

ТИМЧУК ВОЛОДИМИР

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного

<https://orcid.org/0000-0002-3549-2813>e-mail: [y\\_tymchuk@yahoo.co.uk](mailto:y_tymchuk@yahoo.co.uk)

## ПІДХІД ДО АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ДАНИХ ЗАЛЕЖНО ВІД ЗМІНЮВАНИХ МЕТЕОПАРАМЕТРІВ ДЛЯ МОДЕЛІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ У КОМПЛЕКСІ МЕТЕОЗОНДУВАННЯ: ЛЮДСЬКІ ПОМИЛКИ ПІД ЧАС ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ СИСТЕМ

В роботі наведено попередні результати дослідження щодо створення моделі з навчанням для аналізу метеоданих за масивами даних від комплексів метеорологічного зондування атмосфери в інтересах розвитку озброєння та військової техніки ракетних військ та артилерії, зокрема пояснено отримання незадовільної оцінки ефективності розробленої моделі для машинного навчання.

Ключові слова: система систем, проектування систем, модернізація ОБТ, система обробки інформації, ракетно-артилерійське озброєння, метеорологічне зондування атмосфери, метеорологічна інформація, масиви даних, машинне навчання, модель, прогнозування, помилки проектування, людський фактор.

TYMCHUK VOLODYMYR

Hetman Petro Sahajdachnyj National Army Academy

### AN APPROACH TO THE METEOROLOGICAL DATA ANALYSIS AND PREDICTION FOR THE TRAINED MODEL FOR THE METEOROLOGICAL STATION: HUMAN FAILURES IN SYSTEMS OF SYSTEMS DESIGNING

Well-known approaches to solve the applied problems in Big Data System are the Deep Learning Machines. The specific Big Data Systems are the parts of real weapon systems in artillery. To improve the efficiency of such systems is an important task for Ukrainian Defence forces. The meteorological station operates with Big Data determining the parameters of the atmosphere for some artillery mission. How to use the DLM and special models that are capable to predict some meteorological information for artillery mission is our task for research and system designing.

The designing of the Systems of Systems (SoS) is a complicated process, so some kind of the decomposition is a typical approach with next control and adaptation. Obviously, the control and analysis that are qualified and done in time are the measures that could prevent from some incorrect or non-optimal solutions in the SoS, the time and some sources would be reduced too in the process of the solving the problem. It is shown in the paper the first stage of designing some part of the SoS concerning to the information processing system in the concrete sample of a meteorological station. The meteorological data were used as the reference data for the trained model that could calculate the meaning of horizontal and vertical angles of the turning antenna. This 'feed-back' task will allow to estimate the possibilities of the different trained models on the actual values of the angles. The dataset was obtained from "Radiotheodolite-UL" meteorological station. A regression model was created on Python with using such libraries as Pandas and Scikit-learn. The final result was unexpected, it allows to make an incorrect evaluation of the DLM for similar tasks. The reasons for failure were analyzed. The researches for the designing of the SoS are continued.

Keywords: systems of systems, system designing, information processing system, deep learning machine, artillery systems, meteorological station, meteorological information, Big Data, neural network, Deep Learning, model, dataset, prediction, failure designing, human factor.

#### Постановка проблеми

У системах з великим обсягом даних одним із способів розв'язати прикладну задачу є застосування систем машинного навчання (СМН) [1].

Системи з великим обсягом даних помітно присутні у зразках озброєння та військової техніки (ОВТ) і, насамперед, у номенклатурі ракетно-артилерійського озброєння (РАО). Підвищення ефективності зразків РАО є постійною актуальною потребою. В світлі здійснення Україною національного спротиву кожне підвищення ефективності зразків ОВТ так чи інакше впливає, по-перше, на людський потенціал, себто на живучість особового складу, а, по-друге, на критерії ефективності бойового застосування зразка ОВТ.

