альтернативних технологій протидії НС, які забезпечені необхідними СЗР;

2. Остаточної автоматизованої параметризації операцій, що становлять дієздатні технології протидії НС;

3. Автоматизованого додавання до ЕПД картографічної інформації БД ОЕК про транспортні комунікації та автоматичну параметризацію транспортних операцій.

У результаті виконаної адаптації типового ЕПД формується остаточний ЕПД, що за структурою та змістом відповідає реальним можливостям регіону НС.

Інакше кажучи (див. п.1 статті), формування остаточного ЕПД  $EPD_R^{n_1}$  відбувається в результаті виконання операції  $r$  з адаптації типового ЕПД  $EPD^n$  до реальних можливостей регіону  $R$ :

$$r: EPD^n \rightarrow EPD_R^{n_1}.$$

Як впливає з викладеного, операція  $r$  включає виконання оцінки потенційних можливостей регіону НС щодо доступних СЗР для протидії НС та на основі отриманих результатів генерування варіантів угруповань СЗР, функціонально достатніх для протидії НС з урахуванням множини обмежень.

У результаті виконання операції  $r$  формується остаточний ЕПД  $EPD_R^{n_1}$ , де індекс  $R$  означає, що ЕПД адаптований до можливостей регіону  $R$ . Індекс  $n_1$  характе-

ризує кількість альтернатив протидії НС  $NS$  з урахуванням можливостей регіону  $R$ . Як показано в п.1 статті,  $n < n_1 \leq N$ . Значимо, що, незважаючи на те, що в результаті виконання операції  $r$  кількість альтернатив протидії НС  $NS$  зменшується (в порівнянні з  $n$ ) за рахунок відкидання альтернатив, не забезпечених необхідними угрупованнями СЗР, вона одночасно зростає за рахунок додавання альтернатив, пов'язаних з мережею доріг, на яких відбуватимуться транспортні операції. Як наслідок, фактична кількість альтернатив  $n_1$  буде більше  $n$ , але не більше  $N$ , де  $N$  характеризує потенційну багатоальтернативність протидії НС виходячи із властивостей  $NS$  та прогнозованих можливостей регіону  $R$ .

#### Висновки

Однією з найбільш відповідальних задач, що вирішуються на початкових етапах виникнення НС, є задача планування СЗР, сутність якої полягає в оперативному і точному визначенні (з урахуванням системи обмежень) угруповань СЗР, функціонально здатних протидіяти НС. Від якості вирішення цієї задачі значною мірою залежить ефективність та результативність виконання процесу протидії НС.

У статті виконано формальний опис та запропоновано постановку задачі планування СЗР, на основі якої показано, що вирішення цієї задачі передбачає послідовне розв'язання двох взаємопов'язаних задач аналізу можливостей регіону НС та синтезу дієздатних угруповань СЗР, спроможних результативно протидіяти НС. Детально розглянуто питання автоматизації рішення цих задач та охарактеризовано основні функції систем АНАЛІЗ та СИНТЕЗ, засобами яких зазначені задачі вирішуються. Обґрунтовано, що завдяки вирішенню задач аналізу можливостей регіону НС та синтезу дієздатних угруповань СЗР, забезпечується оперативна адаптація електронного плану дій до реальних можливостей регіону.

## Література

1. Яловець А.Л. Архітектура та функціональні можливості системи підтримки прийняття рішень СПОР. *Проблеми програмування*, 2023. №2. С. 3 – 9.
2. Яловець А.Л. Про формалізацію планів дій з протидії надзвичайним ситуаціям. *Проблеми програмування*, 2023. №1. С. 38 – 47.
3. Кондращенко В.Я., Яловець А.Л. Формальные основы планирования сил, средств и ресурсов при решении задач противодействия чрезвычайным ситуациям средствами системы «Цунами-2000». *Моделирование та інформаційні технології*, 1999. Вип.2. С. 3 – 7.
4. ДК 019:2010. Класифікатор надзвичайних ситуацій. Держспоживстандарт України, 2010.
5. Яловець А.Л. Анализ возможностей региона по противодействию чрезвычайным ситуациям на основе СЛМ-модели. *Научно-практичные проблемы моделирования та прогнозування надзвичайних ситуацій*. К.: КНУ-БА, МНС України, 2000. Вип.4. С. 18 – 24.
6. Яловець А.Л. Представление и обработка знаний с точки зрения математического моделирования: Проблемы и решения. Киев: Наукова думка, 2011. 360 с.
7. Кондращенко В.Я. Синтез структуры угруповань сил та засобів при проектуванні заходів протидії комплексним надзвичайним ситуаціям. *Моделирование та інформаційні технології*, 2000. Вип. 6. С. 3 – 10.
4. ДК 019:2010. Classifier of emergency situations. State consumer standard of Ukraine, 2010. (in Ukrainian).
5. Yalovets A.L. Analysis of the region's capabilities to counter emergency situations based on the SLM model. *Scientific and practical problems of modeling and forecasting emergency situations*. K.: KNU-BA, Ministry of Emergency Situations of Ukraine, 2000. Iss.4. P. 18 – 24. (in Russian).
6. Yalovets A.L. Knowledge representation and processing from the point of view of mathematical modeling: Problems and solutions. Kyiv: Naukova Dumka, 2011. 360 p. (in Russian).
7. Kondrashchenko V.Ya. Synthesis of the structure of groups of forces and means in the design of countermeasures against complex emergency situations. *Modeling and information technologies*, 2000. Iss.6. P. 3 – 10. (in Ukrainian).

Одержано: 03.08.2023

## Про автора:

Яловець Андрій Леонідович,  
доктор технічних наук,  
головний науковий співробітник.  
Кількість наукових публікацій  
в українських виданнях – понад 100.  
Кількість наукових публікацій  
в зарубіжних виданнях – 5.  
<http://orcid.org/0000-0001-6542-3483>

## Місце роботи автора:

Інститут проблем математичних машин  
та систем НАН України.  
03187, Київ-187,  
проспект Академіка Глушкова, 42.  
Тел.: (044) 526 13 69.  
E-mail:[andriy.yalovets@gmail.com](mailto:andriy.yalovets@gmail.com)

## References

1. Yalovets A.L. Architecture and functional capabilities of the decision-making support system SPOR. *Problems in programming*, 2023. № 2. P. 3 – 9. (in Ukrainian).
2. Yalovets A.L. On the formalization of emergency action plans. *Problems in programming*, 2023. № 1. P. 38 – 47. (in Ukrainian).
3. Kondrashchenko V.Ya., Yalovets A.L. Formal foundations for planning forces, means and resources in solving problems of countering emergency situations by means of the system Tsunami-2000. *Modeling and information technologies*, 1999. Iss.2. P. 3 – 7. (in Russian).

## РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИХ ВЕБПОРТАЛІВ НА ОСНОВІ СЕМАНТИЧНИХ ВІКІТЕХНОЛОГІЙ: ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Проаналізовано основні функції сучасних вебпорталів та їхні відмінності від інших типів сайтів. Розглянуто тенденції розвитку інформаційно-аналітичних вебпорталів, що стосуються їхньої семантизації, та технології обробки знань, які можуть для цього застосовуватися. Проаналізовано типові проблеми, що виникають у процесі створення та розгортання таких порталів. На прикладі порталу, що базується на семантичних вікітехнологіях, досліджено практичні проблеми впровадження та масштабування засобів та сервісів обробки знань на порталі, запропоновано шляхи їх запобігання та розв'язання.

Ключові слова: інформаційно-аналітичний вебпортал, онтологія, вікітехнологія, сервіси

### Вступ

Сьогодні інтелектуалізація інформаційних технологій (ІТ) є одним із базових напрямків їхнього розвитку, який має як широке теоретичне підґрунтя, так і значні практичні результати, пов'язані із розробкою інтелектуальних застосувань у різних сферах. Саме ці засоби семантизації широко застосовуються для вдосконалення та інтелектуалізації таких розповсюджених джерел інформації, як вебпортали. Потреба в інтелектуальних засобах аналізу інформації обумовлюється тим, що зростає обсяг даних, які потребують обробки, стає більше їх зовнішніх і внутрішніх джерел, вони стають складнішими за структурою та різноманітнішими за формами подання, використовують різні схеми індексації (реляційні, багатовимірні, noSQL тощо). Крім того, все більша кількість застосовних систем призначаються зараз для функціонування у відкритому середовищі (Web або його певних частинах).

Одним із найвідоміших проєктів з інтелектуалізації Web-середовища є Semantic Web, в рамках якого розроблено велику кількість стандартів та засобів подання й обробки інформації на рівні змісту, більшість з яких базується на онтологічному аналізі. Тому обробку знань в ІС усе частіше пов'язують зі створенням, використанням та обробкою онтологій, які підтримуються такими стандартами Semantic Web,

як OWL та RDF, а також різноманітними інструментальними засобами. Але, попри це, інтелектуалізація вебзастосувань великого обсягу та зі складною структурою, до яких належать вебпортали, залишається складною та комплексною проблемою, що потребує як розвитку моделей керування знаннями, так і методів їх практичного застосування.

Семантичні системи є підкласом інтелектуальних систем, в яких засоби подання знань явно відокремлені від засобів обробки. Вони можуть отримувати знання, потрібні для функціонування системи та задоволення інформаційних потреб користувачів, з будь-яких зовнішніх джерел та репозиторіїв [1], що відповідають умовам системи. В такому підході довільна зовнішня онтологія розглядається як “чорний ящик”, про який невідомо нічого, крім його метаданих (які також можуть бути некоректними – застарілими, помилковими або описаними на основі іншої терміносистеми). Саме тому семантизація систем, орієнтованих на відкрите інформаційне середовище, дозволяє значно розширити функціонал таких застосунків та підвищити ефективність їх роботи, але водночас призводить до багатьох складнощів у процедурах аналізу та інтеграції отриманих відомостей.

Сьогодні користувачі Web мають доступ до величезної кількості вебсторінок і

сервісів, але з усього цього розмаїття більшість з них зазвичай використовують лише обмежений набір інформаційних ресурсів (ІР), що відповідають їхнім інтересам та потребам. Водночас кожен з користувачів використовує різні підмножини сторінок та сервісів (хоча можна визначати певні групи із подібними потребами, що використовують однакові або подібні набори). Тому доцільно виокремлювати такі набори потреб та створювати ІС, які забезпечують доступ до відповідних ресурсів та підтримують сервіси їх обробки. Саме до такого функціоналу ІС, що орієнтовані на функціонування у вебсередовищі, найближче подібне поняття вебпорталу.

Вебпортали дозволяють користувачам отримувати швидкий доступ саме до тих наборів вебсторінок, якими вони зазвичай користуються, і сервісів, орієнтованих на обробку саме таких сторінок. Уся інформація та сервіси, пропонувані на порталі, можуть розглядатися як спроба автоматизовано сформувати та зафіксувати саме таку підмножину інформації, яку обрав би сам користувач, якби мав достатній час і досвід для створення персонального набору вебсторінок [2]. Тому вебпортали доцільно розглядати як засіб персоніфікованої та задача-орієнтованої інтеграції відомостей та послуг, доступ до яких забезпечує вебсередовище. Саме такий підхід дозволяє ефективніше аналізувати потенційні напрямки розвитку вебпорталів, визначати існуючі проблеми та шляхи їх розв'язання на основі сучасних технологій обробки інформації та аналізу даних.

Серед усього розмаїття вебпорталів можна виділити підмножину інформаційно-аналітичних вебпорталів, які забезпечують ширший набір аналітичних сервісів та засобів здобуття знань з наявної сирової інформації. Вони передбачають можливість обробки контенту на рівні знань та використання елементів Data Mining, машинного навчання та логічного виведення. Такі інформаційно-аналітичні вебпортали потребують більш складних моделей контенту для інтеграції, порівняння, узгодження та візуалізації інформації, що надається користувачам.

Як і інші напрямки розвитку інформаційних систем, вебпортали можуть застосовувати засоби інтелектуалізації, менеджменту знань та машинного навчання для забезпечення користувачів більш розширеним функціоналом, однак вони мають враховувати специфіку роботи у відкритому середовищі та потребу в інтеграції різних моделей подання знань. Потрібно розуміти, що інтелектуальні вебпортали є лише досить обмеженою підмножиною всіх існуючих вебпорталів, і не всі з таких порталів можуть бути в майбутньому інтелектуалізовані (через обрані технології розробки, моделі контенту або особливості використання). Крім того, вибір інформаційних технологій, що припускають можливість інтелектуалізації, не забезпечує автоматичну обробку контенту вебпорталу на рівні знань, а лише надає відповідні інструментальні засоби для їх створення.

### Основні властивості вебпорталів

Аналізуючи перспективи розвитку та можливості інтелектуалізації інформаційно-аналітичних вебпорталів, необхідно спочатку визначити, яку саме підмножину вебресурсів ми розглядаємо як вебпортали та які спільні властивості та функції відрізняють їх від інших типів сайтів. Наразі створено та розвивається багато різних типів порталів, і тому в літературі зустрічається багато різних визначень та наборів таких характеристик, що дозволяють називати певний вебсайт порталом.

Вебпортал – це сайт, організований як багаторівневе об'єднання різних ресурсів і сервісів, засобів навігації та інформаційних служб. Він може використовуватися як точка входу в мережу, що підтримує специфічні інформаційні потреби окремих користувачів або їх груп.

Можна розглядати портал як певний шлюз для доступу до ресурсів мережі, але зараз майже будь-яка вебсторінка відповідає цьому критерію. У Веб можна знайти велику кількість визначень, наприклад, [3] визначає вебпортал як спеціально розроблений вебсайт, який уніфікує надання інформації з різних джерел на одній платформі.

мі, допомагає в навігації та персоналізації сповіщень із розширеними функціями, такими як керування завданнями, співпраця, бізнес-аналітика тощо.

Основні функції вебпорталу:

- оновлення контенту сайту: портал має містити набір інструментів, які покращують пошук інформації, підвищують її якість;

- покращення взаємодії з користувачами сайту: портал надає додаткові можливості спілкування власників сайту з користувачами, для вдосконалення їхніх взаємин з клієнтами, надаючи високоякісну та відфільтровану інформацію на зручній і комплексній платформі;

- орієнтація на домен: вебпортал пов'язаний з певною предметною областю і має забезпечувати різноманітні потреби користувачів, які шукають відповідну інформацію та послуги;

Розробка та дизайн вебпорталу є складним процесом, оскільки його функціональні можливості досить важко заздалегідь визначити, формалізувати та реалізувати. В цілому процес розробки вебпорталу містить усі кроки, необхідні для розробки будь якого вебсайту. Однак різниця полягає в складності реалізації кожного з цих кроків та в наявності додаткових етапів, що стосуються визначення його функцій, кодування, тестування та інтеграції. Отож, вебпортали відрізняються від інших типів вебсайтів ще й тими аспектами, що останні в основному зосереджені на залученні трафіка, тоді як вебпортали призначені для його скорочення за рахунок ефективнішого та персоналізованого аналізу. Тому мови програмування та фреймворки, які в основному використовуються у розробці вебпорталів, мають певну специфіку та потребують значно ширшого функціоналу, а поширеність їхнього застосування різниться порівняно з використанням для створення інших вебсайтів. У [4] наводять набір найбільш поширених фреймворків для створення вебпорталів: AngularJS, Laravel, ReactJS, NodeJS, Ruby on Rails.

Вебпортал забезпечує легкість навігації та підвищення продуктивності в обробці інформації. Він забезпечує універ-

сальний вхід і за потреби забезпечує інтеграцію з іншими програмами та системами.

Хоча можна знайти багато різноманітних характеристик вебпорталів, більшість із них певним чином визначаються саме орієнтацією на деяку обмежену аудиторію користувачів та можливістю надати інтегрований набір найбільш корисних послуг, які підтримують більшість потрібних функцій та не потребують використання зовнішніх сервісів та джерел інформації.

Портали можна розглядати як системи управління знаннями, які дозволяють створювати, обмінюватися та повторно використовувати знання. Вони містять величезну кількість інформації, в тому числі і мультимедійної, що реалізується за рахунок зберігання контенту не в базах даних, а в сховищах і вітринах даних.

Вебпортал є окремим випадком вебсайту. Портал, зазвичай, значною мірою орієнтований на кожного окремого користувача, тоді як вебсайт може не містити елементів персоніфікації. Контент вебпорталу є динамічним і часто змінюється. Вебпортал містить елементи захисту від входу в систему і може підтримувати інформаційну взаємодію, що є специфічною для користувача, а його інтерфейс може бути загальним або приватним. Контент порталу збирається з різних джерел і може бути унікальним для користувача на основі його персональних налаштувань. Портали спрямовані на забезпечення різних типів сервісів, які можуть знадобитися користувачам для отримання та обробки його контенту. Тому вибір сервісів, які підтримуються порталами, великою мірою залежить від тематики порталу та потреб його користувачів.

У [5] вебпортал визначають як вебсайт, який спеціально розроблений так, щоб бути єдиною точкою доступу до інформації. Його також можна вважати бібліотекою персоналізованого та категоризованого контенту. Вебпортали допомагають у пошуку та навігації, забезпечують персоналізацію та інтеграції сповіщень, а також часто надають сервіси, що стосуються керування завданнями, співпраці, бізнес-аналітики та інтеграції з іншими застосунками. Досить часто вирізняють відмінності вебпорта-

лів від інших типів сайтів (таблиця 1), що дозволяють визначити, які саме додаткові функції та обмеження потрібні для розробки таких порталів та які переваги надають ці додаткові ускладнення.

Таблиця 1. Відмінності вебпорталів від інших типів сайтів

| Вебсайт                                                    | Вебпортал                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Доступ через унікальну адресу URL                          | Також використовують для доступу пароль та логін                                                                                   |
| Всі бачать весь контент                                    | Тільки члени спільноти користувачів, що мають пароль, отримують доступ до всього контенту                                          |
| Всі користувачі отримують однаковий контент                | Контент відрізняється для різних груп користувачів                                                                                 |
| Сайтом керує єдина команда адміністраторів                 | Для різних рівнів роботи з контентом застосовують різні команди адміністраторів                                                    |
| Контент є досить стабільним                                | Динамічний контент часто змінюється, що потребує спеціальних інструментів                                                          |
| Розрахований на анонімних користувачів та публічний доступ | Дозволяє персоніфікувати контент та сервіси, що доступні користувачам, підтримує різні рівні доступу до інформації з різних джерел |

Зазвичай, вебпортали забезпечують доступ із різних платформ та видів пристроїв, таких як персональні комп'ютери та смартфони.

Вебпортал можна розглядати як сайт, що надає інформацію та сервіси для використання цієї інформації.

Тенденції розвитку порталів пов'язані із вдосконаленням усіх цих типів сервісів та зі створенням інформаційної інфраструктури порталу, яка забезпечує більш ефективно виконання цих сервісів.

## Класифікація вебпорталів

Існує багато типів класифікації порталів, найбільш поширеними з яких є:

- за цільовою аудиторією;
- за типом контенту;
- за призначенням;
- за технічними ознаками.

За цільовою аудиторією порталів: публічні і корпоративні. Публічні портали орієнтовані на всіх користувачів, а корпоративні – тільки на певну підмножину, наприклад, співробітників і партнерів організації. Крім цього, портали також поділяють за іншими параметрами на інтернаціональні та регіональні. Інтернаціональні портали орієнтовані на всіх користувачів, незалежно від місця їх проживання і мовної приналежності, тоді як регіональні орієнтовані на користувачів із певної місцевості або мовної групи. Приклади горизонтальних порталів — Yahoo! (англомовний), Ukr.net.

За типом контенту вебпортали поділяють на горизонтальні і вертикальні: перші націлені на великі спільноти користувачів, другі ж більш специфічні щодо вмісту та об'єктів. Вертикальні портали містять контент, що стосується однієї теми, а горизонтальні портали охоплюють одночасно багато різних тем, але надають однаковий набір сервісів для обробки інформації з різних напрямків. Вертикальний портал – це точка доступу до певної галузі, ринкової ніші чи сфери інтересів, що стосуються обмеженої тематики, торкаючись лише однієї теми або одного типу тем, таких як страхування, освіта або охорона здоров'я. Наприклад, вертикальний портал [www.contractor.com](http://www.contractor.com) містить інформацію та сервіси для будівельної галузі.

## Тенденції розвитку вебпорталів

Основні напрямки розвитку вебпорталів можна поділити на кілька напрямків (хоча на практиці вони досить часто використовуються разом та у різних комбінаціях): персоніфікацію, вдосконалення сервісів та інтелектуалізацію.

Тенденції розробки інформаційно-аналітичних вебпорталів теж стосуються цих трьох напрямків, але передбачають більшу

увагу до визначення набору сервісів, що надає портал, та додаткові вимоги до подання контенту, які підтримують виконання цих сервісів.

Багато підходів та визначень підкреслюють важливу роль персоніфікації інформації на вебпорталах та можливість застосування знань із зовнішніх джерел та досвіду роботи самого порталу. Така персоніфікація передбачає індивідуальні налаштування та надання індивідуалізованого набору послуг. У найбільш розвинутих порталах – можливість враховувати досвід взаємодії з користувачем та навчатися на цьому досвіді. Але цей параметр більш важливий для вертикальних порталів, де основні відмінності між користувачами стосуються саме вибору підмножини контенту та засобів його обробки. Для горизонтальних порталів це менш важливо і багато в чому залежить від спрямованості порталу. Наприклад, для інформаційних та енциклопедичних порталів персоніфікація зазвичай стосується визначення повноважень, створення персональної сторінки та збереження історії запитів.

Тому питання персоніфікації пов'язане із захистом інформації вебпорталу, а саме – з визначенням набору функцій, що дозволяються певному користувачеві, як щодо перегляду контенту, так і щодо можливостей його редагування.

Сучасні інформаційно-пошукові системи (зокрема, Google) та сервіси прагнуть накопичувати й використовувати досвід взаємодії з конкретним користувачем. Перспективні напрямки розвитку вебпорталів мають також підтримувати ці можливості та забезпечувати доступ як до зовнішніх пошукових сервісів, так і надавати розширений функціонал пошуку в контенті порталу з урахуванням індивідуальних потреб користувача та досвіду його взаємодії з порталом.

Для того, щоб формалізувати інформаційні потреби користувачів та описати структуру й властивості потрібних йому інформаційних об'єктів (ІО), на порталі можуть використовувати такі джерела знань про учасників процесу пошуку:

- *персональний профіль користувача*, у якому містяться відомості про індиві-

дуальні особливості та переваги користувача у споживанні інформації: дані, отримані при реєстрації користувача; результати його анкетування; заявлений користувачем рівень компетентності в різних ПрО, історію його попередніх запитів, модель ПрО його інтересів тощо;

- *знання щодо предметної області пошуку* (наприклад, онтологія відповідної ПрО, тезаурус задачі, посилання на зовнішні БЗ);

- *досвід взаємодії* користувача з порталом: історії запитів цього та інших користувачів, чимось подібних до нього;

- *зовнішні джерела знань*, обрані користувачем і доступні через Web (наприклад, Вікіпедію, словники, Web-сайти).

Значною мірою можливості семантизації порталу визначаються: загальною концепцією розробки порталу, його цілями та призначенням; обраним програмним забезпеченням; моделлю та структурою бази знань порталу; виразною здатністю реалізованих пошукових сервісів; засобами та методами структурування контенту порталу, можливостями експорту зовнішніх баз знань.

Але слід зазначити, що вдалий вибір моделі подання контенту, набору сервісів та їх програмної реалізації не є автоматичною запорукою створення дійсно ефективного семантичного порталу. Необхідно враховувати, що вебпортал функціонує у відкритому інформаційному середовищі, що безперервно змінюється, і тому розробка порталу потребує постійного оновлення та інтеграції як моделі знань, що використовуються на порталі, так і самого контенту, щоб забезпечити його актуальність та несуперечність.

Набір сервісів, що надається вебпорталом, значною мірою визначає його функціонал та сферу застосування. Тому тенденції розвитку вебпорталів мають враховувати розширення набору таких сервісів та вдосконалення якості їхньої роботи. Саме сервіси вебпорталів є одним із важливих критеріїв їх порівняння. Важливо відрізняти, які сервіси дійсно підтримуються на порталі, а які лише декларуються або надаються з обмеженим функціоналом.

Багато дослідників пропонують різноманітні методи, що дозволяють ранжувати вебпортали на основі їхніх умов та політики надання послуг. Наприклад, в [6] розглядаються методи, які застосовують машинне навчання та нейронну мережу обробки природної мови, для порівняння сайтів. Для цього аналізуються умови надання сервісів та угоди, що визначають набір правил, які повинен виконати користувач для того, щоб використовувати послугу, що надається вебсайтом або пошуковою системою.

### Напрямки семантизації вебпорталів

Основні тенденції розвитку порталів стосуються їхньої семантизації та можливості повторного використання інформації. Обидві ці тенденції безпосередньо пов'язані із проектом Semantic Web та широко застосовують стандарти й мови подання знань, створених в рамках цього проекту. Технології Semantic Web (SW) [7] і Linked Data [8] є багатообіцяючим підходом для вирішення проблем семантичної сумісності в середовищі створення розподіленого контенту. На основі комп'ютерно «зрозумілих» зв'язаних великих даних можна створювати інтелектуальні програми для дослідників цифрових гуманітарних наук (DH) і громадськості.

Наприклад, у [9] автори розглядають набір семантичних порталів, що підтримує поєднання портальних технологій з засобами та стандартами обробки розподілених знань та забезпечує створення національної онтологічної інфраструктури культурної спадщини та семантичних порталів “Sampo” (таких як BookSampo, BiographySampo, AcademySampo) на основі пов'язаних даних (Linked Data), технологій Semantic Web та принципів відкритої науки FAIR [10]. Модель Sampo містить три основні компоненти: 1. бізнес-модель для узгодження, агрегування та публікації різноманітного, розподіленого контенту на основі спільної інфраструктури онтології; 2. дизайн інтерфейсу, де дані можна повторно використовувати та отримувати доступ незалежно від різних точок програми, тоді

як дані знаходяться в одній кінцевій точці SPARQL; 3. двоетапну модель для доступу та аналізу даних, де фокус інтересу спочатку фільтрується за допомогою фасетного семантичного пошуку, а потім візуалізується та аналізується за допомогою інструментів порталу.