Тенденцією проектування складних систем для забезпечення їх функціонування в максимально широкому спектрі вирішення проблем і задач є їх поєднання для постійної або ситуативної взаємодії, тим самим створюючи системи систем [2]. Розробка системи систем є складною організаційно-технічною науковою проблемою, яка вирішується у тому числі через декомпозицію її на простіші наукові та інженерні задачі. Звично пошук шляхів вирішення таких простіших задач може здійснюватися за конкурентним або делегувальним підходом, що, з одного боку, дозволяє найкраще використовувати сукупність ресурсів, але з іншого боку, може спричинити непередбачувані труднощі, наприклад помилковий результат. Кваліфікований і вчасний аналіз дозволяє запобігти, щонайменше, привнесенню неправильних (неоптимальних) рішень у систему систем, а також зменшити рівень невиправданих затрат на реалізацію шляху розв'язання задачі.

#### Аналіз останніх джерел

Під час специфічних польових досліджень нами було встановлено наявність великого обсягу гетерогенних даних у різних ланках військового управління, насамперед у структурах Ракетних військ і артилерії (РВіА) [3]. Загальною тенденцією є те, що ці дані не опрацьовуються у повній мірі з різних причин [4].

Одним із зразків ОБТ із великим обсягом даних є комплекс зондування атмосфери для визначення її метеопараметрів [5]. Споживачами результатів метеозондування є підрозділи РВіА, авіації Повітряних сил і авіації Сухопутних військ, розвідувального забезпечення. Тож розгляд потенційних задач щодо опрацювання великих обсягів даних є зрозумілим і дозволяє розробляти нові моделі та підсистеми для впровадження в такі типи зразків ОБТ, а також рекомендації щодо відповідного застосування.

Система метеорологічного забезпечення може включати різні засоби, тому логічним є застосування наявного ресурсу для інших сфер. Так, у [6] показано можливості підвищення інформаційного забезпечення користувачів метеорологічною інформацією (МІ) за рахунок використання комплексної глобальної системи отримання та обміну, поширення та використання метеорологічних даних (для застосування в авіації), а в [7] вже показано можливість використання частини МІ (температури повітря, атмосферного тиску, швидкості і напрямку вітру, вологості повітря) від цивільних засобів для потреб військових споживачів, зокрема через певний порядок її переведення (переведення значень атмосферного тиску; переведення побудованого графіку вертикального розподілу стандартних ізобаричних поверхонь до стандартних висот, прийнятих в ракетних військах і артилерії; побудова графіків залежності значень температури повітря, напрямку та швидкості вітру від стандартних висот; перерахунок напрямку та швидкості вітру в балістичні складові вітру по стандартних висотах; врахування прогнозованих величин метеоелементів; узагальнення метеорологічних та гідрологічних явищ).

У [8] сформульовано вимоги та запропоновано структуру спеціалізованого програмного забезпечення для збирання, обробки, відображення та реєстрації даних моніторингу локальних метеорологічних систем.

У комплексі метеозондування великим обсягом даних є МІ від зонду для розрахунку метеобюлетенів, які, в цілому, задовольняють запити підрозділів РВіА та аеророзвідки. У той же час обмеженнями є власне залежність від факту метеозондування, бо це є складним організаційно-інформаційним заходом, що має часову, просторову, тактичну прив'язку. Тож пошук, з одного боку, способів урахування інформаційної надлишковості за рахунок використання датасетів від різних систем обробки інформації (СОІ) зразків РАО, а, з іншого боку, способів прогнозування достовірних результатів для СОІ, що може ефективно здійснюватися на основі СМН, є, власне, тією сферою потенційних наукових та інженерних задач щодо опрацювання великих обсягів даних.

На сьогодні результати, наукових або впроваджених, щодо опрацювання метеоданих за допомогою систем машинного навчання ще не достатньо у науковій площині, тож питання розробки та тренування моделі, яка здатна аналізувати метеодані, отримані від зонду, та визначати окремі параметри за ними, є перспективним напрямком наукових досліджень і практичних розробок.

**Метою статті є** підвищення ефективності досліджень щодо створення систем машинного навчання для обробки метеопараметрів для їх впровадження у системах обробки інформації метеорологічних комплексів.

### Виклад основного матеріалу

РАО є чи не найбільш обширним сегментом у номенклатурі зразків ОБТ Збройних Сил України.

На озброєнні РВіА є низка засобів для комплексного зондування атмосфери з метою отримання її метеорологічних параметрів на різних висотах в певному просторі, що визначається радіусом відносно місця розгортання метеокомплексу. Вочевидь, що ці метеопараметри власне визначають стан метеоумов, зокрема температури, атмосферного тиску, вологості, напрямку та швидкості вітру в різних шарах атмосфери.

Окрім задачі прогнозування, а саме щодо розвитку метеоявищ, що є типовою задачею для машинного навчання, ці метеопараметри мають визначальну роль на застосування зброї в масштабі реального часу, а саме виконання вогневих завдань артилерією, пуску балістичних ракет, здійснення польотів аеродинамічними об'єктами, ведення оптичного спостереження з безпілотних літальних апаратів тощо.

На першому етапі було прийнято рішення розробити та навчити модель розрахунку кутів нахилу антени метеокомплексу за метеоданими, що дозволить опісля вирішувати інші наукові та інженерні задачі у разі, якщо модель покаже надійні результати. Іншими словами, ми мали намір перевірити модель на фактичних значеннях кутів антени, які просто фіксують у даних зондування. Для цієї «зворотної задачі» ми за допомогою обраної моделі розраховували кути антени, які мали б відповідати отриманим метеоданим.

Для виконання цього етапу ми сформували дослідну групу, видали їй завдання на курсове проектування. Проміжний контроль не здійснювався, весь аналіз результатів етапу оцінювався за «кінцевим продуктом».

Отже, для аналізу метеоданих за допомогою тренування моделей дослідна група обрала мову програмування *Python*, яка дозволяє легко працювати з такими бібліотеками аналізу даних, як *Pandas* та *Scikit-learn* [9]. У якості статистичної техніки для знаходження залежностей між змінними з причин простоти та ефективності була використана регресія (лінійна та поліноміальна). У якості *IDE* було обрано середовище *Visual Studio Code* від *Microsoft* через зручність способів обробки даних та різноманітні типи виведення інформації для візуального сприйняття. Для оцінки ефективності моделі використовувалися цілий набір метрик, але причини їх «перебору» будуть показані нижче.

Для дослідження взяли реальний датасет з метеокомплексу «Радіотеодоліт-УЛ». Видима частина датасету відображається на моніторі «Радіотеодоліт-УЛ» [10]. До МІ належать: координати радіозонду, значення частоти метеоданих та значення метеоданих, а саме: графіки змін впродовж польоту температури

повітря, вологості, висоти радіозонду, а також графіки змін напрямку вітру та швидкості за висотою (рис. 1).

№ пп	Час	T	U	P	H	D	d	V	Td	K гор	K вер	Верт шв
1	0,0	10,8	80	974,4	0,329	0,081	0	0	3,31	220,00	0,00	
2	0,5	14,3	66	952,0	0,524	0,203	23	1	6,27	218,71	68,09	6,5
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
23	11,0	-14,0	81	586,0	4,409	4,239	209	1	2,61	292,74	73,98	5,9
24	11,5	-15,4	81	571,3	4,603	4,410	226	2	2,58	292,66	75,42	6,5

Рис. 1. МІ комплексу «Радіотеодоліт-УЛ», яка формує датасет

В загальному випадку датасет є доволі обширним, його обсяг залежить від кількості зондувань. Датасет формується автоматично комплексом «Радіотеодоліт-УЛ», розподіляючись по днях, місяцях, роках. Принагідно зауважимо, що така категоризація дозволяє проводити ретроспективний, порівняльний аналіз, що може бути корисно як для співставлення даних з даними від інших джерел (наприклад, наземних метеостанцій), так і для дослідження проблематики створення системи систем через поєднання даних від різних систем на хронометричній основі, тобто через часову синхронізацію. Отже, зміст теки з даними зондування за конкретний день (тут – 07.04.2021) показаний на рис. 2, можливими до використання в моделі були файли з різних тек днів зондування тільки з *txt*-розширенням (.mzb – вузькоспеціалізований формат із системними, конфігураційними, часовими та іншими файлами даних, потребує спеціалізованого софту, .dat – узагальнене позначення файлу даних, .sfb – вузькоспеціалізований формат, ймовірно для мультимедійних даних, отримуваних з радіозонда).