У [11] наводяться базові вимоги до технологій створення семантичних порталів. Бажані функції семантичного порталу разом із вимогами до інструментів для їх створення, які поділяються на дві групи:

– *вимоги, яким повинні відповідати інструменти для реалізації інтерфейсів користувача семантичного порталу :*

– швидке створення застосунків для конкретних випадків використання;

– можливість запитувати дані безпосередньо з кінцевої точки SPARQL [12];

– дослідження ієрархічних даних за допомогою онтологій;

– підтримка масштабування для обробки великої кількості ІО за обраним сценарієм, використовуючи обмежену кількість ресурсів;

– інтуїтивно зрозумілих і зручних інтерфейсів користувача;

– можливість візуалізацій, які автоматично адаптуються до доступних ресурсів;

– *вимоги, які стосуються структури та функціональних можливостей інтерфейсів користувача семантичних порталів:*

– наявність кількох точок зору для доступу до графів знань або онтологій, що відображають структуру бази знань вебпорталу;

– можливість перегляду, пошуку та дослідження структури бази знань вебпорталу;

– підтримка різних парадигм пошуку в контенті вебпорталу (наприклад, шукати екземпляри певного класу з подібними значеннями властивостей);

– наявність різних форм подання результатів пошуку (як-от, на географічних картах, на часовій шкалі або у вигляді графічної діаграми);

– можливість перегляду та аналізу структури ІО порталу та його конкретних екземплярів;

- користувачі можуть досліджувати посиланнями між екземплярами ІО ;
- користувачі можуть експортувати результати пошуку у різні формати відповідно до їхніх потреб.

### Технології Semantic Web для керування знаннями вебпорталів

Проект Semantic Web розвивається вже багато років та залишається на сьогодні джерелом найбільш ефективних технологій керування знаннями у вебсередовищі. Основна ідея цього проекту пов'язана з прагненням перетворити Web на глобальну базу знань та з розробкою стандартів, мов і програмних засобів для семантичного пошуку інформації в цих ресурсах. Саме ці засоби дозволяють розширювати функціонал вебпорталів та інтегрувати їх з іншими ресурсами.

Semantic Web – це потужний напрям для підвищення ефективності розподіленого й сумісного доступу до інформації та її використання прикладними програмами. Це досить ефективна спроба інтеграції застосовних Web-технологій з науковими розробками у сфері подання знань (knowledge representation, KR), що є підгалуззю штучного інтелекту. В рамках проекту Semantic Web створюються засоби для керування великою кількістю інформації та інформаційних послуг. Урахування семантики інформаційних ресурсів дає змогу зробити інформацію більш корисною. Але це потребує створення нових засобів подання даних, які покращують здатність до збирання й спільного використання знань, а також нових конструкцій програмування та інструментів, що уможливають обробку цієї інформації в прикладних програмах.

Використання елементів Semantic Web дозволяє підтримувати важливі для інформаційно-аналітичних порталів функції:

- індексація та пошук інформації;
- розробка та підтримка метаданих;
- розробка та підтримка методів анодування;
- подання контенту у вигляді інтероперабельної бази даних;
- організація машинного здобуття даних;

- виявлення й надання вебсервісів;
- інтеграція та аналіз контенту;
- дослідження в галузі інтелектуальних програмних агентів;
- розвиток підтримки інтерфейсів різних пристроїв і всепроникні обчислення.

Основними компонентами Semantic Web, які безпосередньо стосуються розвитку порталних технологій, є онтології та вебсервіси. Для того, щоб використовувати їх у застосовних програмах, у рамках проекту Semantic Web розроблено такі відкриті стандарти, що дають змогу формалізувати семантику IP і програмних засобів їх пошуку та обробки: RDF – мова опису метаданих; OWL – мова подання онтологій; SPARQL – мова запитів до RDF та OWL; SWRL – мова визначення правил. Semantic Web продовжує активно розвиватися, про що свідчать розробка й удосконалення мов і стандартів роботи з розподіленими знаннями.

У контексті Semantic Web вебпортал розглядається як вебсайт, що надає інформацію та забезпечує можливості обміну для певної спільноти на основі технологій Semantic Web [13]. У такому порталі вирізняють три рівні (рис.1): 1. доступ до інформації для користувачів; 2. засоби обробки інформації на порталі; 3. базові технології.

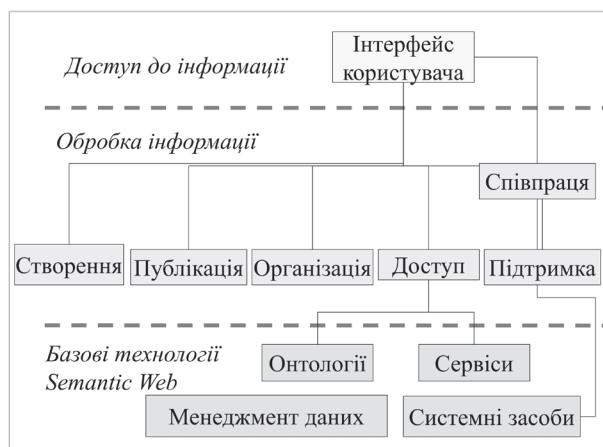


Рис.1. Рівні вебпорталу Semantic Web

Елементи, що використовуються на кожному рівні, можуть значно різнитися залежно від реалізації. Наприклад, можуть використовуватися різні типи онтологій, що можуть мати різний обсяг та виразність,

але вони мають застосовуватися замість неформалізованих природномовних описів предметної області вебпорталу. Залежно від типу онтології можуть бути реалізовані різні види логічного виведення (перевірка наявності елементів класу, виявлення симетричних або транзитивних відношень між ІО тощо), але портал має підтримувати сервіси для здобуття та аналізу поданих в онтології знань.

Фундаментальна семантична проблема публікації, інтеграції, аналізу та використання на основі порталів полягає в тому, як зробити різноманітну інформацію семантично сумісною, щоб можна було шукати потрібні користувачам відомості, з'єднувати їх між собою та представляти узгодженим способом із різних наборів даних. Проблема пов'язана зі способом створення контенту порталів: дані збираються, зберігаються та публікуються різними суб'єктами, які використовують власні стандарти та найкращі практики, що можуть бути несумісними між собою. Важливо розуміти, що використання для цього методів створення інтелектуальних інформаційно-аналітичних систем та впровадження вже існуючих семантичних вебтехнологій, має враховувати такі важливі аспекти функціонування вебпорталів, як динамічність контенту, можливість масштабування як сервісів, так і моделей подання знань.

У семантизації порталів можна виділити кілька досить тісно пов'язаних аспектів: 1. семантичний пошук; 2. імпорт знань із зовнішніх інформаційних джерел; 3. експорт інформації з порталу в сучасних форматах подання знань (таких як RDF та OWL); 4. створення метаданих, що описують контент порталу на семантичному рівні.

Наразі швидко зростання обсягу інформації, доступ до якої забезпечують портали, а також ускладнення її структури зумовлюють потребу в розвитку різноманітних сервісів для знаходження необхідних користувачам відомостей [14]. Ці сервіси мають позбавити користувачів рутинного аналізу інформації, яка не стосується їхніх інтересів, та виокремлювати відомості щодо ІО, потрібних цим користувачам.

Використання порталів має забезпечувати більш ефективний пошук порівняно зі спробами шукати інформацію безпосередньо за місцем її збереження – у базах даних та інших джерелах структурованої інформації (наприклад, XML-документах і сховищах) або на тих вебсайтах, що застосовуються як джерела контенту порталу. Для кожного типу інформаційних джерел і кожного типу ІО, які шукає користувач, доцільно мати свій набір пошукових компонентів з уніфікованим інтерфейсом взаємодії.

Якщо в процесі пошуку інформації використовують зовнішні знання щодо предметної області, яка цікавить користувача, та засоби керування знаннями, то йдеться про *семантичний* або *інтелектуальний* пошук.

*Семантичний пошук* – це один з підкласів інформаційного пошуку, в якому релевантність знайденої інформації до запиту користувача оцінюється за близькістю змісту для ефективнішого задоволення інформаційних потреб користувача. Такий пошук іноді розглядають як інтелектуальну надбудову над традиційним інформаційним пошуком. Тож можна вважати, що сервіси семантичного пошуку на порталі розширюють його функціонал та доповнюють традиційні пошукові сервіси (за ключовими словами, категоріями тощо). Наприклад, у порталах на основі семантичних вікітехнологій підтримуються рідні види пошуку на основі семантичних властивостей сторінок та їхніх значень.

Для семантичного пошуку на вебпорталі, що виконується у відкритому середовищі, характерним є те, що потрібні для пошуку знання також динамічно здобуваються з цього відкритого середовища, а не закладаються в систему в процесі її створення. Те, які саме знання використовуються для цього, залежить як від специфіки та типу порталу, так і від концепції, обраної його розробниками.

Результати пошуку можуть автоматично вбудовуватися до відповідних сторінок порталу. Зокрема, портали на основі семантичних вікітехнологій можуть містити знайдені дані для автоматичного оновлення контенту (рис.2).

| Статті автора у друкованій версії                                                                   | Статті автора на порталі                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Цим автором підготовлені такі статті друкованої «Великої української енциклопедії»:                 | Цим автором підготовлені такі статті для електронної версії «Великої української енциклопедії»:     |
|  Аве Марія         |  Авгури            |
|  Авраам            |  Аве Марія         |
|  Адат              |  Авраам            |
|  Алі ібн Абу Таліб |  Адат              |
|  Аллаг             |  Алі ібн Абу Таліб |

Рис. 2. Результати виконання вбудованого запиту для генерації контенту

Слід враховувати, що семантичний пошук на вебпорталі зазвичай забезпечує знаходження екземплярів типових ІО, характерних для даного порталу, а також специфічних сукупностей таких об'єктів (наприклад, портал транспортних послуг дозволяє знаходити узгоджену сукупність переміщень між обраними пунктами, а портал освітньої установи дозволяє знаходити навчальний курс з обраним набором компетенцій).

Під час створення таких систем варто враховувати, з яких саме зовнішніх баз знань можуть здобуватися відомості щодо структури таких ІО, та регулярно перевіряти, чи не змінюється контент цих баз.

БЗ вебпорталу можуть змінювати структуру й доступність незалежно від розробників ІПС. Тому результати пошуку у Web є функцією ще й від вмісту зовнішніх БЗ.

## Підтримка парадигми FAIR у контенті вебпорталів

Одним із перспективних напрямків вдосконалення вебпорталів є можливість забезпечення повторного використання їхнього контенту на основі парадигми відкритих даних. Це потребує розв'язання різноманітних проблем, що стосуються збереження великих масивів даних, дотримання прав власників цих даних, забезпечення безпечного інформаційного і правового середовища для користувачів тощо. Ці проблеми можуть бути досить ефективно вирішені для обробки результатів наукових досліджень. Але технології, що підтримують пошук та повторне використання специфічних наукових ресурсів, виявляються при-

датними і для вдосконалення порталних технологій. Наприклад, FAIR дані (FAIR\_data) – це дані, які відповідають принципам знаходжуваності, доступності, інтероперабельності та повторного використання [15]. Якщо вебпортал надає дані та сервіси, що відповідають цій парадигмі, то це гарантує користувачам більший функціонал для аналітичної обробки та практичного застосування інформації.

Такі дані мають наступні властивості:

- *Findable*: щоб використовувати дані, їх необхідно спочатку знайти там, де вони зберігаються. Тому дані та їх метаописи мають бути доступними як для людей, так і для комп'ютерних програм.
- *Accessible*: Коли користувач знаходить потрібні дані, він/вона повинен знати, як отримати доступ до них (можливо, включаючи аутентифікацію та авторизацію). І дані, і їхні метаописи мають бути зрозумілими людині та придатними для автоматизованої обробки.
- *Interoperable*: дані мають бути придатними для інтеграції з іншими даними та для обробки іншими застосунками.
- *Reusable*: дані та метадані повинні бути описані з відповідною виразністю, щоб їх можна було відтворювати та/або комбінувати в різних налаштуваннях.

Згідно FAIR, сервіси пошуку, здобуття і представлення даних реалізують не користувачі, а інформаційна система. Водночас мова йде не тільки про власне дані і метадані, а і про алгоритми й інструменти керування ними.

Керівні принципи FAIR не потребують будь-якої стандартизації чи конкретної технології їхньої підтримки. Тому вони досить незалежні від конкретних програмних рішень, що можуть застосовуватися для їхньої реалізації.

## Практична реалізація нових тенденцій у створенні вебпорталів

Сьогодні один із перспективних напрямків створення семантичних вебпорталів з відкритими даними базується на

вікітехнологіях та їх семантичному розширенні. Прикладом реалізації такого підходу є портал Великої української енциклопедії (vue.gov.ua). Зараз цей портал відповідає багатьом вимогам, пов'язаним з тенденціями розвитку порталів, але потребує подальшої роботи та підтримання структури та контенту у відповідності до змін відкритого середовища та змін в інформаційних ресурсах, котрі є джерелами його контенту.

Семантизовані Wiki-ресурси, такі як Semantic MediaWiki, що дозволяють створювати семантичні дані та базуються на використанні стандартів Semantic Web, дають потужне рішення для спільного редагування даних та їхніх метаописів, створення різних довільних наборів властивостей у шаблонах цих метаописів, з одночасним поданням їх як в машинно-оброблюваній формі, так і формі, придатній для розуміння людиною, що в результаті дає можливість оперувати цими даними, автоматизовано керувати, здійснювати аналіз, публікувати.

Використання вікітехнології на основі MediaWiki [16] та його семантичного розширення Semantic MediaWiki [17], яке історично себе показало досить потужним інструментом, має широку спільноту використання, відкритий код та відкриті принципи розробки і підтримки, постійно розвивається, забезпечує відповідність створеного інформаційного ресурсу вимогам FAIR [18] та надає достатній функціонал для роботи з контентом [19].

Але потрібно зауважити, що ускладнення структури portalу та розширення його функціоналу може викликати появу багатьох додаткових проблем: обробка контенту на рівні семантики є значно складнішою за традиційну, а орієнтація на відкрите середовище вимагає враховування різноманітних форм подання інформації, знаходження шляхів розв'язання неоднозначностей, виявлення помилок та визначення процедур інтеграції як даних, так і їхніх моделей [20], а також більш якісно обирати інформаційні джерела, які забезпечують якісні дані та застосовують релевантні формати їх представлення.

Як бачимо, сучасні тенденції потребують від розробників portalу значно вищої кваліфікації та більшого часу на генерацію

контенту, адже додавання нової інформації має супроводжуватися її семантичною розміткою, структуризацією та узгодженням з уже наявними даними. Але створений таким чином контент є значно зручнішим для користувачів, тому що забезпечує автоматизоване виконання різноманітних сервісів, пов'язаних із аналітичною обробкою та узагальненням даних. Крім того, такі портали дозволяють генерувати персоніфіковані бази знань за запитамі користувачів, і саме це дозволяє користувачам ефективніше реалізовувати свої інформаційні потреби у взаємодії з іншими інтелектуальними застосунками.

### Критерії оцінки можливостей розвитку вебпорталів

Як показує наведений вище аналіз перспективних напрямків розвитку вебпорталів, вдосконалення вже існуючих порталів базується на наявності:

- відкритого програмного забезпечення, що підтримує масштабованість контенту та має достатню виразність для подання інформації зі складною структурою;
- моделі представлення знань portalу, що сумісна із технологіями менеджменту знань у відкритому середовищі та підтримує імпорт та експорт знань із зовнішніх інформаційних ресурсів;
- семантичного структурування контенту та створення мета даних, що характеризують цей контент;
- засобів перевірки узгодженості контенту та його автоматизованої генерації на основі семантичної розмітки;
- набору сервісів для пошуку та навігації на порталі, для аналізу контенту та його автоматизованої генерації за запитамі.

Важливо розрізняти потенційні технологічні можливості та їхню практичну реалізацію. Наприклад, використання семантичних розширень вікітехнологій забезпечує можливість семантичної розмітки контенту та явного визначення змісту посилань між окремими сторінками. Але ці визначення потрібно створювати (і цю роботу мають виконувати експерти предметної області, що розуміють зміст таких зв'язків, а

не оператори). Саме наявність повноцінної семантичної розмітки є необхідною умовою ефективного виконання різноманітних пошукових запитів.

Важливо розрізняти потенційні технологічні можливості розвитку вебпорталів та їхню практичну реалізацію.

Розглянемо це на прикладі порталу Великої української енциклопедії (vue.gov.ua). У Таблиці 2 наведено технологічні можливості семантичного вікісередовища, в якому реалізовано цей портал, та ступінь їхнього практичного використання.

Таблиця 2. Реалізація тенденцій розвитку вебпорталів

| Напрямок розвитку                   | Практична реалізація                                                     |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Персоніфікація                      | Тільки для розробників контенту                                          |
| Захист персональних даних           |                                                                          |
| – можливість перегляду              | + (простори імен сторінок)                                               |
| – можливість редагування            | + (тільки для зареєстрованих користувачів, але без градації повноважень) |
| Експорт знань у відкриті формати    | Потрібно писати та виконувати запити сторінок, де такі запити вбудовано  |
| Імпорт знань із зовнішніх джерел    | Зараз не підтримується (було у попередніх версіях)                       |
| Розширений набір сервісів навігації |                                                                          |
| – спеціальні сторінки               | Для зареєстрованих користувачів                                          |
| – інтерфейс порталу                 | обмежено                                                                 |
| Сервіси пошуку                      |                                                                          |
| – спеціальні сторінки               | +                                                                        |
| – інтерфейс порталу                 | частково                                                                 |
| Семантична розмітка контенту        |                                                                          |

|                                           |                           |
|-------------------------------------------|---------------------------|
| – типових ІО                              | частково                  |
| – довільних ІО та посилань між сторінками | Менше 1%                  |
| Семантичний пошук                         |                           |
| – типових ІО                              | частково                  |
| – довільних ІО                            | Менше 1%                  |
| Підтримка парадигми FAIR                  | Зараз не використовується |
| Інтелектуальні сервіси аналізу контенту   | Тільки у тестових версіях |

Тож бачимо, що такий портал потенційно має великі можливості для вдосконалення, але наразі значна частина таких можливостей не реалізована практично (або реалізована лише частково). Слід відзначити, що семантичне розширення вікітехнологій на основі плагіну Semantic MediaWiki підтримує більшість тенденцій розвитку вебпорталів, але сама технічна можливість не забезпечує автоматично відповідний функціонал. Наявність семантично розміченого контенту є необхідною умовою розвитку порталу та можливості створення набору сервісів, що задовольняють потреби користувачів.

### Проблеми у створенні семантичних вебпорталів

У створенні та розвитку семантичних вебпорталів виникає ціла низка проблем, специфічних саме для систем обробки та аналізу знань, які оперують з великими обсягами інформації та з гетерогенними моделями ІО. Їх умовно можна поділити на такі категорії: 1. проблеми моделювання та подання семантики; 2. проблеми масштабування; 3. організаційні проблеми.

Значна частина проблем подання семантичного контенту пов'язана з необхідністю обробки даних, які є неточними, розпливчастими, невизначеними, непослідовними, неповними тощо і тому не можуть бути віднесені до класичних даних. Цей термін близький до брудних даних, але для систем обробки знань вони доповнюються семантично некоректними даними різних типів. Дані вважаються брудними, якщо

програма, що працює коректно, не в змозі отримати результат їхньої обробки, або отримусь неправильний результат. Водночас потрібно аналізувати два різні аспекти – з якої причини дані стали брудними та що можна зробити, щоб вони стали придатними для аналізу. Наприклад, джерелами брудних даних можуть бути помилки введення або оновлення даних, помилки передавання даних або некоректно обрана форма подання даних. Семантично некоректні дані можна виявити тільки на етапі їх інтерпретації, якщо їхні значення не відповідають обмеженням та правилам предметної області (наприклад, у загальному випадку вік людини може бути довільно позитивним числом, але вік працівника не може бути менше певного значення). Для семантичних даних виникає також необхідність перевірки змістовної узгодженості даних щодо ІО, між якими існують певні семантичні зв'язки (як-от, рік народження дитини має бути менше року народження її батьків).

Причини появи на порталі такої інформації можуть бути різними. В деяких випадках інформація може перетворюватися у класичні дані автоматично або автоматизовано, в інших потребує участі експерта предметної області або інженера зі знань (наприклад, для інтеграції різних онтологічних моделей однієї області). В деяких випадках дані не можуть бути перетворені на класичні через відсутність, неповноту або надлишковість інформації. Класифікація таких даних для семантичного вебпорталу на основі Wiki-технології наводиться у [19].

Участь великої кількості спеціалістів у створенні вебпорталів викликає розбіжності у розумінні правил подання та структурування даних. Тому виникає не тільки необхідність додаткової верифікації контенту, а й створення детальної методології семантизації та узгодження з моделлю предметної області. Для цього потрібно створювати формалізовані та масштабовані рішення для опрацювання різноманітних типів нечіткості, неповноти та семантичної некоректності контенту. Однак наявність таких рішень та методологій є не достатньою, а лише необхідною умовою побудови семантичного вебпорталу.

Як показує практика розробки семантичних вебпорталів, проблеми обробки знань значно різняться на етапі створення й розгортання та на етапі масового поповнення контенту. Якщо в першому випадку більшість проблем пов'язані із невідповідністю моделі об'єктам реального світу та потребують внесення принципових змін (наприклад, припускати кілька значень певного параметру, зміни структури), то у другому випадку такі моделі потребують уточнення та розширення, щоб коректно обробляти більш специфічні випадки, які не враховували початкові варіанти.

Проблеми масштабування виникають у процесі ускладнення бази знань порталу, коли інформація про взаємодію великої кількості ІО різних типів має бути інтегрованою та узгодженою. Як правило, існуючі портальні технології не підтримують такі функції безпосередньо, але допускають можливість застосування зовнішніх сервісів, призначених для менеджменту знань. Інша проблема масштабування пов'язана з тим, що зі зростанням кількості складних ІО кількість зв'язків між ними може зростати нелінійно, й це може призвести до збільшення часу аналізу інформації та виконання пошукових запитів. У таких випадках потрібно знаходити певний компроміс між прийнятним часом обробки та необхідною виразністю моделі. Крім того, деякі складні для виконання аналітичні запити доцільно виносити на окремі сторінки, а не пропонувати усім користувачам.

Організаційні проблеми пов'язані з тим, що на початку розробки семантичного вебпорталу основні роботи, як правило, виконує команда кваліфікованих спеціалістів з менеджменту знань. Але після формування основи структури бази знань порталу обсяг робіт для таких спеціалістів зменшується, і це може призвести до спроб зменшення такої команди через поєднання функцій або припинення розвитку певних напрямків семантизації. Об'єднуючи дані з різних джерел, можна отримувати нову інформацію за допомогою різноманітних засобів аналізу даних. Але якість нової інформації залежить не лише від алгоритмів аналізу, а й від якості даних. Внаслідок цього через деякий час структура бази знань не оновлюється та пе-

рестає відповідати потребам доданого контенту, нові працівники порталу з недостатньою кваліфікацією некоректно вносять семантичну розмітку (або не вносять її взагалі, тому що це не впливає явно на формальні характеристики порталу). Через це семантичні запити та аналітичні сервіси працюють некоректно (вони обробляють некоректно задані дані або не мають потрібних відомостей). І тому портал, що формально вважається семантичним, втрачає значну частку своїх переваг як аналітична інформаційна система, але надалі продовжує витрачати додаткові обчислювальні потужності на підтримку семантичної складової.

### **Практичні рекомендації зі створення семантичних вебпорталів**

На основі наведеного вище аналізу можна сформулювати наступні практичні рекомендації зі створення семантичних вебпорталів, спрямованих на запобігання та розв'язання проблем обробки знань:

1) модель бази знань вебпорталу, створену на основі початкового набору контенту, потрібно постійно вдосконалювати та узгоджувати з усіма особливими випадками інформаційних ІО, які могли не зустрічатися у початковому наборі даних;

2) моделі ІО бажано не змінювати, а доповнювати додатковими властивостями, а типи даних, що використовуються для опису їх значень, змінювати на ширші, а не на більш специфічні (наприклад, замінювати “Число” на “Текст”, але не навпаки) – це має забезпечити узгодженість моделі з попередньо оприлюдненим контентом;

3) необхідно постійно генерувати семантичну розмітку контенту, яка є основою функціонування усіх семантичних сервісів: потрібно явно визначати семантику всіх (або хоча б більшість) зв'язків між елементами контенту;

4) набір семантичних відношень між елементами контенту має постійно поповнюватися, щоб коректно відображати все розмаїття таких зв'язків, але разом із зростанням кількості таких відношень доцільно розробити систему їх класифікації (наприклад, таксономію або тезаурус), надавати

чіткі формальні описи та намагатися запобігти дублюванню;

5) виконання складних аналітичних та пошукових запитів доцільно виносити в окремі сторінки або пункти меню, щоб виконувати їх тільки тоді, коли це потрібно користувачам. Це дозволяє економити обчислювальні ресурси порталу;

6) постійно проводити інструктування персоналу, який готує контент, щоб забезпечити коректність створюваної семантичної розмітки, та чітко розрізняти функції зі створення моделі такої розмітки та її застосування (для складних порталів це підтримується за рахунок детальнішого визначення повноважень різних груп розробників);

7) здійснювати регулярні операції для оновлення структури бази знань, створення її резервних копій та контролю змістовної цілісності (як з використанням внутрішніх можливостей порталу, так і за допомогою зовнішніх систем менеджменту знань), для запобігання появи значних семантичних некоректностей даних.

### **Висновки**

Основна мета даної роботи полягає в здійсненні наукових досліджень та експериментальних перевірок отриманих результатів у створенні інтелектуальних інформаційних систем, які використовують Semantic Web, онтологічний аналіз та вікітехнології для забезпечення можливості аналізу та використання для практичних цілей великих обсягів і потоків інформації різних типів. У роботі аналізуються вебпортали, які є одним з перспективних засобів інтеграції та аналізу великих обсягів інформації, переробки масивів гетерогенних «сирих» даних у форму, що забезпечує їх уніфіковане подання, здобуття з них корисних знань та повторне використання. Розглядаються можливості, які надає семантизація вебпорталів. Розвиток таких систем потребує поєднання портальних технологій з можливостями засобів аналізу та обробки знань у відкритому середовищі, і таке поєднання призводить до появи специфічних проблем.

Наступним кроком розвитку вебпорталів можуть стати портали випадкового виявлення знань, де інструменти базують-

ся на техніках штучного інтелекту і здатні автоматично знаходити випадкові цікаві явища та дослідницькі питання в даних і вирішувати проблеми користувачів за допомогою пояснень.

## Література

1. *Гладун А. Я., Рогущина Ю. В.* Репозитории онтологий как средство повторного использования знаний для распознавания информационных объектов. *Онтология проектирования*, 1 (7), 2013, с.35-50.
2. *Strauss H.* Web portals: the future of information access and distribution. In *Transforming Serials*, 2021, pp. 27-35.
3. What is the Difference between Website and Web Portal. [www.geeksforgeeks.org/difference-website-web-portal/](http://www.geeksforgeeks.org/difference-website-web-portal/) [Accessed 4/09/2023].
4. Difference between Website and Web Portal. [forum.huawei.com/enterprise/en/Difference-between-Website-and-Web-Portal](http://forum.huawei.com/enterprise/en/Difference-between-Website-and-Web-Portal) [Accessed 4/09/2023].
5. Web Portal. <https://www.techopedia.com/definition/17352/web-portal> [Accessed 4/09/2023].
6. *Bhat M. U. D., Singh S.* Automatic Method to Rate Websites Based on Terms of Services. *Journal Of Creative Writing*, 4(2), 2020.
7. *Berners-Lee T., Hendler, J., Lassila, O.* The semantic web. *Scientific american*, 284(5), 2001, pp.34-43.
8. *Bizer C., Heath T., Berners-Lee, T.* Linked data: The story so far. In *Semantic services, interoperability and web applications: emerging concepts*, 2011, pp. 205-227.
9. *Hyvönen E.* "Sampo" model and semantic portals for digital humanities on the Semantic Web. In *Proceedings of the Digital Humanities in the Nordic Countries 5th Conference (DHN 2020)*, 2020, pp.374-378.
10. FAIR\_data. [https://en.wikipedia.org/wiki/FAIR\\_data](https://en.wikipedia.org/wiki/FAIR_data). [Accessed 4/09/2023].
11. *Ikkala E., Hyvönen E., Rantala H., Koho M.* Sampo-UI: A full stack JavaScript framework for developing semantic portal user interfaces. *Semantic Web*, 13(1), 2022, pp.69-84. <https://content.iospress.com/articles/semantic-web/sw210428>.
12. *Koho M., Heino E., Hyvönen E.* SPARQL Faceter-Client-side Faceted Search Based on SPARQL. In *LIME/SemDev@ ESWC*. 2016. <https://www.seco.tkk.fi/publications/2016/koho-et-al-sparql-faceter.pdf>.
13. *Lausen H., Ding Y., Stollberg M., Fensel D., Lara Hernández R, Han S.-K.* Semantic web portals: State-of-the-art survey, *Journal of Knowledge Management* 9: (5), 2005, pp.40–49. doi:10.1108/13673270510622447.
14. *Gladun A., Rogushina J., Schreurs J., Salem A. B.* Ontology-based knowledge recognition in service-oriented virtual research environments. In *7th International Conference on Information Technology*, 2015, pp. 148-155.
15. The FAIR data principles. Available from: <https://www.force11.org/group/fairgroup/fair-principles> [Accessed 4/09/2023].
16. MediaWiki. Available from: <https://www.mediawiki.org/wiki/MediaWiki/>.
17. *Krötzsch M., Vrandečić D., Völkel M.* Semantic mediawiki. *International semantic web conference*, 2006, pp. 935-942. [https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/11926078\\_68.pdf](https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/11926078_68.pdf).
18. *Rogushina J.* Use of ontologies and Semantic Mediawiki for representation and retrieval of scientific data in the FAIR paradigm *Proc.of International scientific conference "Information technologies and management in higher education and sciences"*, 2023, pp.69-74. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-277-7-200>.
19. *Рогущина Ю. В., Гришанова І. Ю.* Проблеми масштабування семантичних інформаційних ресурсів зі складною структурою. *Проблеми програмування*, 2022, № 2-3, с.171-182.
20. *Рогущина Ю. В.* Нечіткі дані у семантичних wiki-ресурсах: моделі, джерела та методи обробки. *Проблеми програмування*, 2023, №2, с. 67-83. URL: [pp.isoftware.kiev.ua/index.php/ojs1/article/viewFile/569/620](http://pp.isoftware.kiev.ua/index.php/ojs1/article/viewFile/569/620).

## References

1. Gladun A., Rogushina J. (2013). Ontology repositories as a means of reusing knowledge for recognizing information objects. *Design Ontology*, 1 (7), 35-50 (in Russian).
2. Strauss H. (2021) Web portals: the future of information access and distribution. In *Transforming Serials*, 7-35.
3. What is the Difference between Website and Web Portal. [www.geeksforgeeks.org/difference-website-web-portal/](http://www.geeksforgeeks.org/difference-website-web-portal/) [Accessed 4/09/2023].

4. Difference between Website and Web Portal. [forum.huawei.com/enterprise/en/Difference-between-Website-and-Web-Portal](http://forum.huawei.com/enterprise/en/Difference-between-Website-and-Web-Portal) [Accessed 4/09/2023].
5. Web Portal. <https://www.techopedia.com/definition/17352/web-portal> [Accessed 4/09/2023].
6. Bhat M. U. D., Singh S. (2020) Automatic Method to Rate Websites Based on Terms of Services. *Journal Of Creative Writing* , 4(2).
7. Berners-Lee T., Hendler, J., Lassila, O. (2001) The semantic web. *Scientific american*, 284(5), 34-43.
8. Bizer C., Heath T., Berners-Lee, T. Linked data: The story so far. In *Semantic services, interoperability and web applications: emerging concepts*, 2011, pp. 205-227.
9. Hyvönen E. (2020) “Sampo” model and semantic portals for digital humanities on the Semantic Web. In *Proceedings of the Digital Humanities in the Nordic Countries 5th Conference (DHN 2020)*, 374-378.
10. FAIR\_data. [https://en.wikipedia.org/wiki/FAIR\\_data](https://en.wikipedia.org/wiki/FAIR_data). [Accessed 4/09/2023].
11. Ikkala E., Hyvönen E., Rantala H., Koho M. (2022) Sampo-UI: A full stack JavaScript framework for developing semantic portal user interfaces. *Semantic Web*, 13(1), 69-84. <https://content.iospress.com/articles/semantic-web/sw210428>.
12. Koho M., Heino E., Hyvönen E. (2016) SPARQL Faceter-Client-side Faceted Search Based on SPARQL. In *LIME/SemDev@ ESWC*. . <https://www.seco.tkk.fi/publications/2016/koho-et-al-sparql-faceter.pdf>.
13. Lausen H. , Ding Y. , Stollberg M. , Fensel D., Lara Hernández R, Han S.-K. (2005) Semantic web portals: State-of-the-art survey, *Journal of Knowledge Management* 9: (5), 40–49. doi:10.1108/13673270510622447.
14. Gladun A., Rogushina J., Schreurs J., Salem A. B. (2015) Ontology-based knowledge recognition in service-oriented virtual research environments. In *7th International Conference on Information Technology*, 148-155.
15. The FAIR data principles. Available from: <https://www.force11.org/group/fairgroup/fair-principles> [Accessed 4/09/2023].
16. MediaWiki. Available from: <https://www.mediawiki.org/wiki/MediaWiki/> [Accessed 4/09/2023].
17. Krötzsch M., Vrandečić D., Völkel M. (2006) Semantic mediawiki. *International semantic web conference*, 935-942. [https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/11926078\\_68.pdf](https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/11926078_68.pdf).
18. Rogushina J. (2023) Use of ontologies and Semantic Mediawiki for representation and retrieval of scientific data in the FAIR paradigm *Proc.of International scientific conference “Information technologies and management in higher education and sciences”*, 69-74. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-277-7-200>.
19. Rogushina J., Gryshanova I. (2022) Problems of scaling semantic information resources with a complex structure. *Problems of programming* , 2-3, 171-182.(in Ukrainian).
20. Rogushina J., (2023). Fuzzy data in semantic Wiki-resources: models, sources and processing methods. *Problems in programming*, (2), 67-83 .(in Ukrainian)..

Одержано: 26.08.2023

### ***Про авторів:***

Рогущина Юлія Віталіївна,  
Канд.фіз.-мат.наук, с.н.с.  
Публікації в українських виданнях – 220,  
Публікації в іноземних журналах – 40.  
Індекс Хірша: Scopus – 5,  
Google Scholar – 21.  
ORCID <http://orcid.org/0000-0001-7958-2557>.

### ***Місце роботи авторів:***

Інститут програмних систем  
НАН України, 03181, Київ-187,  
проспект Академіка Глушкова, 40,  
e-mail: [ladamandraka2010@gmail.com](mailto:ladamandraka2010@gmail.com),  
066 550 1999.

*R.D. Grygoryan, A.G. Degoda, T.V. Lyudovyk, O.I. Yurchak*

## **SIMULATING OF HUMAN PHYSIOLOGICAL SUPERSYSTEMS: INTERACTIONS OF CARDIOVASCULAR, THERMOREGULATORY AND RESPIRATORY SYSTEMS**

A special quantitative model of the human thermoregulatory system (MT) functioning with cardiovascular and lung systems is created. These systems form a physiological super-system (PSS). For a naked or cloth human, algorithms provide designing of scenarios including simulation of either short-time or long-time (hours or days) observations. Input data include different combinations of environmental variables (air or water temperature, air humidity, wind or water flow speed, light intensity), as well as designing of dynamics for certain biological characteristics (rate of heat production including its components associated with metabolism and ATP molecules leasing during mental and physical activities). The human body consists of three compartments – core, blood, and skin. Dynamic output data include blood, hypothalamic, and skin temperatures, hemodynamic parameters (heart rate, cardiac output, regional blood flows, vascular resistances, blood pressures, and regional blood volumes), and lung ventilation. Using associations of dynamics of day/night light intensity with concentrations of serotonin and melatonin hormones, a model for biological heat production rate dynamics is proposed. Currently, the PC-based simulator is autonomous C++ software. Its users can be both student-medics and physiologists interested in providing theoretical research. Shortly, this simulator has to be widened by models of kidneys and liver-pancreas interaction mechanism.

Key words: physical health, cell energy balance, control mechanisms, quantitative models, simulator.

### **Introduction**

Human organs and certain anatomical-functional systems (AFS) form very complex functional systems known as physiological super-systems (PSS). The general concept of human PSS [1-3] explained deep cellular mechanisms that determine cells interaction for dynamic providing of every AFS's optimal parameters. However, traditional empiric physiology possesses not by research technologies capable of establishing the main quantitative laws ruling the functionalities of PSS. Potentially, mathematical models could help in solving of this problem. However, almost all models were created for solving specific partial problems therefore they not concern the problem of PSS. To fill this methodological gap in, we are consequentially creating proper mathematical models and computer simulators [4-7]. Their main novelty is in combining of multi-level physiological mechanisms for explaining of organism-scale adaptive physiological responses to environmental alterations. In fact, this approach also creates potentials for explaining mechanisms that determine the dynamic multi-parametric shape of human physical health (HPH). Such a theoretical fundament

is extreme necessary for the individualization of the medical assessment of HPH.

The goal of this article is to present our latest development that made possible theoretical investigations of human thermoregulatory system under unpredictable challenges from a certain AFS namely, from the cardiovascular system (CVS) and lung system.

### **Mathematical model of thermoregulatory system**

The model of CVS is presented in [6,7], thus there is no necessity for its description in detail. Perhaps, it is sufficient to note that our CVS-model currently is the most complex model, including in it both mechanisms of circulation's acute control and mechanisms that determine the long-term parameters of CVS. As to our model of the thermoregulatory system (MT), the main reason for its creation was that despite a lot of such models (for example, [8-14]), MT should be compatible with our other models.

For solving our problems in the frame of human PSS, it is sufficient to have an MT containing three body compartments: a core

(it represents muscle, subcutaneous tissue, and bone), skin, and blood.

The most distinguishing sign of every PSS is that it functionally integrates multiple AFS. The extreme necessity in novel models is conditioned with the practical impossibility to provide quantitative empirical research of complex and multi-level mechanisms governing the interaction of multiple HPSS in physiological or pathological conditions. At the same time, it is clear that often complex pathologies appear because of inadequate functioning one or more functional chains of PSS. So, an alternative – simulative research of human PSS is highly encouraged.

In parallel with the creating of novel models, several models created in the frame of the traditional methodology can be re-vised in the light of the PSS concept. Our current publication presenting such an approach illustrates both the modeling technology and the main problems arising under its application to models published earlier [6,7]. These publications were chosen because AFSs of this PSS represent organs and systems that are external providers of cellular metabolism. As to its intracellular optimizers, briefly described in [1] (only the energy aspect), we intend to create a special model that has to include also those nuclear mechanisms that are under cytoplasm-released adaptation factors. In fact, namely, these factors increase/decrease the expression of genes in specific sites of DNA.

Special software does provide both tunings of models and all procedures accompanying a wide range of their simulation research. Such work is too big to be made within a usual short-term research project and described in a usual research article. Therefore, we are publishing each interim developmental result that can also be an autonomous unit-software.

This publication represents MT interaction with models of CVS and LV.

Principles for modifying the earlier created software in order to incorporate MT in it are additionally described. The final purpose of this multi-stage developmental project is to provide physiologists-researchers with modern computer-based information technology with dual goals. The first goal is simulation research

of human certain complex PSSs. The second goal is to provide professors and medical students with a modern specialized visualization technology capable of helping future medics to better understand the physiological basis of non-trivial pathologies.

### Short description of MT

A quantitative model pretending to simulate certain biophysical and physiological events concerned with human thermoregulation, must deal with dynamics of heats both generation and conduction (dissipation). In the human body, immersed in a non-stable environment mean rates of heat generation ( $v_g(t)$ ) and heat transfer ( $v_c(t)$ ) permanently alter. So, dynamics of the body heat ( $H(t)$ ) is commonly described by a differential equation:

$$mc \frac{dH}{dt} = v_g(t) - v_c(t).$$

where  $m$  is the body mass while a specific heat of  $c$  characterizes alteration velocity.

By solving this equation, one can see that within every time interval of  $\tau$ :

$$H(\tau) = H(t_0) + mc \int_{t-\tau}^t (v_g(t) - v_c(t)) dt$$

In statics, a mean value of body temperature ( $T_{sm}$ ) is calculated as  $T_{sm} = H / m$ . But different structures of the human body have their individual mass and parameter  $c$ .

A summary heat  $H_{\Sigma}(t)$  of the human body is formed of two independent sources – biological  $H_b(t)$ , and external  $H_e(t)$ . The last one is proportional to air temperature, while  $H_b(t)$  has its independent sources explained further.

$H_b(t)$  is resulted in four independent heat generators: 1) exothermic chemical transformations accompanying metabolism  $H_M(t)$ ; 2) life events providing organism's functional integrity  $H_I(t)$ ; 3) life events providing human mental activity  $H^M(t)$ ; and 4) life events providing human physical activity  $H_{\pi}(t)$ . Three last heats resulted from the leasing of

ATP molecules as the main energy source for providing biological works. Their importance in entire body thermodynamics becomes clear when accentuating the following facts: i) about 40-60 % of the energy released during one ATP molecule is dissipated in the form of heat; ii) the total amount of everyday synthesis (leasing) of ATP is about 50-55 kg.

$$H_b(t) = b_1 \cdot H_M(t) + b_2 \cdot H_I(t) + b_3 \cdot H^M(t) + b_4 \cdot H_W(t),$$

In the last equation, the three last components depend on the power of every activity thus coefficients  $b_1 - b_4$  are approximated for physiological rest conditions only.

Heat conduction between compartments is provided by radiation, convection, and evaporation (for lung and skin). MT operates with fourth temperatures: core  $-T_C^o(t)$ , blood  $-T_B^o(t)$ , skin  $-T_S^o(t)$ , and environmental  $-T_A^o(t)$ .  $T_C^o(t)$  is resulted of  $H_b(t)$  and heats taken from the neighbors (blood and skin compartments). By analogy  $T_B^o(t)$  is resulted of  $T_C^o(t)$ ,  $T_B^o(t)$ , and  $T_S^o(t)$ . As to  $T_S^o(t)$ , its providers are  $T_C^o(t)$ ,  $T_B^o(t)$ , and  $T_A^o(t)$ . So, to model the dynamics of these variables, their relationships should have been formalized. Below the formalizations are presented:

$$\frac{dT_C^o}{dt} = \lambda_1 H_b - \lambda_L H_{Ev}^L + \lambda_2 (T_C^o - T_B^o) + \lambda_3 (T_C^o - T_S^o)$$

$$\frac{dT_B^o}{dt} = \lambda_4 H_C - Q - \lambda_5 (T_C^o - T_B^o) - \lambda_6 (T_C^o - T_B^o) - \lambda_7 (T_C^o - T_S^o)$$

$$\frac{dT_S^o}{dt} = \lambda_8 H_C - \lambda_S \cdot H_{Ev}^S + \lambda_9 (T_C^o - T_S^o) + \lambda_{10} (T_B^o - T_S^o) + \lambda_{11} (T_S^o - T_A^o)$$

$$\frac{dH_{Ev}^L}{dt} = a_L v_L - H_{Ev}^L Y / X,$$

$$\frac{dH_{Ev}^S}{dt} = a_S q_S - H_{Ev}^S Y / X,$$

$$H_C(t) = H_b(t) -$$

where  $X$  - is the air humidity,  $Y$  - wind velocity,  $q_S$  - skin flow.

So, our MT is the first model capable of simulating the specific effects of body different energy sources. In this paper, this aspect is not considered.

Under the modeling of the human thermoregulatory system, the human body usually is approximated as a net of lumped parametric compartments [1-4]. The net structure is conditioned by research goals. Our MT is necessary to investigate main aspects of human PSS composed of different combinations of cardiovascular, thermoregulatory, lungs, energy providing systems. Therefore, specific details of thermal patterns in peripheral segments (legs, hands, torso, neck, and head) that had been considered in [2, 7-11], are mainly omitted. We have built the simplest model containing of three body compartments (a core, blood, and a skin). Additionally, MT is capable of imitating the isolative effects of clothing. Besides, in the final version of MT, either air or water can be chosen to be an external environment in which the body is immersed. Each of these environments does have its temperature and flow velocity given as input parameters.

This structure of MT is chosen for solving practically all tasks planned in the frame of the final version of the human physiological super-systems' model. As our MT uses certain variables of the CVS model, it is useful to note the following.

For the physiological interval of  $F_{\min} \leq F(t) \leq F_{\max}$ ,  $F(t)$  is calculated as:

$$F(t) = \begin{cases} F_{\min}, & \sum_{j=1}^n \Delta F_i^-(t) > F_a - F_{\min} \\ F_a + \Delta F(T^o) + \sum_{i=1}^{n1} \Delta F_i^+(t) - \sum_{j=1}^n \Delta F_i^-(t), & \\ F_{\min} \leq F(t) \leq F_{\max} & \\ F_{\max}, & \sum_{i=1}^{n2} \Delta F_i^+(t) + F_a > F_{\max} \end{cases}$$

Here  $F_a$  is the heart rate under normal rest values of blood temperature  $T_N^o$ ,

biochemical and biophysical characteristics of cells of sinus node,  $\Delta F(T^o)$  is elevation of  $F_a$  with temperature increasing,  $\Delta F_i^+(t)$  are accelerating effects of  $n$  mechanisms (including concentration of adrenalin  $A_d(t)$ ), and  $\Delta F_j^-(t)$  are retarding effects of  $n$  mechanisms.

Each mechanism forming its part of  $\Delta F$  has its power and developmental inertia that have been taken into account by means of proper constants.

Inotropic states of ventricles are under influences of local coronary flows  $q_c(t)$ , adrenalin  $A_d(t)$ ,  $T_B^o(t)$ , efferent sympathetic ( $E_{sh}(t)$ ), and parasympathetic ( $E_{vh}(t)$ ) impulse patterns. Special version of the model includes effects of exogenous cardio-active agents  $C_a(t)$  too:

$$k_i(t) = k0_i * (1 + d_1 * (T^o(t) - T^o_N) + d_2 * (A_d(t) - A_{dN}) + d_3 * (q_c(t) - q_{cN}) + d_4 * (E_{cs}(t) - E_{csN}) - d_5 * (E_{cv}(t) - E_{cvN}) \pm d_e * C_a(t))$$

Skin vascular resistance depends on vascular volume (diameter). There is a biophysical reverse relation between temperature and vascular resistance. The relation is described in our CVS model. In particular, it means that the independent (hemodynamic) alterations of skin flow, which plays an important role in body heat conduction, will have specific thermoregulatory effects.

### Mathematical model of environment

In our current model, environment is presented by following dynamic characteristics: air temperature  $T_B^o(t)$  ( $T^o_A(t)$ ), air humidity ( $h_A(t)$ ), wind speed ( $v_w(t)$ ), and light intensity ( $L_I(t)$ ).

$T^o_A(t)$  may be of any stable value  $T^o_A$  either may have any dynamics. For example, under simulating of day/night  $T^o_A(t)$  its formally is given as:

$$T^o_A(t) = \begin{cases} T^o_{AN}, t < t_{sr}; t > t_{fss} \\ T^o_{AN} + (T^o_{AD} - T^o_{AN})(1 - e^{-\gamma(t-t_{sr})}), t_{sr} < t < t_s \\ T^o_{AD}, t_s \leq t \leq t_{sss} \\ T^o_{AD} - (T^o_{AD} - T^o_{AN})(1 - e^{-\mu(t-t_{sss})}), t_{sss} \leq t \leq t_{fss} \end{cases} (*)$$

where  $T^o_{AN}$  - night minimal temperature,  $T^o_{AD}$  - day maximal temperature,  $t_{sr}$  - sunrise start,  $t_s$  - fully lit morning,  $t_{sss}$  - sunset start time,  $t_{fss}$  - completely dark night.

By analogy dynamics of  $L_I(t)$  is given as:

$$L_I(t) = \begin{cases} L_N, t < t_{sr}; t > t_{fss} \\ L_N + (L_D - L_N)(1 - e^{-\gamma(t-t_{sr})}), t_{sr} < t < t_s \\ L_D, t_s \leq t \leq t_{sss} \\ L_D - (L_D - L_N)(1 - e^{-\gamma(t-t_{sss})}), t_{sss} \leq t \leq t_{fss} \end{cases} (**)$$

where  $L_N$  - minimal night intensity of light,  $L_D$  - maximal day intensity of light,  $t_{sr}$  - sunrise start,  $t_s$  - full sunny morning time,  $t_{sss}$  - sunset start time,  $t_{fss}$  - completely dark night. Coefficient  $\gamma$  in (\*) is to modulate air temperature dynamics depended on air humidity  $X(t)$ .

The hypothalamic control of blood temperature ( $T_B^o(t)$ ) is based on afferent information came from heat and cold receptors located in core, blood, and skin compartments. In a conventional scale of "0-1", the current activity of every heat receptor field looks like:

$$R_j^h(t) = \begin{cases} 0, T_j^o(t) \leq T_{j\min}^h \\ (1 - e^{-\delta_j \chi_j}) / (1 + \theta_j e^{-\delta_j \chi_j}), T_{j\min}^h < T_j^o(t) < T_{j\max}^h \\ 1, T_j^o(t) > T_{j\max}^h \\ \chi_j = T_j^o(t) - T_{j\min}^h \end{cases}$$

where  $T_{j\min}^o$  is reception threshold,  $T_{j\max}^o$  is receptors saturation temperature,  $\delta_j$  and  $\theta_j$  are approximation constants. By analogy, cold functions of cold receptors are modeled as:

$$R_j^c(t) = \begin{cases} 0, T_j^o(t) \leq T_{j\min}^c \\ (1 - e^{-\delta_j^c \chi_j^c}) / (1 + \theta_j^c e^{-\delta_j^c \chi_j^c}), T_{j\min}^c < T_j^o(t) < T_{j\max}^c \\ 1, T_j^o(t) > T_{j\max}^c \\ \chi_j^c = T_{j\min}^c - T_j^o(t) \end{cases}$$

Hypothalamic neurons modulate their descending impulse activity depending on

summary ascending impulses  $R_{\Sigma}^h(t)$  and  $R_{\Sigma}^c(t)$  calculated as:

$$R_{\Sigma}^h(t) = \sum_j d_j^h R_j^h(t); \quad R_{\Sigma}^c(t) = \sum_j d_j^c R_j^c(t)$$

where  $d_j^h$ , and  $d_j^c$  are weight coefficients.

The main target for descending influence of hypothalamic neurons is the velocity of heat generation ( $v_{hg}(t)$ ). Its static value is:

$$v_{hgs} = v_{hg}(0)(1 + g_1(W - W_0)(1 - g_2 H_E)(1 + g_3 S)(1 + g_4 R_{\Sigma}^c - g_5 R_{\Sigma}^h))$$

where  $g_1 - g_5$  are weight coefficients.