File Name	Date/Time	File Type	Size
arhiv.mzb	09/18/2021 01:28	MZB File	
07_04_2021	06/18/2023 19:57	File folder	
07.04.2021_11.dat	04/07/2021 03:17	DAT File	7 KB
07.04.2021_11.sfb	04/07/2021 03:18	SFB File	538 KB
07.04.2021_11.txt	04/07/2021 03:17	Text Document	14 KB
07.04.2021_11e.dat	04/07/2021 03:22	DAT File	7 KB
klimat.txt	09/18/2021 01:28	Text Document	2 KB

Рис. 2. Типи файлів, які в метеоконкомплексі формуються за результатами здійсненого зондування

Аналіз датасету показав потребу очищення та підготовки даних (відсутність деліметрів, незаповненість всіх окремих стовпчиків (тут – вологості), надмірна кількість неінформативних символів тощо). У підготовці були здійснені кроки очищення даних, їх форматування (заміна символу «,» та символ «.»), доповнення відсутніх (для вологості дані перестали надходити після досягнення температури в атмосфері  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , тож вводився символ NaN). У підсумку був отриманий «зібраний» метеорологічний датасет обсягом понад  $2 \cdot 10^5$  записів (див. рис. 3).

```
df = pd.read_csv('../kursach/alldata.txt', names=["Time", "H", "V", "R", "T", "H", "H"], dtype="float64")
df
```

Time	H_Angle	V_Angle	Range	Temp	Humid	Hight	
0	0,50	15-79	4-30	367	-5,6	73,0	330
1	1,00	17-24	3-97	792	-6,3	75,0	490
2	1,50	19-17	3-73	1261	-4,5	78,0	650
3	2,00	19-06	3-75	1672	-5,1	77,0	809
4	2,50	19-84	3-62	2156	-5,7	76,0	969
...	...	...	...	...	...	...	...
22259	28,50	12-41	4-76	20398	-43,6	NaN	9848
22260	29,00	12-44	4-72	20978	-44,7	NaN	10045

Рис. 3. Завантажений до моделі «зібраний» та підготовлений метеорологічний датасет

```
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 22264 entries, 0 to 22263
Data columns (total 6 columns):
# Column Non-Null Count Dtype
---
0 H_Angle 22264 non-null object
1 V_Angle 22264 non-null object
2 Range 22264 non-null int64
3 Temp 22264 non-null object
4 Humid 10868 non-null float64
5 Hight 22264 non-null int64
dtypes: float64(1), int64(2), object(3)
memory usage: 1.0+ MB
```

Рис. 4. Типи даних за різними параметрами метеорологічного зондування

Як видно з даних, змінюваними параметрами в датасеті є:

- час з ітерацією у півхвилини (0,5 [хв.], 1 [хв.], 1,5 [хв.], ..., 29 [хв.]);
- горизонтальний кут повороту антени (ряд значень, наприклад 15-79);
- вертикальний кут підйому антени відносно лінії горизонту (ряд значень, наприклад 4-30);
- дальність до зонда (ряд значень, наприклад 367 [м], 792 [м] і т.д.);
- температура повітря (ряд значень, наприклад  $-5,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-6,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  і т.д.);
- вологість повітря (ряд значень, наприклад 73 [%], 75 [%] і т.д.);
- висота підйому зонда (ряд значень, наприклад 330 [м], 490 [м] і т.д.).

Складність наступної обробки визначалася також тим, що дані в різних стовпчиках відносилися до різних типів (див. рис. 4).

Після проведеної підготовки даних дослідна група спробувала виконати поставлене завдання щодо ставлення у відповідність фактичної просторової орієнтації антени та оціненого положення моделлю за даними метеобюлетеня, яким є згаданий датасет.