In the current model,  $v_{hg}(t)$  is presented as:

$$T_{hg} \frac{dv_{hg}}{dt} = v_{hgs} - v_{hg},$$

where  $T_{hg}$  is time constant of heat generation alteration.

$$\frac{dH_b}{dt} = b_5 H_b - v_{hg}.$$

Hypothalamic temperature  $T_h(t)$  is calculated using  $T_h^o(t)$

$$T_h^o(t) = T_B^o(t) - \Delta, \text{ where } \Delta = \text{const.}$$

Heart rate, skin flow, and lung ventilation velocity ( $v_l(t)$ ) are external modulators of MT. Two first characteristics belong to CVS: its model is described in [6-8]. Thus we give here  $v_l(t)$ :

$$\frac{dv_l}{dt} = b_{l1} C_B^{H^+} + b_{l2} C_B^{CO_2} + b_{l3} T_B^o,$$

where  $b_{l1}, b_{l2}, b_{l3}$  are approximation constants,  $C_B^{H^+}$  and  $C_B^{CO_2}$  represent blood concentrations of  $H^+$ , and  $CO_2$ .

### Simulation algorithms

MT is integrated with CVS-model and can interact with it for a wide range of special cardiovascular test scenarios. In this publication we cannot consider these opportunities thus we illustrate those scenarios only when the CVS is under physiological norm (imitating an intact organism). Under this constriction, a single simulation algorithm (SA) can be illustrated by means of Fig.1.

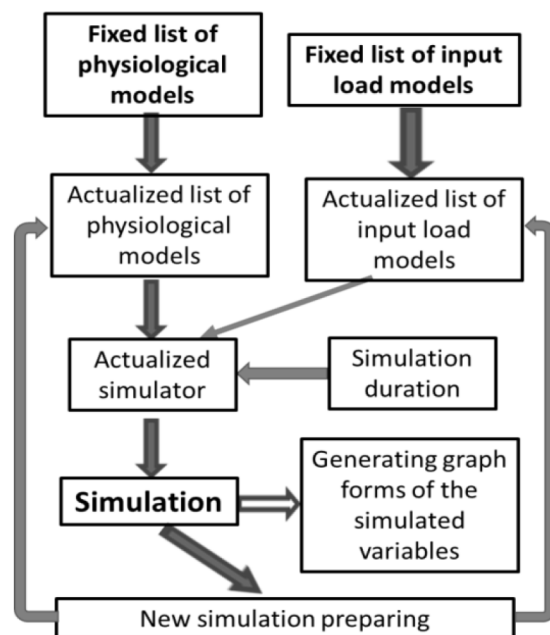


Fig.1. Simulation algorithms

According to this algorithm, the user should set the simulation duration, and the state of the external environment (for example, dynamics of light intensity, air temperature, humidity, wind speed, cloth isolating parameters, e.a.). Special window is proposed for setting (actualizing) the model several constants: after changing at least one value in MT characteristics, the user can start a new simulation.

*Simulation* (when activated) will last until the exposure time (observation duration) is over. Special algorithm providing both short-time and long-term (days and months) simulations is created. So, the operative memory of PC is no longer critical for determining the maximal simulation duration as it was in previous simulator version [5].

After the simulation is over, the user can analyze simulation graph results for more than 35 biological and environmental variables.

### Input loads

The complex simulator and its fragment (described in the paper) is autonomous software designed for IBM compatible computers. Taking into account volume limits for the paper, our main attempts were directed to illustrate the new opportunities we can propose to potential users. Best if the illustrations show something not modeled yet in traditional thermoregulatory models. In our opinion,

circadian effects look like a not bad example for simulation. In this case, input loads are:  $T^o_A(t)$ ,  $h_A(t)$ ,  $v_W(t)$ , and  $L_I(t)$ . Changes of  $L_I(t)$  and  $T^o_A(t)$  were provided according to formulas (\*) and (\*\*).

Special window of the user interface (see Figure 2) provides the user by actualization of such data like factors determining day/night dynamics of light intensity, as well as of constants determining dynamics of air temperature.

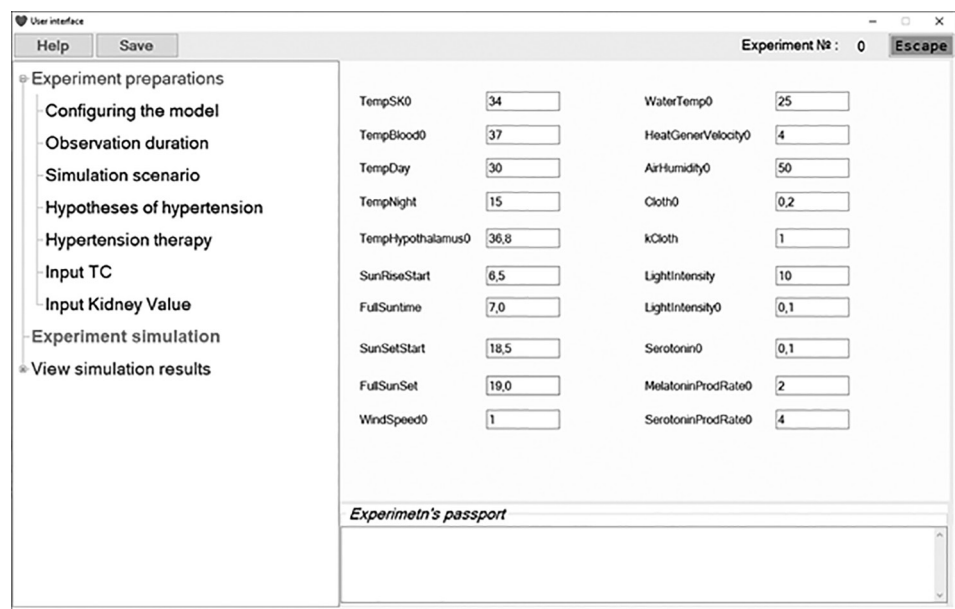


Fig.2. User interface fragment: special window for setting initial data for processing the thermoregulatory model

**Main simulation results and discussion**

As the reader can see in Fig.3, in this simulation, both air humidity (50%) and the wind speed (1 m/sec) are stable. It was as-

sumed that the durations of night and day times are equal. Night time light intensity assumed to be for 100 times less than it is during the day time. Both for the sun rise time and for the sun set time is set 0,5 hour.

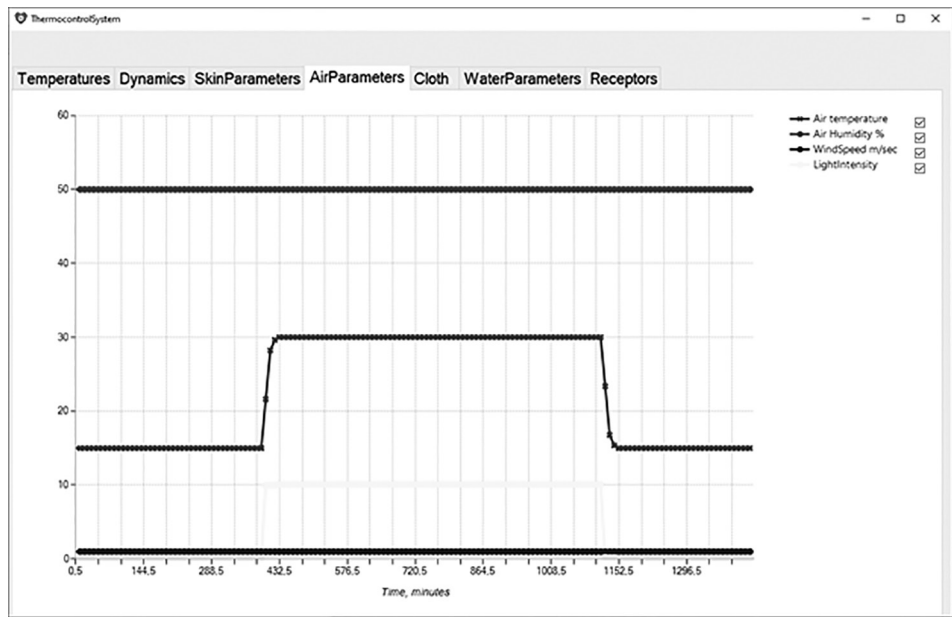


Fig.3. Environmental parameters day/night dynamics: Input data

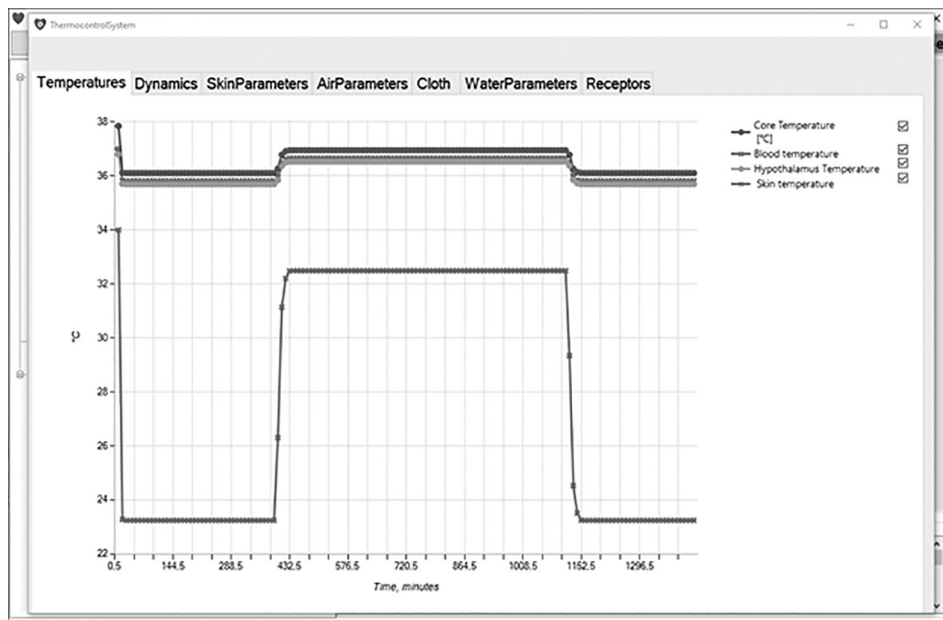


Fig.4. Body temperatures day/night (circadian) dynamics: Output data

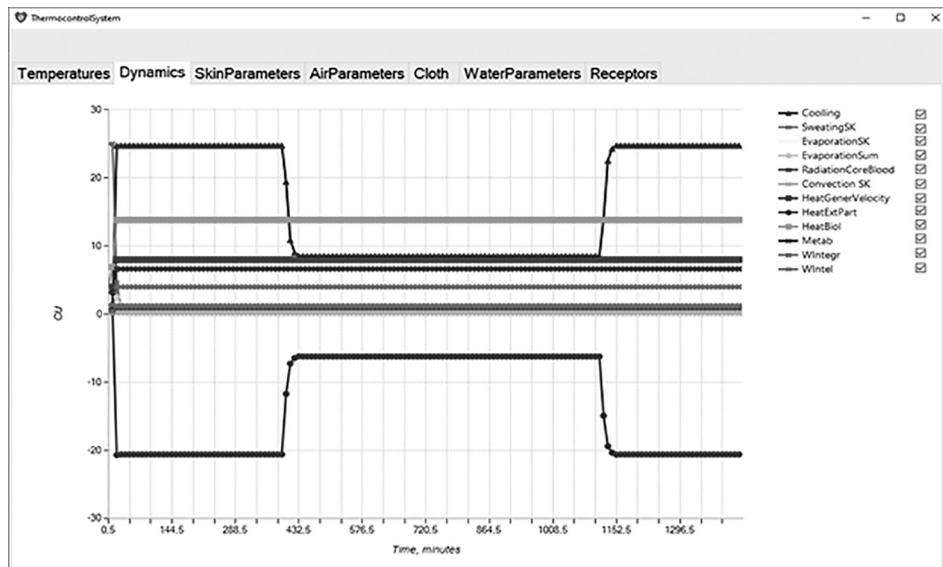


Fig.5. Day/night (circadian) dynamics of body parameters related to thermoregulation: Output data

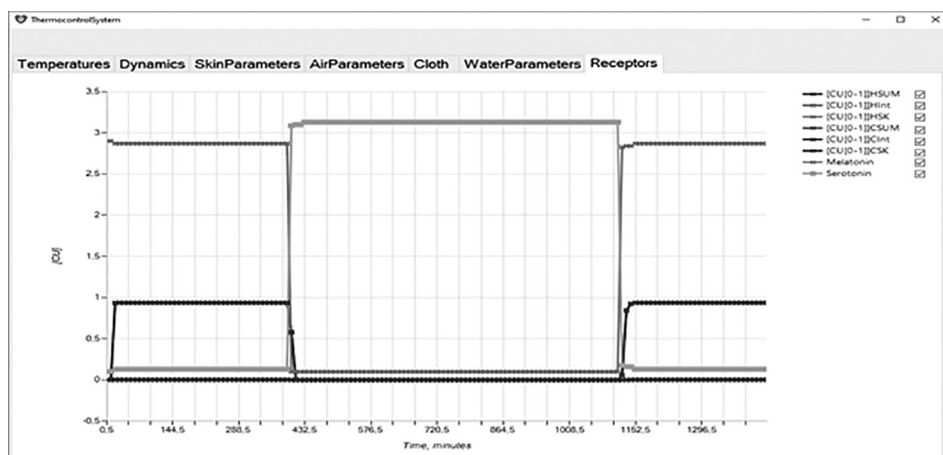


Fig.6. Day/night (circadian) dynamics of thermal receptors, serotonin, and melatonin: Output data

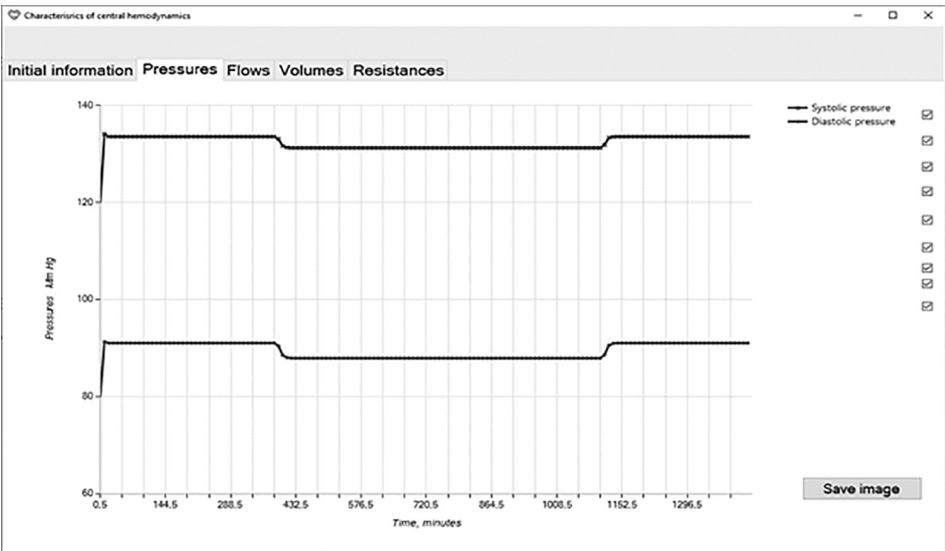


Fig.7. Day/night (circadian) dynamics of systolic and diastolic arterial pressures: Output data

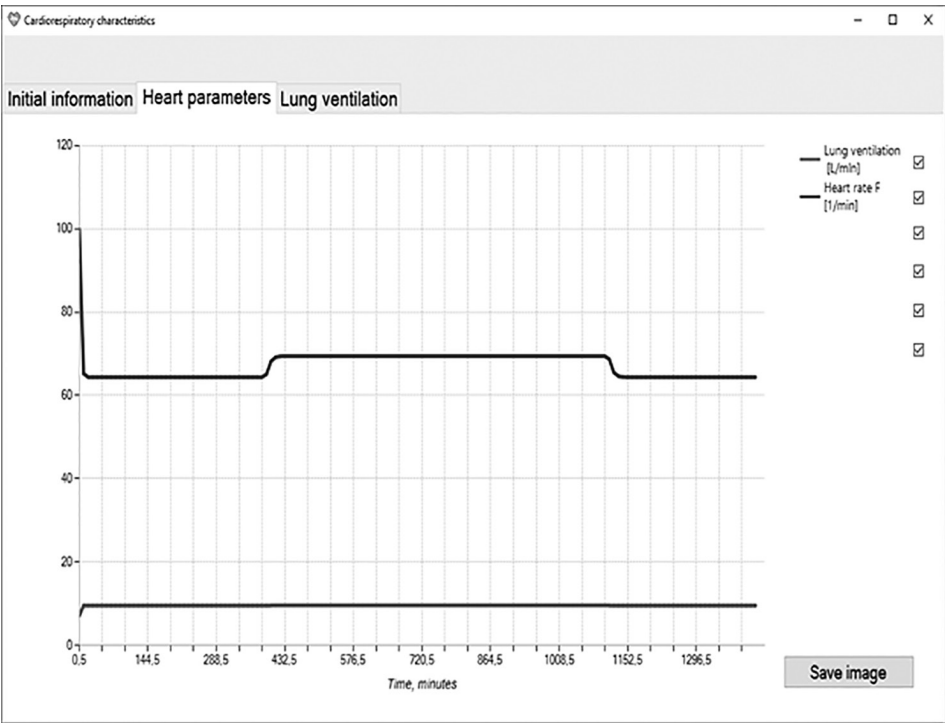


Fig.8. Day/night (circadian) dynamics of heart rate and lung ventilation: Output data

Output data are presented by temperatures in the core, blood, hypothalamus, and skin (Fig.4), by 12 characteristics concerning heat, and cooling (Fig.5), by dynamics of thermal receptors (heat and cold), and blood concentrations of serotonin and melatonin hormones (Fig.6), by dynamics of systolic and diastolic pressures (Fig.7), and at last, by dynamics of heart rate and lung ventilation (Fig.8).

Fig.4 illustrates day/night alterations of temperatures in modeled body areas while the

last two illustrations obviously show day/night alterations of pressures and heart rate.

Certainly, our simulator yields much more output data concerning blood circulation parameters, baroreceptors, and chemoreceptors activities, and dynamics of main endocrine hormones modulating not only the state of CVS but also the state of those body structures that concern functionality of thermoregulatory system. We do not present this additional data for two reasons. The first one is

already mentioned above – the paper volume. The second reason is concerned with the “raw” state of the MT model. It is not able yet to realistically simulate dynamics. Values of several constants and variables are included in the model in conventional units only. We plan to advance it when all component models will be created and integrated into the complex simulator of human PSS.

## Conclusion

In order to extend the potentials of the PC-based simulator of the human physiological super-system (PSS), a special quantitative model of the human thermoregulatory system (MT) is created and previously tested for specific scenarios.

Currently, MT is functioning with models of cardiovascular and lung systems. MT describes thermoregulatory responses to alterations of both external environmental physical characteristics and internal biological characteristics. Algorithms provide designing of scenarios including simulation of either short-time or long-time (hours or days) observations. Input data include different combinations of environmental variables (air or water temperature, air humidity, wind or water flow speed, light intensity, infrared radiation) for a naked or wear human, as well as for given dynamics of biological characteristics (rate of heat production including its components associated with metabolism and ATP molecules leasing during mental and physical activities). Human body is presented by a core, blood, and a skin compartments. Skin and lung evaporation are under hypothalamic control based on afferent impulse patterns from internal, and skin heat and cold receptors. Dynamic output data include blood, hypothalamic, and skin temperatures, hemodynamic parameters like heart rate, cardiac output, regional blood flows, vascular resistances, blood pressures, and regional blood volumes. Serotonin and melatonin concentrations modulating biological heat production rate are associated with light's day/night intensity. Currently, the PC-based simulator is autonomous soft-ware to be used both for educational purposes and for providing of special computer research. In a near future, this simulator has to be widened by models of kidneys, and a mechanism of liver-pancreas interaction.

## References

1. Grygoryan RD. The optimal circulation: cells contribution to arterial pressure. N.Y.: Nova Science, 2017: 287p. ISBN 978-1-53612-295-4.
2. Grygoryan R.D., Sagach V.F. The concept of physiological super-systems: New stage of integrative physiology. *Int. J. Physiol. and Pathophysiology*, 2018; 9,2,169-180.
3. Grygoryan RD. The Optimal Coexistence of Cells: How Could Human Cells Create The Integrative Physiology. *J. of Human Physiology*. 2019,1 (01):8-28. DOI 10.30564/jhp.v1i1.1386.
4. Grygoryan R.D. Problem-oriented computer simulators for solving of theoretical and applied tasks of human physiology. *Problems of programming*. 2017, №3, P. 102-111.
5. Grygoryan R.D., Yurchak O.I., Degoda A.G., Lyudovyk T.V. Specialized software for simulating the multiple control and modulations of human hemodynamics. *Prombles in programming*. 2021; 2: 42-53. DOI: <https://doi.org/10.15407/pp2021.02.042>.
6. Grygoryan R.D., Degoda A.G., Lyudovyk V., Yurchak O.I. Simulations of human hemodynamic responses to blood temperature and volume changes. *Prombles in programming*. 2023; 1: 19-29. DOI: <https://doi.org/10.15407/pp2023.01.019>
7. Grygoryan R.D. Modeling of mechanisms providing the overall control of human circulation. *Advances in Human Physiology Research*, 2022,4,5 – 21, <https://doi.org/10.30564/ahpr.v4i1.4763>.
8. Fiala D., Lomas K.J., Stohrer M. Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions, *Int. J. Biometeorol.* 45 (2001) 143e159. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov>.
9. Yermakova I.I., Montgomery L.D., Potter A.W. Mathematical model of human responses to open air and water immersion. *Journal of Sport and Human Performance*, 2022; 10(1), 30-45. <https://doi.org/10.12922/jshp.v10i1.187>.
10. Salloum M., Ghaddar N., Ghali K. A new transient bioheat model of the human body and its integration to clothing models. *International Journal of Thermal Sciences*. 2007, 46,4,371-384.
11. Kobayashi Y., Tanabe S., Development of JOS-2 human thermoregulation model with

- detailed vascular system, Build. Environ. 66 (2013) 1e10, [http:// dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.013](http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.013).
12. Katić K. Thermophysiological models and their applications: A review Building and Environment (Elsevier) 2016, 106, 286-300.
13. Bhoopendra Choudhary, Udayraj, Local and overall convective heat transfer coefficients for human body with air ventilation clothing: Parametric study and correlations, Building and Environment, 229, 2023, 109953, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109953>

Received: 10.08.2023

***About authors:***

Grygoryan Rafik,  
Department chief, PhD, D-r in biology  
Publications number in Ukraine journals – 153  
Publications number in English journals – 49.  
Hirsch index – 11  
<http://orcid.org/0000-0001-8762-733X>.

Degoda Anna,  
Senior scientist, PhD.  
Publications number in Ukraine journals – 16.  
Publications number in English journals – 1.

Hirsch index – 3.  
<http://orcid.org/0000-0001-6364-5568>.

Lyudovyk Tetyana,  
Senior scientist, PhD.  
Publications number in Ukraine journals – 31.  
Publications number in English journals – 17.  
Hirsch index – 5.  
<https://orcid.org/0000-0003-0209-2001>.

Yurchak Oksana,  
Leading software engineer.  
Publications number in Ukraine journals – 15.  
Publications number in English journals – 0.  
Hirsch index – 0.  
<https://orcid.org/0000-0003-3941-1555>.

***Place of work:***

Institute of software systems  
of Ukraine National Academy of Sciences  
03187, Kyïv,  
Acad. Glushkov avenue, 40,  
Phone.: 526 5169.  
E-mail: [rgrygoryan@gmail.com](mailto:rgrygoryan@gmail.com),  
[anna@silverlinecrm.com](mailto:anna@silverlinecrm.com),  
[tetyana.lyudovyk@gmail.com](mailto:tetyana.lyudovyk@gmail.com),  
[daravatan@gmail.com](mailto:daravatan@gmail.com),

*А.Ю. Дорошенко, В.М. Шпиг, Р.В. Кушніренко*

## УТОЧНЕННЯ ЧИСЕЛЬНИХ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ПРОГНОЗІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ

Зроблено короткий огляд розвитку чисельного прогнозування погоди. Описано проблеми, які мають місце в моделюванні атмосферних процесів, їхню природу та можливі шляхи подолання. Запропоновано архітектуру нейронної мережі, яка дозволяє коригувати помилки прогнозу приземної температури повітря чисельної регіональної моделі COSMO. Показано, що запропонована архітектура дає можливість покращити прогноз у понад 50% випадків, що підкріплюється також зменшенням кореня середнього квадратичного відхилення.

Ключові слова: “глибоке навчання”, чисельний прогноз, COSMO, температура повітря.

### Вступ

Атмосферні процеси та явища можуть значно вплинути на різні сфери людської життєдіяльності, починаючи від сільського господарства і закінчуючи цивільною та військовою авіацією. Щобільше, такі природні явища як повені, сильні зливи, урагани тощо можуть завдавати великих збитків господарству, ба навіть гірше - становити загрозу життю багатьох людей. Тому дуже важливою науковою задачею є все більше вдосконалення якості метеорологічного прогнозування, адже це може дозволити попередити та зменшити негативні наслідки від надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру.

До будь-якого прогнозування, зокрема, до метеорологічного, логічно висунути дві основні вимоги: точність (правдивість) прогнозу і своєчасність його отримання. Як зазначено у [1], відбулася “тиха революція” чисельних гідродинамічних методів прогнозу погоди, що мала на меті якнайповніше задовольнити обидві вказані вимоги. Зокрема, розробка більш довершених і реалістичних математичних моделей, а також істотне збільшення обсягу початкових метеорологічних даних уможливило виконання першої вимоги. Друга ж вимога забезпечується передусім появою все більш потужних обчислювальних систем.

Проте попри величезний прогрес останніх років, ми не можемо назвати якість отриманих прогнозів абсолютною. Причи-

ною цього є складність будови атмосфери й різноманіття процесів та явищ, наявних у ній. Зокрема, одні процеси відбуваються на великій території протягом тривалого часу, інші ж можуть мати місце на незначній за площею території та впродовж короткого часового проміжку.

Найбільш розповсюдженою на сьогодні є шкала масштабів атмосферних процесів та об’єктів, згідно з якою вони поділяються на три типи [2]: мікромасштабні (до 200 м), мезомасштабні (від 200 м до 2000 км) та макромасштабні (понад 2000 км). Зрозуміло, що процеси всіх перерахованих вище масштабів впливають на формування явищ, що виникають в атмосфері в кожній конкретній області. Тимчасом роль кожного процесу в різних умовах буде неоднаковою. Так формування загальної циркуляції на територіях, співставних за розмірами з континентами, виникає переважно під впливом макромасштабних процесів. Водночас мезомасштабні процеси роблять менш важливий внесок.

Таким чином цілком зрозумілими є труднощі, що виникають під час спроб моделювання метеорологічних процесів різних масштабів з єдиних позицій, оскільки зв’язки між циркуляцією атмосфери та закономірностями обміну імпульсом, теплом і вологою у приземному / приповерховому шарі атмосфери безпосередньо проявляються під час розв’язання відповідних задач.

Складність математичних моделей, що описують циркуляційні процеси в атмосфері обумовлює реалізацію прогностичних систем за допомогою чисельних методів. Рівняння, з яких складаються такі моделі, є переважно нелінійними тривимірними рівняннями другого порядку з малим параметром у разі похідних другого порядку. Наявність малого параметра при старших похідних може зумовлювати зміну типу рівняння (до прикладу, з еліптичного на гіперболічний або параболічний) залежно від режиму руху в атмосфері, що моделюється. Наразі навіть ресурси дуже потужних комп'ютерних систем не дають змоги здійснювати просторову дискретизацію моделі атмосфери з високим розділенням. Водночас більш груба просторова дискретизація призводить до того, що багато мезомасштабних метеорологічних процесів не описуються цією моделлю, оскільки у такому разі опиняються у класі процесів підсіткового масштабу.

Оскільки прогноз погоди потрібно отримувати завчасно, значною проблемою у створенні прогнозів, що базуються на реалізації математичних моделей, є обмеження на час розв'язання. Як зазначено вище, навіть сучасні потужні обчислювальні системи не дозволяють використовувати дрібну просторову сітку в області розв'язання задачі, що дало б можливість підвищити точність прогнозу. Особливо актуальною дана проблема постає для України, тому що питання зменшення витрат машинного часу у розв'язанні задач динамічної метеорології стоїть особливо гостро у зв'язку з відсутністю в національній гідрометслужбі потужної обчислювальної техніки, яку використовують у світових і національних метеорологічних центрах розвинутих держав.

На щастя, існують альтернативні способи покращити якість метеорологічного прогнозування. Один з них використовує той факт, що задача моделювання метеорологічних процесів передбачає для свого розв'язання розщеплення рівнянь за координатами [3], що своєю чергою забезпечує так званий природний паралелізм виконання операцій [4], тобто такий паралелізм ви-

конання операцій, що зумовлений специфікацією задачі, а не впливає з алгоритму її розв'язання.

Отож, одним із перспективних напрямів покращення якості метеорологічного прогнозування є розробка і дослідження систем паралельних і розподілених обчислень. Зокрема, важливою метою є розвиток архітектурно- і мовно-незалежних засобів програмування мультипроцесорних обчислювальних систем, якого можна досягти за допомогою програмних абстракцій у вигляді алгебро-алгоритмічних мов і моделей. Зазначимо, що алгебро-алгоритмічний підхід до побудови структурованих абстракцій у моделях паралельних програм має на меті забезпечення високої продуктивності паралельних обчислень.

Іншим альтернативним способом покращення якості метеорологічного прогнозування є використання так званого "глибокого навчання" (deep learning, DL). Все більш успішне використання цієї техніки стало можливим завдяки збільшенню обчислювальної потужності систем, доступності великих наборів даних і швидкому розвитку нових архітектур нейронних мереж. Деякі з цих нових архітектур можуть виконувати певні задачі набагато ефективніше, аніж класичні повнозв'язні нейронні мережі прямого поширення.

Однією з таких особливо успішних концепцій, що має широке застосування, є концепція згорткової нейронної мережі (convolutional neural network, CNN) [5]. Ця архітектура нейронної мережі являє собою стек фільтрів малого розміру з невеликою кількістю параметрів, які власне "навчаються". Вона застосовується до зображень або інших даних на прямокутній сітці для отримання узагальнених характерних особливостей досліджуваного об'єкта. У царині метеорологічного і кліматичного прогнозування згорткові мережі можуть бути використані для виявлення просторових характеристик, як-от, під час аналізу супутникових зображень [6].

Іншою корисною і широко вживаною концепцією є рекурентні нейронні мережі (recurrent neural network, RNN). Цей вид нейромережевої архітектури був роз-

роблений для вивчення залежних від часу особливостей даних, до прикладу, тексту [7] та мовлення [8]. Рекурентність — це лише загальна ідея, яка полягає у тому, що топологічно така архітектура нейронної мережі може бути представлена орієнтованим у часі графом. Завдяки цьому утворюється “пам’ять” мережі (вектор внутрішнього стану), що і дозволяє виявляти динамічні (у часовому вимірі) характеристики досліджуваних даних. Двома найпопулярнішими видами рекурентних нейронних мереж є мережа довгої короткочасної пам’яті (long short-term memory, LSTM) [9] та вентильний рекурентний вузол (gated recurrent unit, GRU) [10]. Зокрема, GRU-шари будуть використані для розв’язання поставленої в даній статті задачі.

Зазначимо, що GRU- та LSTM-шари можуть бути вбудовані в складніші архітектури нейронних мереж. Наприклад, поєднання звичайної CNN з LSTM дає так звану мережу ConvLSTM [11].

Кількість задач, для розв’язання яких можуть використовуватися нейронні мережі, надзвичайно велика, навіть якщо брати до уваги тільки сферу метеорологічного прогнозування. Ось декілька прикладів. Класифікація метеорологічних супутникових знімків за допомогою CNN була здійснена в [12]. У [13] дослідники використовували LSTM для прогнозування зображень хмар. Беручи за основу принципи використання “глибокого навчання” для прогнозування відео, дослідники зробили короткострокове прогнозування зображень неба та радіолокаційних зображень [14]. Також здійснювалися деякі спроби створити прогноз погоди, використовуючи багатопаровий перцептрон, зокрема, у [15]. Дослідження [16] можна розглядати як перший крок до заміни динамічного ядра чисельної моделі погоди, оскільки у ньому “навчання без вчителя” застосовувалося до рівнянь Нав’є-Стокса для нестискуваної рідини.

Проте, як було показано у [17], ще рано говорити про повну заміну чисельних гідродинамічних методів прогнозу погоди на методи, що базуються лише на “глибокому навчанні” і спостережуваних даних.

Хоча “глибоке навчання” останнім часом показує себе успішно у різних сферах і попри те, що робляться спроби його застосування до метеорологічних задач, такі дослідження все ще знаходяться в зародковому стані. Це пов’язано передусім з тим, що характерні особливості метеорологічних даних вимагають розробки нових підходів поза межами класичних концепцій комп’ютерного зору, розпізнавання мовлення та інших типових задач, що ставляться перед “глибоким навчанням”. Попри те, що робота над цими новими підходами посувається та вже багато проблем успішно розв’язано, не існує єдиного методу, що вирішував би усі проблеми одночасно. А саме він і потрібен для успішної повної заміни чисельних методів метеорологічного прогнозування.

Однак, відповідно до [18], є тенденція до розробки гібридних підходів моделювання, які поєднали б моделі фізичних процесів з універсальністю інструментів “глибокого навчання” для досягнення кращих результатів. Зокрема, існують дослідження можливості успішного використання “глибокого навчання” на різних стадіях чисельного прогнозу: обробка спостережень [19], асиміляція даних [20], прогностична модель [21] та постпроцесинг отриманих результатів [22].

Власне, дана стаття пропонує підхід до застосування “глибокого навчання” до постпроцесингу результатів прогнозу приземної температури, отриманого за допомогою чисельних гідродинамічних методів метеорологічного прогнозування. Подальша розробка цього підходу може уможливити досягнення належного ступеня точності метеорологічних прогнозів, використовуючи відносно невелику обчислювальну потужність.

## Опис даних

“Глибоке навчання” як техніка виокремлення характерних особливостей даних суттєво залежить від якості, репрезентативності та цілісності використовуваних даних. Тому правильний відбір і підготовка даних є важливими факторами для отримання хороших і узагальнюючих результатів.

Зокрема, відбір даних має бути спрямований на охоплення якнайповнішої варіативності значень змінних, на яких базуватиметься власне навчання нейромережевої моделі. Хороші дані мають дозволяти моделі охоплювати зв'язки між змінними, на основі яких робиться прогноз. Водночас важливим є уникнення надлишковості у даних.

Нижче поданий опис даних, використаних для дослідження, описаного у даній статті. Ці дані склалися з чотириелементних кортежів і містили наступну інформацію:

- дата,
- час за Гринвічем,
- прогнозоване значення температури (Fcst), завчасністю в одну добу від моменту ініціалізації чисельної регіональної моделі,
- спостережуване значення температури (Obs).

Чисельною регіональною моделлю прогнозу погоди, згаданою вище, є модель однойменного європейського консорціуму COSMO (Consortium for Small-scale Modelling). Ця модель використовується в Українському гідрометеорологічному інституті ДСНС України та НАН України для наукових та прикладних задач, починаючи із липня 2011 р. [23].

COSMO є негідростатичною моделлю, здатною ефективно відтворювати широкий спектр атмосферних процесів у масштабі мезо- $\beta$  та мезо- $\gamma$ . В основу динамічного ядра моделі покладено рівняння термо- та гідродинаміки, що описують потік у вологій атмосфері. Різноманітні фізичні процеси враховуються схемами параметризації [24].

Рис. 1 зображує розрахункову область чисельної регіональної моделі: кількість вузлів із заходу на схід – 209; кількість вузлів із півдня на північ – 101; кількість рівнів по вертикалі – 50; крок  $\sim 14$  км.

Наявні дані охоплюють проміжок часу від 01.07.2012 до 31.03.2014, або 639 днів. Спостереження проводилися кожні три години, а саме о 00:00, 03:00, 06:00,

09:00, 12:00, 15:00, 18:00 і 21:00 за Гринвічем. Для цих же моментів часу обчислювався і прогноз регіональної моделі.

Таким чином, для кожної дати маємо по вісім кортежів. Відповідно 639 днів дають 5112 кортежів.



Рис. 1. Розрахункова область моделі прогнозу погоди COSMO

Що стосується просторової приналежності, то дані охоплюють спостережувані значення і прогнози для станцій “Біла Церква”, “Бориспіль”, “Київ”, “Миронівка”, “Тетерів”, “Фастів”, “Чорнобиль” та “Яготин”.

## Рекурентні нейронні мережі

Як зазначалося вище, поточне дослідження використовує концепцію рекурентних нейронних мереж. Це зумовлено тим, що метеорологічні дані мають природу часового ряду, тобто містять залежні від часу особливості. А концепція рекурентних нейронних мереж була розроблена для роботи саме з даними такого роду.

З-поміж наявних видів рекурентних архітектур була обрана архітектура вентильного рекурентного вузла (GRU), оскільки вона містить небагато параметрів, а тому швидко навчається. Водночас вузол GRU дозволяє уникнути основних проблем, що виникають під час аналізу довгострокових залежностей. Цими проблемами є ефект зникнення градієнтів (vanishing gradient effect) і безпосередньо пов'язаний з ним ефект вибуху градієнтів (exploding gradients effect).

Вузол GRU працює наступним чином. У кожний момент часу йому на вхід подаються вхідний вектор  $x_t$  і вихідний вектор з попереднього моменту часу  $h_{t-1}$ . Вихідний вектор  $h_t$  обчислюється як лінійна інтерполяція між  $h_{t-1}$  і поточним кандидатом  $\tilde{h}_t$ :

$$h_t = (1 - z_t) \odot h_{t-1} + z_t \odot \tilde{h}_t,$$

де  $z_t$  – вектор вузла уточнення. Він визначає, які долі першого і другого векторів впливатимуть на поточне значення.  $\odot$  позначає добуток Адамара.

Вектор вузла уточнення обчислюється наступним чином:

$$z_t = \sigma_g(W_z x_t + U_z h_{t-1} + b_z).$$

Поточний кандидат  $\tilde{h}_t$  обчислюється подібно до стандартної рекурентної нейронної мережі:

$$\tilde{h}_t = \sigma_h(W_h x_t + U_h(r_t \odot h_{t-1}) + b_h),$$

де  $r_t$  – вектор вузла скидання, що обчислюється подібно до вектора вузла уточнення:

$$r_t = \sigma_g(W_r x_t + U_r h_{t-1} + b_r).$$

$W_z$ ,  $U_z$ ,  $W_h$ ,  $U_h$ ,  $W_r$ ,  $U_r$  позначають матриці параметрів, а  $b_z$ ,  $b_h$ ,  $b_r$  позначають вектори параметрів. Вектори вузлів уточнення і скидання активуються сигмоїдною функцією, а вектор поточного кандидата – гіперболічним тангенсом.

### Опис експерименту

Основна ідея даного дослідження полягає у перевірці можливості застосування рекурентних нейронних мереж до уточнення прогнозу приземної температури, отриманого за допомогою чисельної моделі прогнозу погоди COSMO.

Для кожної метеорологічної станції тренувалася власна нейромережева модель, яка мала б якнайкраще виокремити фізичні особливості конкретного пункту спостереження. Тож, ми маємо 8 натренованих моделей.

Нейромережева топологія та інші конфігураційні параметри були однаковими для всіх моделей. Першим шаром нейронної мережі (після вхідного) було

взято GRU-шар, що складається з 64 вузлів, оскільки менша і більша кількість давали гірші результати. Після нього було додано один прихований повнозв'язний шар з 64 вузлами. Останній шар запропонованої архітектури був також повнозв'язним і мав 8 вузлів, оскільки вихідний вектор повинен мати розмірність добового вектора прогнозу (8 значень).

Рис. 2 зображує описану топологію нейромережових моделей.

8 вузлів 64 вузли 64 вузли 8 вузлів

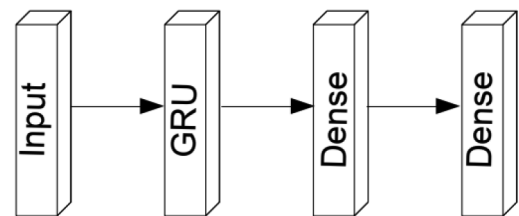


Рис. 2. Запропонована архітектура нейронної мережі

Що ж до даних, то для кожної метеорологічної станції уся їх сукупність була розбита на три класи: тренувальні (період з 01.07.2012 до 30.06.2013; 365 днів), валідаційні (період з 01.07.2013 до 31.10.2013; 123 дні) і тестувальні (з 01.11.2013 до 01.04.2014; 151 день).

Усі експерименти проводилися з використанням відкритого нейромережевого інтерфейсу Keras [25] і відкритої програмної бібліотеки для “глибокого навчання” TensorFlow [26]. Програмний код був написаний мовою Python [27].

### Отримані результати

Ефективність запропонованого підходу оцінювалась за двома критеріями. Перший з них — це корінь середнього квадратичного відхилення (RMSE), стандартний спосіб оцінювання похибок у метеорологічній науці. Інша метрика — відсоток випадків, в яких прогноз покращено (або, принаймні, не погіршено) порівняно з чисельним. Як бачимо з таблиці, значення нейронної мережі краще за значення чисельної моделі.

Таблиця. Порівняння нейронної мережі (NN) і чисельної моделі (COSMO)

| Станція     | RMSE (COSMO), °C | RMSE (NN), °C | Покращення, % |
|-------------|------------------|---------------|---------------|
| Біла Церква | 1.9864           | 1.8865        | 54.81         |
| Бориспіль   | 2.0007           | 1.9958        | 53.21         |
| Київ        | 2.1888           | 1.9824        | 53.97         |
| Миронівка   | 2.0945           | 2.0099        | 57.48         |
| Тетерів     | 2.0457           | 2.0215        | 52.29         |
| Фастів      | 1.9728           | 1.8565        | 54.68         |
| Чорнобиль   | 1.9696           | 2.0094        | 50.59         |
| Яготин      | 2.2437           | 2.1157        | 52.21         |

### Висновки

На прикладі прогнозів моделі COSMO приземної температури повітря для восьми метеорологічних станцій Київської області та відповідних їм даних фактичних спостережень запропоновано архітектуру нейронної мережі, яка дозволяє покращувати прогноз чисельної регіональної моделі.

Показано, що запропонована архітектура дає можливість досягти покращення прогнозу приземної температури повітря більше, ніж у 50% випадків. Цей результат підкріплюється зменшенням значень кореня середнього квадратичного відхилення.

Отримані результати дають підстави для застосування нейромережевого підходу до коригування прогнозів інших неперервних метеорологічних величин.

### Література

1. Bauer, P., Thorpe, A. and Brunet, G., 2015. The quiet revolution of numerical weather prediction. *Nature*, 525(7567), pp.47-55.
2. Orlanski, I., 1975. A rational subdivision of scales for atmospheric processes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, pp.527-530.
3. Prusov, V.A., Doroshenko, A.E., Chernysh, R.I. and Guk, L.N., 2007. Efficient difference scheme for numerical solution of a convective diffusion problem. *Cybernetics and Systems Analysis*, 43, pp.368-376.
4. Прусов, В.А. and Дорошенко, А.Ю., 2006. Моделювання природних і техногенних процесів в атмосфері. *Київ: Наукова Думка*.

5. LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y. and Haffner, P., 1998. Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE*, 86(11), pp.2278-2324.
6. Zhu, X.X., Tuia, D., Mou, L., Xia, G.S., Zhang, L., Xu, F. and Fraundorfer, F., 2017. Deep learning in remote sensing: A comprehensive review and list of resources. *IEEE geoscience and remote sensing magazine*, 5(4), pp.8-36.
7. Graves, A., Liwicki, M., Fernandez, S., Bertolami, R., Bunke, H. and Schmidhuber, J., 2009. A novel connectionist system for improved unconstrained handwriting. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 31(5).
8. Sak, H., Senior, A. and Beaufays, F., 2014. Long short-term memory based recurrent neural network architectures for large vocabulary speech recognition. *arXiv preprint arXiv:1402.1128*.
9. Hochreiter, S. and Schmidhuber, J., 1997. Long short-term memory. *Neural computation*, 9(8), pp.1735-1780.
10. Cho, K., Van Merriënboer, B., Gulcehre, C., Bahdanau, D., Bougares, F., Schwenk, H. and Bengio, Y., 2014. Learning phrase representations using RNN encoder-decoder for statistical machine translation. *arXiv preprint arXiv:1406.1078*.
11. Shi, X., Chen, Z., Wang, H., Yeung, D.Y., Wong, W.K. and Woo, W.C., 2015. Convolutional LSTM network: A machine learning approach for precipitation nowcasting. *Advances in neural information processing systems*, 28.
12. Zhou, Y., Wang, H., Xu, F. and Jin, Y.Q., 2016. Polarimetric SAR image classification using deep convolutional neural networks. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 13(12), pp.1935-1939.
13. Xu, Z., Du, J., Wang, J., Jiang, C. and Ren, Y., 2019, May. Satellite image prediction relying on GAN and LSTM neural networks. In *ICC 2019-2019 IEEE international conference on communications (ICC)* (pp. 1-6). IEEE.
14. Schmidt, V., Alghali, M., Sankaran, K., Yuan, T. and Bengio, Y., 2020. Modeling cloud reflectance fields using conditional generative adversarial networks. *arXiv preprint arXiv:2002.07579*.
15. Dueben, P.D. and Bauer, P., 2018. Challenges and design choices for global weather and climate models based on machine learning. *Geoscientific Model Development*, 11(10), pp.3999-4009.
16. Wandel, N., Weinmann, M. and Klein, R., 2020. Unsupervised deep learning of in-

- compressible fluid dynamics. *arXiv pre-print arXiv:2006.08762*.
17. Schultz, M.G., Betancourt, C., Gong, B., Kleinert, F., Langguth, M., Leufen, L.H., Mozaffari, A. and Stadtler, S., 2021. Can deep learning beat numerical weather prediction?. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 379(2194), p.20200097.
18. Bauer, P., Dueben, P.D., Hoeffler, T., Quintino, T., Schulthess, T.C. and Wedi, N.P., 2021. The digital revolution of Earth-system science. *Nature Computational Science*, 1(2), pp.104-113.
19. Prudden, R., Adams, S., Kangin, D., Robinson, N., Ravuri, S., Mohamed, S. and Arribas, A., 2020. A review of radar-based nowcasting of precipitation and applicable machine learning techniques. *arXiv pre-print arXiv:2005.04988*.
20. Bonavita, M. and Laloyaux, P., 2020. Machine learning for model error inference and correction. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 12(12), p.e2020MS002232.
21. Krasnopolsky, V.M., Fox-Rabinovitz, M.S. and Chalikov, D.V., 2005. New approach to calculation of atmospheric model physics: Accurate and fast neural network emulation of longwave radiation in a climate model. *Monthly Weather Review*, 133(5), pp.1370-1383.
22. Rasp, S. and Lerch, S., 2018. Neural networks for postprocessing ensemble weather forecasts. *Monthly Weather Review*, 146(11), pp.3885-3900.
23. Shpyg, V., Budak, I., Pishniak, D. and Poperechnyi, P., 2013, November. The application of regional NWP models to operational weather forecasting in Ukraine. In *CAS Technical Conference (TECO) on «Responding to the Environmental Stressors of the 21st Century» Available from: <http://www.wmo.int/pages/prog/arep/cas/documents/Ukraine-NWPMODELS.pdf> [Accessed 27/02/2020]*.
24. Doms, G. and Baldauf, M., 2011. A description of the nonhydrostatic regional COSMO-Model Part I: dynamics and numerics. *Deutscher Wetterdienst, Offenbach*.
25. <https://keras.io/>
26. <https://www.tensorflow.org/>
27. <https://www.python.org/>
28. *tin of the American Meteorological Society*, pp.527-530.
3. Prusov, V.A., Doroshenko, A.E., Chernysh, R.I. and Guk, L.N., 2007. Efficient difference scheme for numerical solution of a convective diffusion problem. *Cybernetics and Systems Analysis*, 43, pp.368-376.
4. Prusov, V.A. and Doroshenko, A.Y., 2006. Modeling of Natural and Technogenic Processes in the Atmosphere [in Ukrainian].
5. LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y. and Haffner, P., 1998. Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE*, 86(11), pp.2278-2324.
6. Zhu, X.X., Tuia, D., Mou, L., Xia, G.S., Zhang, L., Xu, F. and Fraundorfer, F., 2017. Deep learning in remote sensing: A comprehensive review and list of resources. *IEEE geoscience and remote sensing magazine*, 5(4), pp.8-36.
7. Graves, A., Liwicki, M., Fernandez, S., Bertolami, R., Bunke, H. and Schmidhuber, J., 2009. A novel connectionist system for improved unconstrained handwriting. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 31(5).
8. Sak, H., Senior, A. and Beaufays, F., 2014. Long short-term memory based recurrent neural network architectures for large vocabulary speech recognition. *arXiv pre-print arXiv:1402.1128*.
9. Hochreiter, S. and Schmidhuber, J., 1997. Long short-term memory. *Neural computation*, 9(8), pp.1735-1780.
10. Cho, K., Van Merriënboer, B., Gulcehre, C., Bahdanau, D., Bougares, F., Schwenk, H. and Bengio, Y., 2014. Learning phrase representations using RNN encoder-decoder for statistical machine translation. *arXiv preprint arXiv:1406.1078*.
11. Shi, X., Chen, Z., Wang, H., Yeung, D.Y., Wong, W.K. and Woo, W.C., 2015. Convolutional LSTM network: A machine learning approach for precipitation nowcasting. *Advances in neural information processing systems*, 28.
12. Zhou, Y., Wang, H., Xu, F. and Jin, Y.Q., 2016. Polarimetric SAR image classification using deep convolutional neural networks. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 13(12), pp.1935-1939.
13. Xu, Z., Du, J., Wang, J., Jiang, C. and Ren, Y., 2019, May. Satellite image prediction relying on GAN and LSTM neural networks. In *ICC 2019-2019 IEEE international conference on communications (ICC)* (pp. 1-6). IEEE.
14. Schmidt, V., Alghali, M., Sankaran, K., Yuan, T. and Bengio, Y., 2020. Modeling

## References

1. Bauer, P., Thorpe, A. and Brunet, G., 2015. The quiet revolution of numerical weather prediction. *Nature*, 525(7567), pp.47-55.
2. Orlanski, I., 1975. A rational subdivision of scales for atmospheric processes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 56(1), pp.15-21.

- cloud reflectance fields using conditional generative adversarial networks. *arXiv preprint arXiv:2002.07579*.
15. Dueben, P.D. and Bauer, P., 2018. Challenges and design choices for global weather and climate models based on machine learning. *Geoscientific Model Development*, 11(10), pp.3999-4009.
  16. Wandel, N., Weinmann, M. and Klein, R., 2020. Unsupervised deep learning of incompressible fluid dynamics. *arXiv preprint arXiv:2006.08762*.
  17. Schultz, M.G., Betancourt, C., Gong, B., Kleinert, F., Langguth, M., Leufen, L.H., Mozaffari, A. and Stadtler, S., 2021. Can deep learning beat numerical weather prediction?. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 379(2194), p.20200097.
  18. Bauer, P., Dueben, P.D., Hoefler, T., Quintino, T., Schulthess, T.C. and Wedi, N.P., 2021. The digital revolution of Earth-system science. *Nature Computational Science*, 1(2), pp.104-113.
  19. Prudden, R., Adams, S., Kangin, D., Robinson, N., Ravuri, S., Mohamed, S. and Arribas, A., 2020. A review of radar-based nowcasting of precipitation and applicable machine learning techniques. *arXiv preprint arXiv:2005.04988*.
  20. Bonavita, M. and Laloyaux, P., 2020. Machine learning for model error inference and correction. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 12(12), p.e2020MS002232.
  21. Krasnopolsky, V.M., Fox-Rabinovitz, M.S. and Chalikov, D.V., 2005. New approach to calculation of atmospheric model physics: Accurate and fast neural network emulation of longwave radiation in a climate model. *Monthly Weather Review*, 133(5), pp.1370-1383.
  22. Rasp, S. and Lerch, S., 2018. Neural networks for postprocessing ensemble weather forecasts. *Monthly Weather Review*, 146(11), pp.3885-3900.
  23. Shpyg, V., Budak, I., Pishniak, D. and Poperechnyi, P., 2013, November. The application of regional NWP models to operational weather forecasting in Ukraine. In *CAS Technical Conference (TECO) on «Responding to the Environmental Stressors of the 21st Century» Available from: <http://www.wmo.int/pages/prog/arep/cas/documents/Ukraine-NWPMODELS.pdf> [Accessed 27/02/2020]*.
  24. Doms, G. and Baldauf, M., 2011. A description of the nonhydrostatic regional COSMO-Model Part I: dynamics and numerics. *Deutscher Wetterdienst, Offenbach*.

25. <https://keras.io/>
26. <https://www.tensorflow.org/>
27. <https://www.python.org/>

Одержано: 01.09.2023

### Про авторів:

Дорошенко Анатолій Юхимович, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач відділу ІПС НАНУ, професор кафедри інформаційних систем та технологій КІП імен Ігоря Сікорського. Кількість наукових публікацій в українських виданнях – понад 200. Кількість наукових публікацій в зарубіжних виданнях – понад 90. <http://orcid.org/0000-0002-8435-1451>,

Шпиг Віталій Михайлович, кандидат географічних наук, завідувач відділу фізики атмосфери Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України, експерт Комісії з атмосферних наук Всесвітньої метеорологічної організації. Кількість наукових публікацій в українських виданнях – понад 50. Кількість наукових публікацій в зарубіжних виданнях – понад 50. <https://orcid.org/0000-0003-1055-7120>,

Кушніренко Роман Владиславович, аспірант. Кількість наукових публікацій в українських виданнях – 2. <https://orcid.org/0000-0002-1990-8727>.

### Місце роботи авторів:

Інститут програмних систем НАН України, 03187, м. Київ-187, проспект Академіка Глушкова, 40. Тел.: 38 044 526-60-33. Е-mail: [doroshenkoanatoliy2@gmail.com](mailto:doroshenkoanatoliy2@gmail.com), [roman.kushnirenk@gmail.com](mailto:roman.kushnirenk@gmail.com).

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, 03028, м. Київ, проспект Науки, 37. Тел.: (38)(044) 525-86-30. Е-mail: [vitold82@i.ua](mailto:vitold82@i.ua).

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ВИРОБЛЕННЯ ТА СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Прогнозування попиту на ринках електроенергії є однією зі складових, яку необхідно втілити для успішного ведення бізнесу та оптимізації бізнес-процесів торговельних компаній. У статті, на основі моделі, розробленої в Інституті проблем моделювання в енергетиці НАНУ, поставлено задачу з розробки програмної системи прогнозування загроз в енергетиці України із використанням методів машинного навчання. Здійснено експерименти із застосування методів регресії для відновлення колонки з даними двосторонніх договорів для задачі прогнозування вироблення та споживання електроенергії. Результати із застосування алгоритмів машинного навчання на даних мирного часу показали, що можна із достатньою точністю прогнозувати обсяги ринку й тарифні плани на годину наперед і вийти за межі одноденного планування.

Ключові слова: електроенергія, алгоритм, машинне навчання, прогнозування, регресія, ринок двосторонніх договорів, ринок на добу наперед, внутрішньо-добовий ринок, балансуючий ринок.

### Вступ

В Інституті програмних систем НАН України тривалий час розробляються моделі організаційних рішень, безпеки та системи автоматизованої підтримки систем управління озброєнням Збройних Сил України [1–4].

Дана робота присвячена проблемі безпеки в енергетичному секторі, що є важливим аспектом для України, яка потерпає від агресивних дій Росії. Це безпосередньо впливає на інформаційну безпеку, інформаційні технології та телекомунікаційні галузі. Електрична мережа — це зона, де можна контролювати стан мережі, вимірювати різні характеристики та перерозподіляти потік електроенергії залежно від внутрішніх і зовнішніх загроз. Вузли (або електростанції) електричної мережі можна класифікувати наступним чином: генераторні станції, станції споживання, розподільчі станції, накопичувальні станції.

Метою контролю та моніторингу в цій сфері є оптимізація перетоку електроенергії між учасниками ринку, між європейськими партнерами та Україною. Важливо підтримувати баланс між виробниками та споживачами енергії. Випадки як надмірного, так і недостатнього забезпечення

енергією є ризиками для інфраструктури. Природа та класифікація загроз для електромережі України є темою окремого дослідження. Однак на початковому етапі можна виділити наступні проблеми:

- зміна погодних умов;
- амортизація обладнання;
- пошкодження в результаті авіанальоту;
- неузгоджений запуск або зупинка обладнання;
- стихійні лиха та зміни клімату;
- неоптимальний вибір контрагентів.

Зазначимо, що на зміну моделі оптового ринку електроенергії з єдиним покупцем прийшла ринкова модель, що базується на двосторонніх ринках, ринках на добу наперед і внутрішньодобових ринках. А також ринках балансуючих і допоміжних послуг, де учасники можуть вільно торгувати електроенергією, а енергокомпанії можуть надавати послуги, що забезпечують стабільність енергосистеми та постачають електроенергію кінцевому споживачу [5].

Як відомо, ринок електричної енергії складається з чотирьох компонент:

- ринок двосторонніх договорів (РДД, bilateral market);
- ринок на добу наперед (РДН, day-ahead market);
- внутрішньо-добовий ринок (ВДР, intraday market);
- балансуєчий ринок (БР, balancing market).

Для реалізації торговельної стратегії та успішного ведення бізнесу, максимізації економічних результатів на зазначеному сегменті ринку важливо розуміти ринкову ситуацію та структуру попиту і пропозиції [6–8]. Торгівля на РДН відбувається за принципом маржинального ціноутворення — продавці подають заявки за мінімальною ціною, за якою вони готові продати, покупці — за максимальною ціною, за якою вони готові купити. За результатами аукціонів на РДН продавці продають за ціною не нижче своєї ставки, а покупці купляють за ціною не вищою за свою ставку.

Погодинний попит на РДН — це погодинна кількість електроенергії, яку клієнти заявляють і хочуть купувати на РДН за відповідними погодинними цінами. Ця сума безпосередньо впливає як на граничну ціну, яка буде створена, так і на кількість електроенергії, яка буде купуватися та продаватися. Відповідно до закону попиту і пропозиції, чим менший попит на товар, тим нижчою буде ціна; чим вищий попит, тим ціна буде вищою. Це безпосередньо впливає на обсяги, які будуть прийняті до продажу для продавців на РДН. Виникає необхідність прогнозувати попит на РДН. Але зараз в Україні немає механізмів, алгоритмів чи математичних моделей, які б дозволяли прогнозувати з низькою похибкою прогнозування.

Попит на РДН залежить від великої кількості факторів [9–11]:

- 1) обсяги укладених двосторонніх договорів;
- 2) сезонність;
- 3) знеструмлення внаслідок руйнування об'єктів критичної енергетичної інфраструктури;
- 4) день тижня;
- 5) інші фактори.

Для отримання результатів прогнозу, максимально наближених до реальних даних, співробітниками Інституту проблем моделювання в енергетиці було запропоновано [12]:

- 1) використовувати результати торгів за останній доступний день;
- 2) використовувати зміну попиту між днем, на який доступні фактичні результати, і днем, на який зроблено прогноз;
- 3) враховувати зміну попиту, наприклад, за попередні 4 тижні між однаковими днями тижня.

Розроблено спеціалізований алгоритм прогнозування, в основі якого — можливість розгляду сформульованої задачі в параметричній формі, де як індикатори використовуються прогнозні та реальні дані погодинної потреби на РДН. Водночас, для знаходження прогнозного погодинного попиту на РДН — значень невідомих показників задачі — використовується ітераційний метод їх пошуку за статистичними даними обсягів закупівлі електроенергії на РДН, використовуючи принцип багатоітераційного аналізу зміни попиту за попередні аналогічні дні [13–15]. Розрахунки для запропонованих алгоритмів проводилися в пакеті MS Excel. Це забезпечує універсальність і зручність використання зазначених розрахунків, є зрозумілим і свідчить про високу швидкість вирішення поставлених завдань і низькі витрати на реалізацію алгоритму. Наведено формульний опис найбільш точного алгоритму.

У даній статті розглянуті основні задачі розробки програмної системи прогнозування загроз в енергетиці. Запропоновані засоби прогнозування об'єму ринку на добу наперед із застосуванням методів машинного навчання.

## **2. Проєкт програмної системи ідентифікації та прогнозування загроз енергетичній інфраструктурі**

Існує декілька ринків електроенергії, і можна виділити два з них: внутрішньо-добовий та ринок наступного дня. Зазвичай контрагенти обмінюються електроенергією десятки разів на день. Важливо прогнозувати попит і пропозицію на поточний і

наступний день, оскільки контрагенти можуть перейняти свої технологічні процеси та досягти кращих економічних цілей. З точки зору машинного навчання це можна розглядати як конвеєр, що включає серію завдань «видобуток-перетворення-завантаження» (Extract-Transform-Load, ETL) [16], котрі передають результати в моделі глибокого машинного навчання, які формують прогнози та аналіз загроз.

Розроблювана програмна система прогнозування має враховувати економічні чинники і водночас екологічність. Відомо, що чиста енергія коштує дорожче. Тож, програмне забезпечення для моніторингу має допомогти вибрати правильний баланс і забезпечити видимість нових тенденцій у галузі, як-от зелений водень. Дані, доступні в системі, повинні допомогти перейти на відновлювані джерела енергії та, зрештою, досягти довгострокової стійкості в енергетичному секторі.

Технологічні параметри галузі добре структуровані. Зазначимо, що завдання ETL вимагають пакетної обробки вхідних даних для агрегування та попередньої обробки вхідних даних. Моделі глибокого машинного навчання потребують прискорення, зокрема, за допомогою графічних процесорів NVIDIA.

Довгострокове зберігання можна реалізувати за допомогою реляційної бази даних, такої як PostgreSQL [17]. Це широко розповсюджена система керування базами даних із відкритим вихідним кодом, що має численні варіанти розгортання, підтримується основними хмарними службами та постачальниками озер даних.

Програмний рівень системи доцільно представити кількома сервісами. Це допомагає уникнути таких крайнощів, як монолітність і мікросервіси. Служба повинна мати фасад REST API [18], щоб обмін інформацією між службами не залежав від мови та платформи. Крім того, протокол REST спрощує розробку веб-додатків і додатків для моніторингу.

У доменній області пропонується розробка наступних модулів (служб):

- 1) зберігання та пошуку даних;
- 2) аналізу даних та прогнозування;

3) моделювання та управління системою;

4) адміністрування користувачів і груп.

Система може бути реалізована мовами C# або Java. Ці мови забезпечують високу продуктивність і мають позитивний результат у сфері розробки корпоративних додатків. Моделі машинного навчання також можна розробляти мовою Python. Існують технології, що дозволяють перенести моделі, розроблені мовою Python, на веб-сервіси, реалізовані мовами C# або Java.

Інформаційні панелі моніторингу доцільно розробляти як веб-додатки. Інформаційна безпека може бути досягнута за допомогою протоколу HTTPS і веб-токенів JSON для автентифікації та авторизації. Деякі аспекти системи залежать від здатності приватних гравців брати участь у програмі. Загалом має сенс охопити наступні напрямки моніторингу:

- загрози, які можуть відображатися географічно;
- стан електростанцій і компонентів мережі;
- електрична енергія, вироблена електростанціями;
- електрична енергія, що використовується споживаючими станціями;
- обсяг експорту енергії з України;
- обсяг імпортованої в Україну енергії;
- частка виробленої екологічно чистої енергії;
- частка виробленої екологічно брудної енергії;
- загальний розмір ринку електроенергії в Україні;
- середня вартість електроенергії в мегаватах;
- розмір ринку обміну електроенергією між Україною та ЄС.

### 3. Задачі прогнозування стосовно наявних даних

На даний час проведено експерименти із застосування методів машинного навчання для прогнозування вироблення та споживання електроенергії із викорис-

танням відкритого програмного забезпечення scikit-learn [19]. До складу цієї бібліотеки входять різні алгоритми машинного навчання, у тому числі призначені для задач класифікації, регресійного та кластерного аналізу даних, метод опорних векторів, випадкового лісу, алгоритм посилення градієнта, метод  $k$ -середніх та DBSCAN.

Об'єм кожного з чотирьох ринків, згаданих у вступі, обліковується за кожну годину доби у мегаватах за годину. Приклад, наведений на рис. 1, агрегує усі дані по ринках електричної енергії в Україні. Для порівняння, у Європі об'єми ринку обліковуються кожні 15 хвилин.

|      | A          | B         | C         | D        | E        | F         |
|------|------------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|
| 1    | TradeDate  | TradeHour | Bilateral | DayAhead | Intraday | Balancing |
| 8775 | 2020-06-30 | 14        |           | 3509.7   | 654.7    | -3202.1   |
| 8776 | 2020-06-30 | 15        |           | 3525.4   | 651.7    | -2857     |
| 8777 | 2020-06-30 | 16        |           | 3472.4   | 668      | -2871.5   |
| 8778 | 2020-06-30 | 17        |           | 3448.7   | 657.7    | -2747.5   |
| 8779 | 2020-06-30 | 18        |           | 3418.1   | 631.4    | -2326.3   |
| 8780 | 2020-06-30 | 19        |           | 3420.3   | 625.4    | -1435     |
| 8781 | 2020-06-30 | 20        |           | 3358.9   | 634.8    | -1013     |
| 8782 | 2020-06-30 | 21        |           | 3162.4   | 637.8    | -747.2    |
| 8783 | 2020-06-30 | 22        |           | 3377.9   | 659.1    | -448.1    |
| 8784 | 2020-06-30 | 23        |           | 3430     | 714.1    | -124.2    |
| 8785 | 2020-06-30 | 24        |           | 3277.3   | 441.9    | 0         |
| 8786 | 2020-07-01 | 1         | 11746.78  | 2494     | 1018.2   | -2101     |
| 8787 | 2020-07-01 | 2         | 11654.98  | 2697.1   | 660.3    | -2249.5   |
| 8788 | 2020-07-01 | 3         | 11606.28  | 2606.8   | 624      | -2398.8   |
| 8789 | 2020-07-01 | 4         | 11637.28  | 2507.7   | 614.7    | -2681.5   |
| 8790 | 2020-07-01 | 5         | 11614.58  | 2487.2   | 607.7    | -2666.2   |
| 8791 | 2020-07-01 | 6         | 11645.48  | 2629.3   | 605      | -2832     |
| 8792 | 2020-07-01 | 7         | 11696.58  | 2937     | 610.6    | -2455.8   |
| 8793 | 2020-07-01 | 8         | 12160.58  | 3110.5   | 690.3    | -2275.5   |
| 8794 | 2020-07-01 | 9         | 12232.48  | 3399.6   | 761.4    | -2542.5   |
| 8795 | 2020-07-01 | 10        | 12357.98  | 3560.6   | 770.7    | -3038.6   |
| 8796 | 2020-07-01 | 11        | 12373.78  | 3554.5   | 782.2    | -3104.2   |
| 8797 | 2020-07-01 | 12        | 12376.88  | 3505.4   | 777.1    | -3606.8   |
| 8798 | 2020-07-01 | 13        | 12398.98  | 3504.7   | 809.2    | -3770     |

Рис. 1. Дані по ринках електричної енергії в Україні. Чорним виділені клітинки, що використовувалися в початковій версії алгоритму

Можна виділити наступні задачі для яких є доцільним застосування методів машинного навчання:

– відтворення відсутніх значень у базі даних;

погодинне прогнозування ринку на 24 години наперед з використанням попередніх даних за декілька годин та методу ковзаючого вікна для їх вибірки;

– прогнозування ринку з доповнюючим використанням даних за попередній рік.

**Відновлення колонки з даними двосторонніх договорів.** З історичних причин дані про двосторонні договори відсутні за період з липня 2019 по червень 2020 року. Першою задачею машинного навчання є відтворення цієї колонки даних з використанням одного з алгоритмів регресії.

Спочатку версія алгоритму використовувала клітинки, відзначені на рисунку чорним кольором. Вихідне значення має бути записано у клітинку, виділену сірим. Потім, вже спрогнозоване значення колонки Bilateral за 24-ту годину, подавалося як вхідне значення алгоритму для прогнозування на 23-ту годину, і так далі. Іншими словами, було застосовано ковзаюче вікно для інтерпретації вхідних даних, яке рухається по таблиці наверх — для заповнення даних у минулому.

Початковий набір вхідних параметрів, що їх було використано, є таким: Bilateral1, DayAhead, Intraday та Balancing. Тут Bilateral1 позначає значення колонки Bilateral на одну годину наперед.

Таблиця 1

Результати застосування алгоритмів регресії

| Назва алгоритму регресії  | Метрика R2 (у спадному порядку) | Похибка MAPE (%) |
|---------------------------|---------------------------------|------------------|
| k-nearest neighbors       | 0,957113                        | 1,830244         |
| Random forest             | 0,956206                        | 1,809735         |
| Extra trees               | 0,955950                        | 1,799991         |
| Gradient boosting         | 0,955913                        | 1,835777         |
| NU support vector machine | 0,955321                        | 1,838009         |
| 3-layer perceptron        | 0,953522                        | 1,861381         |
| Linear regression         | 0,952627                        | 1,855467         |

Алгоритми регресії з бібліотеки scikit-learn, використані для цієї задачі, представлені у табл. 1. Гіперпараметри алгоритмів були оптимізовані вручну. Засто-

сована метрика  $R^2$  є аналогом коефіцієнта кореляції. Найкращий результат показав метод  $k$ -найближчих сусідів. Водночас, непоганий результат дає й алгоритм лінійної регресії. Це демонструє, що ця задача прогнозування має переважно лінійну природу. Для даного набору вхідних параметрів слід відзначити низьку абсолютну похибку алгоритмів “extra trees” та “random forest”.

Для формування навчальної та тестової вибірок використовувалися дані з липня 2020-го по грудень 2021-го року. Для заповнення колонки Bilateral було застосовано метод  $k$ -найближчих сусідів. Оптимальні гіперпараметри: кількість сусідів — 14, метрика — манхетенська, алгоритм враховує відстань до кожного сусіда. У випадку чотирьох вхідних параметрів, зазначених вище, було експериментально доведено, що зменшення цього набору погіршує результати.

**Пошук оптимального набору вхідних параметрів.** Наступним кроком слід спробувати використати більшу кількість параметрів, зокрема, з колонки Bilateral. Оптимальна кількість вхідних параметрів для алгоритму машинного навчання завжди є обмеженою. Йдеться про те, що зі збільшенням кількості вхідних параметрів алгоритм починає співвідносити випадкові флуктуації у вхідних даних із вихідним значенням. Цей ефект зазвичай називають прокляттям розмірності (curse of dimensionality).

Емпіричним шляхом було отримано набір вхідних параметрів, що показані на рис. 2 чорним кольором. Значення Bilateral1 та Bilateral2 були використані на вході моделі машинного навчання більш ніж один раз, деталі є наявними у Додатках 1 і 2. Змінилося оптимальне значення гіперпараметра щодо оптимальної кількості сусідів, тепер це значення складає 4. Результати прогнозування даних для різних алгоритмів наведені у табл. 2.

На рис. 3 показані відхилення прогнозованих значень від реальних для тестової вибірки. Як видно з графіка, ймовірний розподіл похибки прогнозування наближається до нормального.

На рис. 4 зображені проміжні результати прогнозування зі збільшенням кілько-

сті клітинок у колонці Bilateral. Це дослідження доводить, що для прогнозування ринку двосторонніх договорів оптимально використовувати десь 10–11 значень із наявної історії даних.

|      | A          | B         | C         | D        | E        | F         |
|------|------------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|
| 1    | TradeDate  | TradeHour | Bilateral | DayAhead | Intraday | Balancing |
| 8775 | 2020-06-30 | 14        |           | 3509.7   | 654.7    | -3202.1   |
| 8776 | 2020-06-30 | 15        |           | 3525.4   | 651.7    | -2857     |
| 8777 | 2020-06-30 | 16        |           | 3472.4   | 668      | -2871.5   |
| 8778 | 2020-06-30 | 17        |           | 3448.7   | 657.7    | -2747.5   |
| 8779 | 2020-06-30 | 18        |           | 3418.1   | 631.4    | -2326.3   |
| 8780 | 2020-06-30 | 19        |           | 3420.3   | 625.4    | -1435     |
| 8781 | 2020-06-30 | 20        |           | 3358.9   | 634.8    | -1013     |
| 8782 | 2020-06-30 | 21        |           | 3162.4   | 637.8    | -747.2    |
| 8783 | 2020-06-30 | 22        |           | 3377.9   | 659.1    | -448.1    |
| 8784 | 2020-06-30 | 23        |           | 3430     | 714.1    | -124.2    |
| 8785 | 2020-06-30 | 24        |           | 3277.3   | 441.9    | 0         |
| 8786 | 2020-07-01 | 1         | 11746.78  | 2494     | 1018.2   | -2101     |
| 8787 | 2020-07-01 | 2         | 11654.98  | 2697.1   | 660.3    | -2249.5   |
| 8788 | 2020-07-01 | 3         | 11606.28  | 2606.8   | 624      | -2398.8   |
| 8789 | 2020-07-01 | 4         | 11637.28  | 2507.7   | 614.7    | -2681.5   |
| 8790 | 2020-07-01 | 5         | 11614.58  | 2487.2   | 607.7    | -2666.2   |
| 8791 | 2020-07-01 | 6         | 11645.48  | 2629.3   | 605      | -2832     |
| 8792 | 2020-07-01 | 7         | 11696.58  | 2937     | 610.6    | -2455.8   |
| 8793 | 2020-07-01 | 8         | 12160.58  | 3110.5   | 690.3    | -2275.5   |
| 8794 | 2020-07-01 | 9         | 12232.48  | 3399.6   | 761.4    | -2542.5   |
| 8795 | 2020-07-01 | 10        | 12357.98  | 3560.6   | 770.7    | -3038.6   |
| 8796 | 2020-07-01 | 11        | 12373.78  | 3554.5   | 782.2    | -3104.2   |
| 8797 | 2020-07-01 | 12        | 12376.88  | 3505.4   | 777.1    | -3606.8   |
| 8798 | 2020-07-01 | 13        | 12398.98  | 3504.7   | 809.2    | -3770     |

Рис. 2. Дані по ринкам електричної енергії в Україні. Чорним виділені клітинки з параметрами, отриманими емпіричним шляхом

Таблиця 2

Результати застосування алгоритмів регресії

| Назва алгоритму регресії  | Метрика R2 (у спадному порядку) | Похибка MAPE (%) |
|---------------------------|---------------------------------|------------------|
| k-nearest neighbors       | 0,986813                        | 0,851226         |
| NU support vector machine | 0,982378                        | 1,058797         |
| Gradient boosting         | 0,982066                        | 1,111225         |
| Extra trees               | 0,981980                        | 1,076558         |
| Random forest             | 0,981101                        | 1,113339         |
| 3-layer perceptron        | 0,977275                        | 1,335506         |
| Linear regression         | 0,969278                        | 1,509372         |

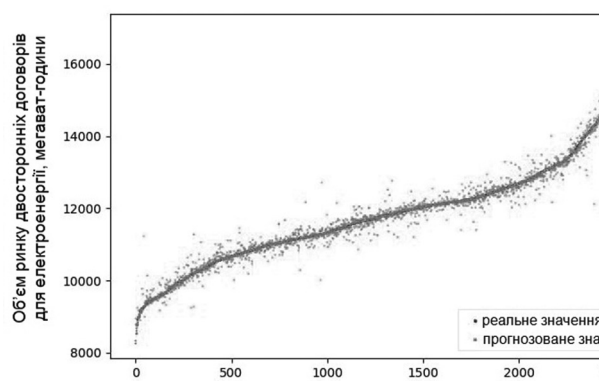


Рис. 3. Відновлення колонки Bilateral із застосуванням методу k-найближчих сусідів

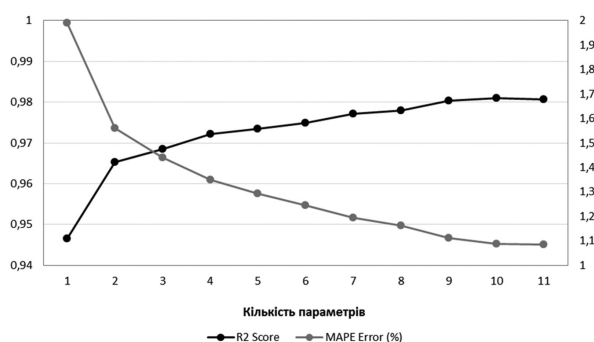


Рис. 4. Залежність метрики R2 від кількості параметрів з колонки Bilateral

**Прогнозування об'єму ринку на добу наперед.** Є декілька питань, які слід прояснити у рамках дослідження. По-перше, яку оптимальну глибину історичних даних (у годинах) слід використовувати для прогнозування. Ця глибина може бути різною для різних ринків електроенергії. Інша дилема стосується ітеративного підходу. Можна прогнозувати дані 24 рази по одній годині наперед, але й можна прогнозувати відразу на всі 24 години, маючи фіксований стан вікна з вхідними даними.

**Врахування почасових даних за попередній рік.** Використання даних за попередній рік у прогнозуванні може бути корисним із різних точок зору. Наприклад, потужність сонячно-, вітро- та гідро-генеруючих станцій суттєво залежить від сезону. Можливості сонячних станцій залежать навіть від часу доби. Спалювання вугілля з екологічних міркувань можливе лише у разі, коли інші джерела енергії вже працюють на повну потужність. Дані за попе-

редній рік уже враховують перетікання обсягів електроенергії з одного ринку в інший. Проте, корисність торішніх даних має бути з'ясована експериментально.

## Висновки

Прогнозування попиту на ринках електроенергії є однією зі складових, яку необхідно втілити для успішного ведення бізнесу та оптимізації бізнес-процесів. Поставлено задачу з розробки програмної системи прогнозування загроз в енергетиці України із використанням методів машинного навчання. Здійснені експерименти із застосування методів регресії для відновлення колонки з даними двосторонніх договорів для задачі прогнозування вироблення та споживання електроенергії. Результати із застосування алгоритмів машинного навчання на даних мирного часу показують, що можна з точністю порядку 1 % прогнозувати обсяги ринку та тарифні плани на годину наперед. Така точність має дозволити вийти за межі одноденного планування у майбутньому.

## Література

1. Ільїна О.П., Сініцин І.П., Слабоспицька О.О. Принципи та моделі експертно-аналітичної методології підтримки формування адаптивних організаційних рішень за умов глибокої невизначеності. Проблеми програмування. 2022. № 3–4. Р. 364–375.
2. Петрівський В.Я., Петрівський Я.Б., Шевченко В.Л., Сініцин І.П. Оптимізація траєкторії руху датчиків з урахуванням важливості ділянок територій моніторингу та ймовірності виявлення об'єктів. Проблеми керування та інформатики. 2022. № 2. С. 6–21.
3. Rodin Y.S., Sinitsyn I.P. Security basic model for applied tasks of the distributed information system. *Problems in programming*. 2021. N 2. Р. 16–23.
4. Сініцин І.П., Ігнатенко П.П., Слабоспицька О.О. Архітектурні рішення з автоматизованої підтримки експертно-аналітичного моніторингу ефективності системи управління озброєнням Збройних Сил України. *Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах : зб. пр.*

- 20-ї наук.-техн. конф. Чернігів : Вид. Брагінець, 2020. С. 95–96.
5. Закон України. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України у зв'язку з відокремленням діяльності з транспортування природного газу. [Електронний ресурс]. Доступ до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text> (дата звернення: 29.08.2023).
6. Careri F., Genesi C., Marannino P., Montagna M., Rossi S., Siviero I. Bidding strategies in day-ahead energy markets: system marginal price vs. pay as bid. *7th International Conference on the European Energy Market*. 2010. Р. 1–7. [Електронний ресурс]. Доступ до ресурсу: <https://doi.org/10.1109/EEM.2010.5558675> (дата звернення: 29.08.2023).
7. Wang F., Ge X., Li K., Mi Z. Day-ahead market optimal bidding strategy and quantitative compensation mechanism design for load aggregator engaging demand response. *2019 IEEE/IAS 55th Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference (I&CPS)*. 2019. Р. 1–8. [Електронний ресурс]. Доступ до ресурсу: <https://doi.org/10.1109/ICPS.2019.8733349> (дата звернення: 29.08.2023).
8. Євдокімов В.А., Полухін А.В. Оптимізація доходу учасників ринку «на добу наперед» через моделювання процесів визначення ціни на цьому ринку. *Електронне моделювання*. 2022. Том 44, № 4. С. 121–129. [Електронний ресурс]. Доступ до ресурсу: <https://doi.org/10.15407/emodel.44.04.121> (дата звернення: 29.08.2023).
9. Singh A.K., Ibraheem S.K., Muazzam M. An overview of electricity demand forecasting techniques. *Network and Complex Systems*. 2013. Vol. 3. Р. 38–48. [Електронний ресурс]. Доступ до ресурсу: <https://www.iiste.org/Journals/index.php/NCS/article/view/6072/6026> (дата звернення: 29.08.2023).
10. Solyali D. A comparative analysis of machine learning approaches for short-/long-term electricity load forecasting in Cyprus. *Sustainability*. 2020. Vol. 12, N 9. [Електронний ресурс]. Доступ до ресурсу: <https://doi.org/10.3390/su12093612> (дата звернення: 29.08.2023).
11. Krut'syak M.O. Forecasting demand on the domestic electricity market on the basis of the results of social and economic indicators dynamics analysis. *Ekonomichnyy analiz*. 2018. Vol. 28. Р. 37–46. [Електронний ресурс]. Доступ до ресурсу: <http://dx.doi.org/10.35774/econa2018.03.037> (дата звернення: 29.08.2023).
12. Polukhin A., Evdokimov V. Conceptual principles of forecasting demand on the day-ahead market using changes in hourly bidded demand between previous similar days (у друці)
13. Shah I., Lisi F. Day-ahead electricity demand forecasting with nonparametric functional models. *12th International Conference on the European Energy Market (EEM)*. 2015. Р. 1–5. [Електронний ресурс]. Доступ до ресурсу: <https://doi.org/10.1109/EEM.2015.7216741> (дата звернення: 29.08.2023).
14. Vilar J.M., Cao R., Aneiros G. Forecasting next-day electricity demand and price using nonparametric functional methods. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2012. Vol. 39, N 1. Р. 48–55. [Електронний ресурс]. Доступ до ресурсу: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.01.004> (дата звернення: 29.08.2023).
15. Ferraty W.F., Vieu P. Nonparametric functional data analysis: theory and practice. *Computational Statistics*. 2008. Vol. 23. Р. 341–342. [Електронний ресурс]. Доступ до ресурсу: <https://doi.org/10.1007/s00180-008-0111-2> (дата звернення: 29.08.2023).
16. What Is ETL (Extract Transform Load)? [Електронний ресурс]. Доступ до ресурсу: <https://aws.amazon.com/what-is/etl> (дата звернення: 29.08.2023).
17. PostgreSQL: The world's most advanced open source database [Електронний ресурс]. Доступ до ресурсу: <https://www.postgresql.org> (дата звернення: 29.08.2023).
18. Pautasso C., Wilde E., Alarcon R. REST: advanced research topics and practical applications. New York: Springer, 2014. 219 p.
19. Scikit-learn. Machine learning in Python. [Електронний ресурс]. Доступ до ресурсу: <https://scikit-learn.org/stable> (дата звернення: 29.08.2023).

## References

1. Illina, O.P., Sinitsyn, I.P. & Slabospitska, O.O. (2022) Principles and models of expert-analytical methodology for adaptive organizational decisions forming under deep

- uncertainty. *Problems in programming*. (3–4). p. 364-375. (in Ukrainian)
2. Petrivskiy, V.Ya., Petrivskiy, Ya.B., Shevchenko, V.L. & Sinitsyn, I.P. (2022) Optimization of the trajectory of sensors motion taking into account the importance of the areas of the monitoring area segments and the probability of detection of objects. *Problems of control and informatics*. 67 (2). p. 6-21. (in Ukrainian)
3. Rodin, Y.S. & Sinitsyn, I.P. (2021) Security basic model for applied tasks of the distributed information system. *Problems in programming*. (2). p. 16-23.
4. Sinitsyn, I.P., Ignatenko, P.P. & Slabospitska, O.O. (2020) Architectural solutions for automated support of expert-analytical monitoring of the effectiveness of the weapons management system of the Armed Forces of Ukraine. *Proc. 20th Scientific and Technical Conference "Creation and modernization of weapons and military equipment in modern conditions"*. Chernihiv: Brahinet. p. 95-96. (in Ukrainian)
5. Law of Ukraine. On Electricity Market. Available from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19?lang=en#Text> [Accessed 29/08/2023].
6. Careri, F., Genesi, C., Marannino, P., Montagna, M., Rossi, S. & Siviero, I. (2010) Bidding strategies in day-ahead energy markets: system marginal price vs. pay as bid. *7th International Conference on the European Energy Market*. p. 1-7. [Online]. Available from: <https://doi.org/10.1109/EEM.2010.5558675> [Accessed 29/08/2023].
7. Wang, F., Ge, X., Li, K. & Mi, Z. (2019) Day-ahead market optimal bidding strategy and quantitative compensation mechanism design for load aggregator engaging demand response. *2019 IEEE/IAS 55th Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference (I&CPS)*. p. 1-8. [Online]. Available from: <https://doi.org/10.1109/ICPS.2019.8733349> [Accessed 29/08/2023].
8. Evdokimov, V.A. & Polukhin, A.V. (2022) Income optimization of market participants in the day ahead market by modeling of processes of price determination for day ahead market. *Electronic modeling*. 44 (4). p. 121-129. [Online]. Available from: <https://doi.org/10.15407/emodel.44.04.121> [Accessed 29/08/2023]. (in Ukrainian)
9. Singh, A.K., Ibraheem, S.K. & Muazzam, M. (2013) An overview of electricity demand forecasting techniques. *Network and Complex Systems*. 3. p. 38-48. [Online]. Available from: <https://www.iiste.org/Journals/index.php/NCS/article/view/6072/6026> [Accessed 29/08/2023].
10. Solyali, D. (2020) A comparative analysis of machine learning approaches for short-/long-term electricity load forecasting in Cyprus. *Sustainability*. 12 (9). [Online]. Available from: <https://doi.org/10.3390/su12093612> [Accessed 29/08/2023].
11. Krut'syak, M.O. (2018) Forecasting demand on the domestic electricity market on the basis of the results of social and economic indicators dynamics analysis. *Ekonomichnyy analiz*. 28. p. 37-46. [Online]. Available from: <http://dx.doi.org/10.35774/econa2018.03.037> [Accessed 29/08/2023].
12. Polukhin, A. & Evdokimov, V. Conceptual principles of forecasting demand on the day-ahead market using changes in hourly bidded demand between previous similar days (in print)
13. Shah, I. & Lisi, F. (2015) Day-ahead electricity demand forecasting with nonparametric functional models. *12th International Conference on the European Energy Market (EEM)*. p. 1-5. [Online]. Available from: <https://doi.org/10.1109/EEM.2015.7216741> [Accessed 29/08/2023].
14. Vilar, J.M., Cao, R. & Aneiros G. (2012) Forecasting next-day electricity demand and price using nonparametric functional methods. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 39 (1). p. 48-55. [Online]. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.01.004> [Accessed 29/08/2023].
15. Ferraty, W.F. & Vieu, P. (2008) Nonparametric functional data analysis: theory and practice. *Computational Statistics*. 23. p. 341-342. [Online]. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00180-008-0111-2> [Accessed 29/08/2023].
16. What Is ETL (Extract Transform Load)? [Online]. Available from: <https://aws.amazon.com/what-is/etl> [Accessed 29/08/2023].
17. PostgreSQL: The world's most advanced open source database [Online]. Available from: <https://www.postgresql.org> [Accessed 29/08/2023].

18. Pautasso, C., Wilde, E. & Alarcon, R. (2014) REST: advanced research topics and practical applications. New York: Springer.
19. Scikit-learn. Machine learning in Python. [Online]. Available from: <https://scikit-learn.org/stable> [Accessed 29/08/2023].

### Додаток 1. Фрагмент алгоритму машинного навчання

```
output_names = ['Bilateral']
feature_names = ['Bilateral11',
                 'Bilateral10', 'Bilateral9', 'Bilateral8',
                 'Bilateral7', 'Bilateral6',
                 'Bilateral5', 'Bilateral4', 'Bilateral3',
                 'Bilateral2', 'Bilateral1', 'Bilateral1',
                 'Bilateral1', 'Bilateral1', 'Bilateral1',
                 'Bilateral1', 'Bilateral1', 'Bilateral1',
                 'Bilateral1', 'DayAhead1', 'Intraday1',
                 'DayAhead', 'Intraday']

print(F"Reading the datasets for bilateral
      column forecasting")
bilateral_dataset =
    pandas.read_csv('datasets/bilateral-
                    available-dataset.csv')
bilateral_training =
    pandas.read_csv('datasets/bilateral-
                    available-training.csv')
bilateral_testing =
    pandas.read_csv('datasets/bilateral-
                    available-testing.csv')

dataset_inputs =
    bilateral_dataset[feature_names]
dataset_outputs =
    bilateral_dataset[output_names]

training_inputs =
    bilateral_training[feature_names]
training_outputs =
    bilateral_training[output_names]

testing_inputs =
    bilateral_testing[feature_names]
testing_outputs =
    bilateral_testing[output_names]

print("Training the evaluation nearest
      neighbors regression model")
evaluation_regressor =
    KNeighborsRegressor(n_neighbors = 4,
                       weights = 'distance',
                       algorithm = 'auto', p = 1,
                       metric = 'minkowski', n_jobs = 8)

evaluation_regressor.fit(training_inputs,
                        training_outputs)
predicted_training_outputs =
```

```
evaluation_regressor.predict(training_inputs)
predicted_testing_outputs =
evaluation_regressor.predict(testing_inputs)

print_evaluation_metrics(training_outputs,
                        testing_outputs, predicted_training_outputs,
                        predicted_testing_outputs)
```

### Додаток 2. Фрагмент алгоритму ковзаючого вікна

```
print("Populating the missing bilateral
      market data")

forecast_source_path = 'datasets/bilateral-
                        forecast-source.csv'
print(F"Reading the dataset from file
      {forecast_source_path}")
forecast_data_frame =
    pandas.read_csv(forecast_source_path)
forecast_data_frame_length =
    forecast_data_frame.shape[0]

for i in reversed(range(forecast_data_frame_
length)):

    if (i % 100 == 0): print(i)

    if (i == forecast_data_frame_length - 1):
        bilateral11 =
forecast_data_frame.iloc[i]["Bilateral11"]
        bilateral10 =
forecast_data_frame.iloc[i]["Bilateral10"]
        bilateral9 =
forecast_data_frame.iloc[i]["Bilateral9"]
        bilateral8 =
forecast_data_frame.iloc[i]["Bilateral8"]
        bilateral7 =
forecast_data_frame.iloc[i]["Bilateral7"]
        bilateral6 =
forecast_data_frame.iloc[i]["Bilateral6"]
        bilateral5 =
forecast_data_frame.iloc[i]["Bilateral5"]
        bilateral4 =
forecast_data_frame.iloc[i]["Bilateral4"]
        bilateral3 =
forecast_data_frame.iloc[i]["Bilateral3"]
        bilateral2 =
forecast_data_frame.iloc[i]["Bilateral2"]
        bilateral1 = forecast_data_frame.
iloc[i]["Bilateral1"]

    else:
        bilateral11 = bilateral10
        bilateral10 = bilateral9
        bilateral9 = bilateral8
        bilateral8 = bilateral7
        bilateral7 = bilateral6
        bilateral6 = bilateral5
        bilateral5 = bilateral4
        bilateral4 = bilateral3
        bilateral3 = bilateral2
```

```
bilateral2 = bilateral1
bilateral1 = bilateral
```

```
forecast_data_frame.loc[i,
    "Bilateral11"] = bilateral11
forecast_data_frame.loc[i,
    "Bilateral10"] = bilateral10
forecast_data_frame.loc[i,
    "Bilateral9"] = bilateral9
forecast_data_frame.loc[i,
    "Bilateral8"] = bilateral8
forecast_data_frame.loc[i,
    "Bilateral7"] = bilateral7
forecast_data_frame.loc[i,
    "Bilateral6"] = bilateral6
forecast_data_frame.loc[i,
    "Bilateral5"] = bilateral5
forecast_data_frame.loc[i,
    "Bilateral4"] = bilateral4
forecast_data_frame.loc[i,
    "Bilateral3"] = bilateral3
forecast_data_frame.loc[i,
    "Bilateral2"] = bilateral2
forecast_data_frame.loc[i,
    "Bilateral1"] = bilateral1
```

```
day_ahead1 =
    forecast_data_frame.iloc[i]["DayAhead1"]
intraday1 =
    forecast_data_frame.iloc[i]["Intraday1"]
day_ahead =
    forecast_data_frame.iloc[i]["DayAhead"]
intraday =
    forecast_data_frame.iloc[i]["Intraday"]
```

```
input_list = [bilateral11, bilateral10,
    bilateral9, bilateral8, bilateral7,
    bilateral6, bilateral5, bilateral4,
    bilateral3, bilateral2, bilateral2,
    bilateral1, bilateral1, bilateral1,
    bilateral1, bilateral1, bilateral1,
    bilateral1, bilateral1, day_ahead1,
    intraday1, day_ahead, intraday]
```

```
numpy_input =
    numpy.array(input_list).reshape(1, -1)
numpy_output =
    production_regressor.predict(numpy_input)
bilateral = round(numpy_output[0][0], 2)
```

```
forecast_data_frame.loc[i, "Bilateral"] =
    bilateral
```

```
forecast_target_path = 'datasets/bilateral-
    forecast-target.csv'
print(F"Writing the dataset to file
    {forecast_target_path}")
forecast_data_frame.to_csv(
    forecast_target_path, index = False)
```

Одержано: 11.09.2023

## Про авторів:

Сініцин Ігор Петрович,  
доктор технічних наук, директор.  
Кількість наукових публікацій  
в українських виданнях – 124.  
Кількість наукових публікацій  
в зарубіжних виданнях – 11.  
Індекс Гірша – 6.  
<https://orcid.org/0000-0002-4120-0784>,

Шевченко Віктор Леонідович,  
доктор технічних наук,  
заступник директора з наукової роботи.  
Кількість наукових публікацій  
в українських виданнях – понад 300.  
Кількість наукових публікацій  
в зарубіжних виданнях – 17.  
Індекс Гірша – 4.  
<https://orcid.org/0000-0002-9457-7454>,

Дорошенко Анатолій Юхимович,  
доктор фізико-математичних наук,  
професор, завідувач відділу теорії  
комп'ютерних обчислень, професор  
кафедри інформаційних систем та  
технологій НТУ України  
«КПІ імені Ігоря Сікорського».  
Кількість наукових публікацій  
в українських виданнях – понад 200.  
Кількість наукових публікацій  
в зарубіжних виданнях – понад 80.  
Індекс Гірша – 6.  
<http://orcid.org/0000-0002-8435-1451>,

Яценко Олена Анатоліївна,  
кандидат фізико-математичних наук,  
старший науковий співробітник.  
Кількість публікацій в українських  
виданнях – 57.  
Кількість зарубіжних публікацій – 21.  
<http://orcid.org/0000-0002-4700-6704>.

## Місце роботи авторів:

Інститут програмних систем НАН України,  
03187, м. Київ,  
проспект Академіка Глушкова, 40.  
Тел.: (044) 526 3559.  
E-mail: [ips2014@ukr.net](mailto:ips2014@ukr.net)  
[a-y-doroshenko@ukr.net](mailto:a-y-doroshenko@ukr.net),  
[gii2014@ukr.net](mailto:gii2014@ukr.net)  
[oayat@ukr.net](mailto:oayat@ukr.net)

# ПРОБЛЕМИ ПРОГРАМУВАННЯ

## 2023 – №3

УДК 681.3.06

UDC 681.3.06

**Проблеми автоматизації інформаційних технологій адміністративно-управлінської діяльності наукових установ НАН України та підходи до їх вирішення / І.П. Сініцин, П.П. Ігнатенко, Р.М. Федоренко, О.Б. Житкевич**

**Problems of information technologies automation for the NAS of Ukraine scientific institutions' administrative-managerial activity and approaches to solve them / I.P. Sinitsyn, P.P. Ignatenko, R.M. Fedorenko, O.B. Gitkevich**

Проаналізовано особливості інформатизації адміністративно-управлінської діяльності (АУД) наукових установ Національної академії наук (НАН) України. Запропоновано сім рамоків інформаційних технологій (ІТ) АУД науково-організаційних, планово-виробничих, кадрових і бухгалтерських служб установ. Досліджено індустріально апробовані засоби автоматизованої підтримки ІТ АУД. Обґрунтовано вибір для першої черги інформатизації вітчизняної програмної платформи UnityBase з додатком A5 SYSTEMS. Запропоновано підхід до організації інформатизації наукових установ НАН України на платформі UnityBase із застосуванням новітньої методології управління змінами – Позитивно зорієнтованого дослідження – для запобігання організаційного спротиву інформатизації та вироблення її ефективної стратегії.

Ключові слова: інформатизація, адміністративно-управлінська діяльність, наукова установа, науковов-організаційна діяльність, планово-економічна діяльність, позитивно зорієнтоване дослідження, позитивно-стверджувальна тема, позитивне ядро змін.

Specific problems of the National Academy of Sciences (NAS) of Ukraine Scientific Institutions' administrative-managerial activity (AMA) informatization is analyzed. Seven reference AMA Information Technologies (IT) are proposed for scientific-organizational, progress, staffing and accounting Institutions' services. Industrially tested tools are investigated for AMA IT automated support. National software platform UnityBase with A5 SYSTEMS Application is substantiated as a tool for first stage of informatization. Approach for managing NAS of Ukraine Scientific Institutions' informatization based on UnityBase platform is proposed. It is based on innovative management methodology, namely Appreciative Inquiry, – to cope with organizational resistance concerning informatization and elaborate its effective strategy.

Keywords: informatization, administrative-managerial activity, scientific institution, scientific-organizational activity, planning and economic activity, appreciative inquiry, affirmative topic, affirmative core.

**Methods and software for significant indicators determination of the natural language texts author profile / V. Shynkarenko, I. Demidovych**

Methods for the formation and optimization of author profiles are presented. The author profile is an image – a vector in a multidimensional space, which components are author's texts measurements by a number of methods based on 4-grams, stemming, recurrence analysis and formal stochastic grammar. The author's profile is a model of his language, including vocabulary, sentence syntax features. A comparative analysis of the each of the methods effectiveness is carried out. By means of the genetic algorithm, a reduced profile of the author is formed. Insignificant indicators are excluded, which allows to reduce their number by 20%. The reduced author's profile contains attributes that are significant for this author and is an effective attribution of a particular author.

Keywords: natural language texts, authorship determination, genetic algorithm, recurrent analysis, statistical analysis, text classification, pattern recognition, formal grammars.

**Методи та засоби визначення значимих показників профілю автора природномовних текстів / В. Шинкаренко, І. Демидович**

Наведено методи формування та оптимізації профілів авторів. Профіль автора це образ – вектор у багатовимірному просторі, компоненти якого є вимірами текстів автора рядом методів на основі 4-грам, стемуння, рекурентного аналізу та формальної стохастичної граматики. Профіль автора є моделлю його мови, включаючи словниковий запас, особливості синтаксису речень. Здійснюється порівняльний аналіз ефективності кожного із методів. Засобами генетичного алгоритму формується усічений профіль автора. Виключаються незначні показники, що дозволяє скоротити їхню кількість на 20%. Усічений профіль автора містить значущу для даного автора атрибутику і є ефективною атрибуцією конкретного автора. Дослідження виконані на україномовних текстах (мовою з низькою ресурсоемкістю). Наведені результати експериментів, виконаних на основі розроблених програмних засобів.

Ключові слова – природомовні тексти, визначення авторства, генетичний алгоритм, рекурентний аналіз, статистичний аналіз, класифікація текстів, розпізнавання образів, формальні граматики.

## Архітектура модульно-орієнтованого фізичного рушія / А.А.Бернатович, І.В.Стеценко

Простір цифрового моделювання, що постійно розвивається, потребує інноваційних інфраструктур для досягнення як реалістичності, так і ефективності. Дослідження висвітлює проблеми сучасної архітектури програмного забезпечення для фізичної симуляції. Нова архітектура розроблена для зменшення проблеми масштабованості та гнучкості. Суть запропонованої архітектури полягає в конвергенції трьох ключових концепцій: модульного фізичного рушія, фізичного конвеєра та шаблону Сутність Компонента Система (СКС). За допомогою сутностей, компонентів і систем СКС пропонує структуровану та ефективну структуру для охоплення суті симульованого середовища. Цей керований даними підхід підвищує реалістичність, адаптивність і уможливує моделювання складніших світів, роблячи СКС незамінним інструментом для побудови складних і захоплюючих симуляцій фізики. Компоненти відіграють життєво важливу роль у функціонуванні модулів моделювання фізики, забезпечуючи важливе представлення даних, сприяючи модульності, уможливаючи відокремлення логіки, полегшуючи налаштування та розширення, підтримуючи ефективну обробку даних і сприяючи компонентній архітектурі. Завдяки ефективному використанню компонентів модулі фізичної симуляції можуть досягти високої продуктивності, гнучкості та зручності обслуговування, що робить їх основними інструментами для дослідження та розуміння складних фізичних явищ у різноманітних дослідженнях і сферах застосування. Фізичний конвеєр організовує симуляцію через структуровані етапи, аналогічні графічним конвеєрам. Він керує динамічними силами, зіткненнями та взаємодіями, оптимізуючи використання ресурсів та інтегруючи спеціальні системи для точності. На додаток, шаблон СКС роз'єднує дані та поведінку, полегшуючи створення визначеного користувачем фізичного конвеєра, що складається зі слабозв'язаних модулів. У поєднанні з модульним фізичним рушієм і фізичним конвеєром СКС формує комплексний підхід до складної фізичної симуляції.

Ключові слова: комп'ютерна симуляція, архітектура програмного забезпечення, фізичний рушій, фізичний конвеєр.

## Module-based scientific physics engine architecture / A.A. Bernatovych, I. V. Stetsenko

The ever-evolving landscape of digital simulations demands innovative frameworks to achieve both realism and efficiency. The research highlights the issues of modern software architecture for physics simulation. The new architecture was developed to mitigate scalability and flexibility issues. The essence of the proposed architecture resides in the convergence of three pivotal concepts: the modular physics engine, the physics pipeline, and the Entity Component System (ECS) pattern. Through entities, components, and systems, ECS offers a structured and efficient framework for capturing the essence of the simulated environment. This data-driven approach enhances the realism, adaptability, and complexity of the simulated world, making ECS an indispensable tool for constructing sophisticated and immersive physics simulations. Components play a vital role in the functioning of physics simulation modules by providing essential data representation, promoting modularity, enabling decoupling of logic, facilitating customization and extensibility, supporting efficient data processing, and fostering a component-based architecture. By leveraging components effectively, physics simulation modules can achieve high performance, flexibility, and maintainability, making them essential tools for exploring and understanding complex physical phenomena in diverse research and application domains. The physics pipeline orchestrates simulations through structured stages, analogous to graphics pipelines. It guides dynamic forces, collisions, and interactions, optimizing resource use and integrating custom systems for accuracy. Complementing these, the ECS pattern decouples data and behavior, facilitating the construction of user defined physical pipeline comprised of loosely coupled modules. Combined with the modular physics engine and physics pipeline, ECS forms a comprehensive approach for complex physics simulations.

Keywords: Computer Simulation, Software Architecture, Physics Engine, Physics Pipeline.

**Створення цифрового двійника в метеопрогнозуванні для розумного міста на мобільній платформі. / В.О. Гайдукевич, А.Ю. Дорошенко.**

У статті розглядається застосування концепції цифрового двійника у сфері метеопрогнозування для створення розумного міста. Цифровий двійник – це віртуальна репліка реального об'єкта чи процесу, що відображає його стан у реальному часі. Аналізуються технології та методи створення цифрового двійника метеорологічних умов для конкретного міста. Зазначається важливість та перспективи створення цифрового двійника в метеопрогнозуванні для розумного міста на мобільній платформі. В роботі розглядається проєкт додатка, що дозволяє забезпечити користувачам легкий доступ до актуальної інформації про якість повітря та прогноз погоди для різних районів міста. Це стає особливо важливим у зв'язку зі зростанням екологічних проблем та змінами клімату. У додатку висвітлюється використання мов програмування Swift та фреймворків MapKit та Alamofire для реалізації функціоналу додатка, а також переваги мови SwiftUI для швидкого розроблення зовнішнього інтерфейсу.

Таким чином, цифровий двійник, який відображає реальний процес метеопрогнозування, виконує ключову роль у додатку, надаючи користувачам доступ до актуальних погодних даних та допомагаючи ухвалювати об'єктивні рішення щодо впливу клімату на здоров'я та навколишнє середовище.

**Ключові слова:** цифровий двійник, метеопрогнозування, смарт-сіті, мобільна платформа, збір даних, аналіз даних, прогнозування подій.

**Creating a digital twin in meteorological forecasting for a smart city on a mobile platform / V.O. Haidukevych, A.Y. Doroshenko.**

The article discusses the application of the concept of a digital twin in the field of weather forecasting to create a smart city. A digital twin is a virtual replica of a real object or process that reflects its state in real time. The technologies and methods of creating a digital twin of meteorological conditions for a particular city are analyzed. The importance and prospects of creating a digital twin in meteorological forecasting for a smart city on a mobile platform are also presented. The paper discusses the design of an application that allows users to provide easy access to up-to-date information on air quality and weather forecasts for different areas of the city, which is becoming especially important due to the growing environmental problems and climate change. It highlights the use of Swift programming languages and the MapKit and Alamofire frameworks to implement the application's functionality, as well as the advantages of the SwiftUI language for rapid development of the front-end.

Thus, the digital twin, which reflects the real weather forecasting process, plays a key role in the application, providing users with access to up-to-date weather data and helping them make objective decisions about the impact of climate on health and the environment.

**Keywords:** digital twin, meteorological forecasting, smart city, mobile platform, data collection, data analysis, event forecasting.

**Пошук новизни у методі нейроеволюції для позиціонування роботизованої кінцівки / А.Є. Вітюк, А.Ю. Дорошенко.**

У статті розглядається використання алгоритму нейроеволюції для пошуку політик у формі нейронних мереж при створенні контролера для управління роботизованою рукою, зокрема, для підзадачі позиціонування робочої кінцівки. Нейроеволюція являє собою сімейство методів машинного навчання, які використовують еволюційні алгоритми шляхом імітації процесу природного відбору. Встановлено, що такий підхід є особливо ефективним для задачі позиціонування, де кінцеве положення може бути досягнуто багатьма оптимальними способами, а отже потребує навчання з підкріпленням. Відзначається, що кінцевим результатом нейроеволюції є оптимальна топологія мережі, яка робить модель більш ресурсоефективною та простішою для аналізу. В роботі розглядається процес навчання політики в формі нейромережі для управління двовимірною роборукою з двома ланками. Згідно результатів експериментів відзначається підвищення ефективності найкращого рішення, знайденого із застосуванням пошуку новизни для алгоритму NEAT порівняно з алгоритмом NEAT без пошуку новизни. Встановлено, що запропонований підхід дозволяє отримати ефективну політику в формі нейромережі, яка має мінімальну конфігурацію, що дозволить підвищити швидкодію контролера, і яка є критичною для роботи реальної системи.

Таким чином, використання пошуку новизни як методу оптимізації нейроеволюційного процесу для вирішення задачі позиціонування дозволяє підвищити ефективність навчального процесу та отримати оптимальну топологію мережі.

**Ключові слова:** нейронна мережа, нейроеволюція, роботизована рука, навчання з підкріпленням, NEAT, пошук новизни, функція пристосованості.

**Novelty search in neuroevolution for end effector positioning / A.Y. Vitiuk, A.Y. Doroshenko.**

The article considers the use of the neuroevolution algorithm for neural network policies search when creating a controller for a robotic arm, in particular for the subtask of positioning the end effector. Neuro-evolution is a family of machine learning methods that use evolutionary algorithms by imitating the process of natural selection. This approach has been found to be particularly effective for the positioning task, where the final position can be achieved in many optimal ways and therefore requires reinforcement learning. It is noted that the final result of neuroevolution is an optimal network topology, which makes the model more resource-efficient and easier to analyze. The paper considers the process of neural network policy search for controlling a two-dimensional robot with two links. According to the results of the experiments, an increase in the efficiency of the best solution found using novelty search for the NEAT algorithm is noted compared to the NEAT algorithm without novelty search. It was established that the proposed approach allows to obtain an effective neural network policy, which has a minimal configuration, which will allow to increase the speed of the controller, that is critical for the operation of a real system.

Thus, the use of novelty search as a method of optimizing the neuroevolutionary process to solve the positioning problem allows to increase the efficiency of the learning process and obtain the optimal network topology.

**Keywords:** neural network, neuroevolution, robotic arm, reinforcement learning, NEAT, novelty search, fitness function.

**Проблема автоматизації планування сил, засобів та ресурсів для управління протидією надзвичайним ситуаціям / А.Л. Яловець.**

У статті розглянуто питання автоматизації планування сил, засобів та ресурсів, використовуваних у процесі протидії надзвичайній ситуації. Наведено формальний опис задачі планування сил, засобів та ресурсів та обґрунтовано, що ця задача включає дві взаємопов'язані задачі, які передбачають здійснення оцінки потенційних можливостей аналізованого регіону щодо доступних сил, засобів та ресурсів для протидії надзвичайній ситуації та генерування варіантів угруповань сил, засобів та ресурсів, функціонально достатніх для протидії аналізованій надзвичайній ситуації з урахуванням множини обмежень. Детально розглянуто питання автоматизації рішення задач оцінки потенційних можливостей регіону та генерації варіантів угруповань сил, засобів та ресурсів. Охарактеризовано основні функції систем АНАЛІЗ та СИНТЕЗ, засобами яких зазначені задачі вирішуються. Обґрунтовано, що завдяки вирішенню цих задач забезпечується адаптація електронного плану дій до реальних можливостей регіону.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, електронний план дій, планування, сили, засоби, ресурси, регіон.

**The problem of automating the planning of forces, means and resources for management of counteraction of emergency situations / A.L.Yalovets.**

The article deals with the issue of automating the planning of forces, means and resources used in the process of countering an emergency situation. A formal description of the task of planning forces, means and resources is provided, and it is justified that this task includes two interrelated tasks, which involve the assessment of the potential capabilities of the analyzed region in terms of the available forces, means and resources for countering an emergency situation and the generation of options for groupings of forces, means and resources functionally sufficient to counteract the analyzed emergency situation, taking into account the set of restrictions. The issue of automating the solution of the problems of assessing the potential opportunities of the region and generating variants of groupings of forces, means and resources is considered in detail. The main functions of the ANALYSIS and SYNTHESIS systems, by means of which these tasks are solved, are characterized. It is substantiated that thanks to the solution of these problems, the adaptation of the electronic action plan to the real possibilities of the region is ensured.

Keywords: emergency situation, electronic action plan, planning, forces, means, resources, region.

**Розробка інтелектуальних інформаційно-аналітичних вебпорталів на основі семантичних вікітехнологій: проблеми та перспективи / Ю.В. Рогушина**

Проаналізовано основні функції сучасних вебпорталів та їх відмінності від інших типів сайтів. Розглядається створення інтелектуальних інформаційно-аналітичних вебпорталів як специфічної підмножини інтелектуальних інформаційно-аналітичних систем, їхні особливості та тенденції розвитку, що стосуються їхньої семантизації. Розглянуто моделі та технології обробки знань, які можуть для цього застосовуватися. Визначено, як саме стандарти та інструментальні засоби Semantic Web можуть застосовуватися для семантизації вебпорталів, розглянуто практичні приклади таких розробок. Розглянуто базові вимоги до технологій створення семантичних порталів і до інструментів для їх створення.

Проаналізовано типові проблеми, що стосуються обробки, структурування та аналізу даних великого обсягу, і виникають у процесі створення та розгортання таких порталів, розглянуто критерії оцінки можливостей розвитку існуючих вебпорталів. На прикладі порталу, що базується на семантичних вікітехнологіях, досліджено практичні проблеми впровадження та масштабування засобів та сервісів обробки знань на порталі, запропоновано шляхи їх запобігання та розв'язання.

Ключові слова: інформаційно-аналітичний вебпортал, онтологія, вікітехнологія, сервіси

**Development of intelligent information analytical webportals based on semantic Wiki technologies: problems and challenges / J.V. Rogushina**

We analyse the main functions of modern web portals that differ them from other types of sites. In this work we consider intelligent information-analytical web portals as a specific subset of intelligent information-analytical systems, and their features and development trends that have an influence on their semanticization are analysed. As a part of such analysis we considered knowledge models and technologies of their processing that can be used for this aim. We determine standards and tools of the Semantic Web that can be used for the semanticization of web portals and describe the ways of such use on practical examples. Some basic requirements for technologies and instrumental tools used for development of semantic portals are considered.

We analyse and classify typical problems related to the processing, structuring, and analysis of large volumes of data that arise in the process of creating and deploying such portals, and the criteria for evaluating the development opportunities of existing web portals are considered. On example of web portal based on semantic Wiki technologies we investigate practical problems of implementation and scaling of portal knowledge processing tools and services and propose some ways of their prevention and solution.

Keywords: information and analytical web portal, ontology, wiki technology, services

## **Simulating of human physiological supesystems: interactions of cardiovascular, thermoregulatory and respiratory systems /**

R.D. Grygoryan, A.G. Degoda, T.V. Lyudovyk, O.I. Yurchak

Special quantitative model of the human thermoregulatory system (MTS) functioning with cardiovascular and lung systems is created. These systems form a human physiological super-system (HPSS). MTS describes thermoregulatory responses to alterations of both external environmental physical characteristics and internal biological characteristics. Algorithms provide designing of scenarios including simulation of either short-time or long-time (hours or days) observations. Input data include different combinations of environmental variables (air or water temperature, air humidity, wind or water flow speed, light intensity, infrared radiation) for a naked or wear human, as well as for given dynamics of biological characteristics (rate of heat production including its components associated with metabolism and ATP molecules leasing during mental and physical activities). Human body is presented by a core, blood, and a skin compartments. Skin and lung evaporation are under hypothalamic control based on afferent impulse patterns from internal, and skin heat and cold receptors. Dynamic output data include blood, hypothalamic, and skin temperatures, hemodynamic parameters like heart rate, cardiac output, regional blood flows, vascular resistances, blood pressures, and regional blood volumes. Serotonin and melatonin concentrations modulating biological heat production rate are associated with a day/night light intensity. Currently, the PC-based simulator is autonomous software to be used both for educational purposes and for providing of special computer research. In a near future, this simulator has to be widened by models of kidneys, and a mechanism of liver-pancreas interaction.

**Key words:** physical health, cell energy balance, control mechanisms, quantitative models, simulator.

## **Симулятор фізіологічних надсистем людини: взаємодія систем кровообігу, терморегуляції та зовнішнього дихання /**

Р.Д. Григорян, А.Г. Дегода, Т.В. Людовик, О.І. Юрчак

Створено спеціальну кількісну модель взаємодії терморегуляторної системи (МТС) людини із серцево-судинною та легеневою системами. Ці системи утворюють фізіологічну суперсистему людини (ФССС). МТС описує реакції терморегуляції на зміни фізичних характеристик зовнішнього середовища та внутрішніх біологічних характеристик. Алгоритми забезпечують сценарії моделювання короточасних або тривалих (години чи дні) спостережень. Вхідні дані включають різні комбінації змінних навколишнього середовища (температура повітря або води, вологість повітря, швидкість вітру, інтенсивність світла) для голої або одягненої людини, а також для заданої динаміки біологічних характеристик (швидкість теплопродукції, включаючи його компоненти, пов'язані з метаболізмом і виділенням молекул АТФ під час розумової та фізичної діяльності). Організм людини представлений відділами серцевини, крові та шкіри. Випаровування шкіри та легенів контролюється гіпоталамусом на основі аферентних імпульсів від внутрішніх і шкірних теплових і холодових рецепторів. Динамічні вихідні дані включають температуру крові, гіпоталамуса та шкіри, гемодинамічні параметри, такі як частота серцевих скорочень, серцевий викид, регіональні кровотоки, судинний опір, артеріальний тиск і регіональні об'єми крові. Концентрація серотоніну та мелатоніну, яка регулює швидкість виробництва біологічного тепла, пов'язана з денною/нічною інтенсивністю світла. На сьогоднішній день симулятор на базі ПК є автономним програмним забезпеченням (мова C++) для використання як у навчальних цілях, так і для проведення спеціальних комп'ютерних досліджень. Найближчим часом цей симулятор має бути розширений моделями нирок та механізму взаємодії печінки та підшлункової залози.

**Ключові слова:** фізичне здоров'я, енергетичний баланс клітини, механізми управління, кількісні моделі, симулятор.

**Уточнення чисельних метеорологічних прогнозів за допомогою глибокого навчання / А.Ю. Дорошенко, В.М. Шпиг, Р.В. Кушніренко**

Подано короткий огляд розвитку чисельного прогнозування погоди. Описано проблеми, які мають місце в моделюванні атмосферних процесів, їхню природу та можливі шляхи подолання. Зазначено альтернативні способи покращення якості метеорологічних прогнозів. Наведено коротку історію розвитку “глибокого навчання” та його застосування до метеорологічних задач. Описано формат, у якому зберігаються прогнози приземної температури повітря чисельної регіональної моделі COSMO. Запропоновано архітектуру нейронної мережі, яка дозволяє коригувати помилки прогнозу чисельної моделі. Проведено експерименти на даних восьми метеорологічних станцій Київської області та отримано вісім натренованих нейромережових моделей. Показано, що запропонована архітектура дає можливість досягти покращення прогнозу більше, ніж у 50% випадків. Також спостерігається зменшення значень середнього квадратичного відхилення, що у метеорологічній науці є загальноприйнятим критерієм якості прогнозу.

Ключові слова: “глибоке навчання”, чисельний прогноз, COSMO, температура повітря.

**Deep learning-based approach to improving numerical weather forecasts / A.Yu. Doroshenko, V.M. Shpyg, R.V. Kushnirenko**

This paper briefly describes the history of numerical weather prediction development. The difficulties, which occur in the modelling of atmospheric processes, their nature and possible ways of their mitigation, are described. It also indicates alternative methods of improving the quality of meteorological forecasts. A brief history of deep learning and possible ways of its application to meteorological problems are given. Then, the paper describes the format used to store the 2m temperature forecasts of the COSMO numerical regional model. The proposed neural network architecture enables correcting the forecast errors of the numerical model. We conducted the experiments on the data of eight meteorological stations of the Kyiv region, so we obtained eight trained neural network models. The results showed that the proposed architecture enables obtaining better-quality forecasts in more than 50% of cases. Root-mean-square errors of the resulting forecasts decreased, and it is a widespread skill-score of improved-quality forecasts in meteorological science.

Key words: deep learning, numerical weather prediction, COSMO, 2m temperature.

**Дослідження програмних засобів прогнозування вироблення та споживання електроенергії в Україні на основі методів машинного навчання / І.П. Сініцин, В.Л. Шевченко, А.Ю. Дорошенко, О.А. Яценко.**

Проблема безпеки в енергетичному секторі є надважливою для України. Метою контролю та моніторингу в цій сфері є оптимізація перетоку електроенергії між учасниками ринку, між європейськими партнерами та Україною. Важливо підтримувати баланс між виробниками та споживачами енергії. Як випадки надмірного, так і недостатнього забезпечення енергією становлять ризики для інфраструктури. На зміну моделі оптового ринку електроенергії з єдиним покупцем прийшла ринкова модель, що базується на двосторонніх ринках, ринках на добу наперед і внутрішньодобових ринках, а також ринках балансуючих і допоміжних послуг, де учасники можуть вільно торгувати електроенергією, а енергокомпанії можуть надавати послуги, що забезпечують стабільність енергосистеми та постачають електроенергію кінцевому споживачу. Прогнозування попиту на ринках електроенергії є однією зі складових, яку необхідно втілити для успішного ведення бізнесу та оптимізації бізнес-процесів торгових компаній. У статті на основі моделі, розробленої в Інституті проблем моделювання в енергетиці НАНУ, поставлено задачу з розробки програмної системи прогнозування загроз в енергетиці України із використанням методів машинного навчання. Здійснено експерименти із застосування методів регресії для відновлення колонки з даними двосторонніх договорів для задачі прогнозування вироблення та споживання електроенергії. Результати із застосування алгоритмів машинного навчання на даних мирного часу показали, що можна із достатньою точністю прогнозувати обсяги ринку та тарифні плани на годину наперед і вийти за межі одноденного планування.

**Ключові слова:** електроенергія, алгоритм, машинне навчання, прогнозування, регресія, ринок двосторонніх договорів, ринок на добу наперед, внутрішньодобовий ринок, балансуючий ринок.

**Research of software solutions for forecasting electricity generation and consumption in Ukraine that are based on machine learning methods / I. P. Sinitsyn, V.L. Shevchenko, A.Yu. Doroshenko, O.A. Yatsenko.**

The problem of security in energy sector is an important aspect for Ukraine. The purpose of monitoring in this area is to optimize the flow of electricity between market participants, between European partners and Ukraine. It is critically important to maintain a balance between producers and consumers of energy. Both over and undersupply of energy represent risks to infrastructure. The previously available wholesale electricity market model with single buyer has been replaced by a model based on bilateral, day-ahead and intraday markets, as well as balancing and ancillary services markets. Now the participants can freely trade electricity and energy companies can provide services that provide stability of the energy system and supply electricity to the final consumer. The demand forecasting in electricity markets is one of the components that must be implemented for successful business operations and optimization of business processes. Based on the model of the Institute of problems of modeling electricity engineering of NANU, the paper sets out the task of developing a software system for forecasting threats in the energy sector of Ukraine using machine learning methods. Experiments were conducted on the application of regression methods to restore a column with data from bilateral contracts for the task of forecasting electricity generation and consumption. The results of the application of machine learning algorithms on peacetime data demonstrated that it is possible to predict market volumes and tariff plans one hour in advance with a good accuracy which allows to go beyond one-day planning in the future.

**Keywords:** electricity, algorithm, machine learning, forecasting, regression, bilateral contracts market, day-ahead market, intraday market, balancing market.

## ДО УВАГИ АВТОРІВ!

У журналі «Проблеми програмування» публікуються наукові матеріали, які раніше не публікувалися в інших виданнях.

Мова статті: українська, англійська.\* Обсяг статті - від 6 до 16 сторінок формату А4.

Документ зберігається у форматі doc або docx. Ім'я подається транслітерацією, як прізвище автора (авторів), наприклад, "Petrenko.doc".

Автори можуть користуватися електронною поштою і також телефаксом для ділової переписки та передачі до редакції тексту статті та правки при коректурі. E-mail редакції: alengoro@isofts.kiev.ua. FAX: +380 (44) 526 6263, Телефон: 526 5065.

### 1. Оформлення файлу з текстом статті.

При підготовці файлу використовуються: стиль нормальний (звичайний) або normal; шрифт Times New Roman, розмір шрифту 12 пт.; міжрядковий інтервал – 1,0; абзацний відступ -1,25 см; вирівнювання – по ширині. У тексті не допускається вирівнювання пропусками; розстановка переносів – автоматична. Формат паперу А4, розміри полів документа – 20 мм. Текст статті після анотації має бути оформлений у **2 колонки**, ширина яких – 7,86 см, а пробіл між ними – 1,27 см.

### 2. Послідовність розміщення та оформлення матеріалу статті.

**УДК:** індекс за універсальною десятиковою класифікацією.

**Автори:** ініціали та прізвища авторів, курсив (світлий).

**Заголовок 1 (назва статті):** не містить аббревіатур та строго відповідає змісту статті. Шрифт 15 пт, напівжирний, регістр верхній.

**Анотація (мовою статті):** 50-100 слів, не містить аббревіатур, зрозумілих із змісту статті. Шрифт 10 пт, звичайний.

**Ключові слова (мовою статті):** не більше 10 слів, не містить аббревіатур, зрозумілих із змісту статті, подаються в називному відмінку, розділені комами. Шрифт 10 пт, звичайний.

**Заголовок 2 (назва розділу):** шрифт 14 пт, напівжирний; абзац із центральним вирівнюванням, без переносів. Заголовки нижчого рівня (пункти і т.п.) у самостійний абзац не виділяються і проходять першим реченням текстового абзацу, шрифт 12 пт, напівжирний.

**Основний текст статті** має такі необхідні елементи:

постановка проблеми в загальному вигляді і її зв'язок з важливими науковими або практичними завданнями;

аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких розпочато рішення даної проблеми і на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується дана стаття;

формулювання цілей статті (постановка задачі);

виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів;

висновки з даного дослідження і перспективи подальших розробок у даному напрямку; подяка (за наявності такої).

**Формули** створюються в редакторі Microsoft Equation 3.0 або MathType. Формули, на які є посилання в тексті, повинні мати наскрізну нумерацію. Номер формули друкується в круглих дужках біля краю правого поля. Розмір основного шрифту редактора формул – 12 пт. Розміри символів у формулах: звичайний – 12 пт, великий індекс – 9 пт, дрібний індекс – 7 пт, великий символ – 18 пт, дрібний символ – 11 пт. Не допускається масштабування формульних об'єктів.

**Рисунки** мають бути створені вбудованим редактором Word Picture або експортовані з прикладних програм Windows у графічних форматах (bmp, psx, gif, jpg або tif). Рисунки розташовуються по центру. Нумерація рисунків здійснюється відповідно до порядку

згадування у тексті. Нумеровані підписи розміщуються під рисунком з позначенням «Рис. », далі вказується номер рисунка і текст підпису.

**Таблиці** мають бути підготовлені стандартним вбудованим в Word інструментарієм «Таблиця». Таблиці нумеруються за порядком згадування. На номер таблиці повинно бути посилання в тексті. Номер таблиці вказується в окремому рядку з вирівнюванням по правій стороні (наприклад, «Таблиця 1»). Назви таблиць розміщуються над таблицею з вирівнюванням по центру. Мінімальний розмір шрифту в таблицях – 11 пт.

**Література:** нумерований список джерел згідно ДСТУ 8302:2015 від 01.07.2016 р., шрифт 11 пт, відступ: спеціальний, навислий, 0,63 см. Джерела з заголовками на латиниці наводяться без перекладу. Інші джерела подаються мовою оригіналу. Приклади оформлення бібліографічних посилань згідно з вимогами *Harvard Style* наведені в багатьох публікаціях, наприклад: [http://www.staffs.ac.uk/assets/harvard\\_referencing\\_examples\\_tcm44-39847.pdf](http://www.staffs.ac.uk/assets/harvard_referencing_examples_tcm44-39847.pdf)

**Дані про авторів:** мають починатися рядком «Про авторів:», напівжирний курсив. Далі вказуються для кожного з авторів ПІБ повністю, наукове звання, посада, адреса, кількість публікацій в українських виданнях (приблизно), кількість публікацій в зарубіжних індексованих виданнях (приблизно), індекс Хірша (за наявності), обов'язково номер ORCID (сайт ORCID <http://orcid.org/>).

**Дані про місце роботи авторів:** починаються рядком «Місце роботи авторів:», напівжирний курсив. Далі вказуються місце роботи, адреса, телефон, факс, електронна пошта, контактний телефон.

### 3. Оформлення файлу з анотаціями.

Файл з анотаціями містить інформацію двома мовами (наприклад, якщо стаття написана українською мовою, то анотація та ключові слова – англійською і українською мовами) та має бути оформлений у дві колонки: УДК (шрифт – 8 пт); назва статті (шрифт – 12 пт, напівжирний); прізвища та ініціали авторів (шрифт – 12 пт); текст анотації, ключові слова (шрифт – 10 пт).

Вимоги до анотації англійською мовою: обсяг від 100 до 250 слів, інформативність, оригінальність (не є калькою української анотації), змістовність (відображає основний зміст статті і результати досліджень), структурованість (дотримується логіки опису результатів у статті).

Документ зберігається у форматі doc або docx. Ім'я подається транслітерацією, як прізвище автора (авторів), наприклад, «Petrenko\_Annot.doc».

\*16.07.2020 р. набули чинності положення Закону України «Про забезпечення функціонування української мови як державної». Відповідно до статті 22 «Державна мова у сфері науки» у наукових виданнях не повинно бути вміщено матеріалів іншими мовами, окрім державної, англійської та мов ЄС.

Примітка: Підписний індекс журналу «Проблеми програмування» – **90853**.