Ця задача взагалі не мала представляти жодної складності, однак, несподівано, дослідна група отримала зовсім нерелевантний результат. Цікаво є процитувати висновок у пояснювальній записці до проєкту: *«Нашій моделі не вдалось адекватно передбачити необхідні нам дані, виходячи з тих, які у нас були. Нами було застосовано всі відомі нам техніки для покращення нашого результату, але нам не вдалось наблизити його до задовільного. Виходячи з цього, можна дійти до висновку, що передбачити подібні показники, виходячи з наданих даних, є недоцільним»* (підкреслення – наше).

То що ж відбулося у процесі виконання цього етапу, що спричинило такий категоричний і дискредитаційний вирок і привнесло в проєкт надлишкову вартість (організаційну, часову, ресурсну)?

Відповідь банальна. Наявність помилки у початковій стратегії. У військовій специфіці не даремною є вимога, яка стосується взаємодії між розпорядником і виконавцем щодо задачі, яка ставиться або виникає: слід переконатися, що задача зрозуміла виконавцю і він її усвідомив. Виконавець у свою чергу формує питання, які допомагають зрозуміти йому природу частку його роботи в загальному проєкті.

Отже, помилкою виявилось незнання виконавцем одиниць вимірювання, мова про кутові значення. В датасеті обидва кути – горизонтальний і вертикальний – подаються в поділках кутотіра, що є відомою артилерійською мірою кутів. Дослідна ж група сприйняла це, як діапазон кута для кожного запису, тобто, наприклад (див. рис. 4): 15 – «початок», а 79 – «кінець», до того ж у градусній мірі.

Важливість подібних помилок полягає в тому, що інколи показує не хибність шляху, а уважність до всіх етапів системного підходу проєктуванні систем.

Дослідження, вочевидь, будуть продовжені, в тому числі з метою «реабілітації» систем машинного навчання та знаходження відповідної моделі для задач прогнозування в системах ОБТ.

### Висновки

В етапі дослідна група спробувала створити модель з навчанням для аналізу метеоданих з використанням регресійних методів Лассо, Ріджа, лінійної та поліноміальної регресії.

У зв'язку з не належною увагою на початковому кроці щодо усвідомлення задачі були допущені надлишкові організаційні, часові та ресурсні затрати. Отриманий результат уможливив хибний висновок і створив невинуватене поле обмежень для моделей із навчанням.

Виправлення окресленої помилки дозволить на правду оцінити ефективність моделі для прогнозування різних параметрів під час метеозондування, що буде зроблено під час продовження досліджень.

### Література

1. Литвин В. В. Бази знань інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень / В.В. Литвин. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 240 с.
2. Wang Y. Erratum to: Towards the abstract system theory of system science for cognitive and intelligent systems. *Complex Intell. Syst.* 2015. Syst. 1. № 23. <https://doi.org/10.1007/s40747-016-0007-7>.
3. Тимчук В. Типи даних від різних джерел для опрацювання у системі консолідованої обробки просторової інформації для системи систем / В. Тимчук, В. Литвин, О. Коцемир, В. Шандра, О. Попов // Тези наук.-техн. конф. «Перспективи розвитку ОБТ Сухопутних військ», м. Львів, 17–18 трав. 2023 р. – С. 228–229.
4. Тимчук В. Інформаційна робота на пункті управління артилерійською розвідкою у літній кампанії 2022 року / В. Тимчук, В. Литвин, О. Попов, Р. Коваль // Тези наук.-практ. конф. «Застосування Сухопутних військ ЗС України у конфліктах сучасності (за досвідом забезпечення національної безпеки складовими сектору безпеки і оборони у російсько-українській війні в 2022 році)», м. Львів, 17 лист. 2022 р. – С. 114.
5. Глушков А.В. Технічні засоби гідрометеорологічної служби : конспект лекцій / А.В. Глушков // Одеса: Одеський державний екологічний університет. – 2018. – 136 с. – ISBN 978-966-186-129-8.
6. Авер'янова Ю. А. Інтерактивна глобальна мережа отримання, обміну та поширення метеорологічних даних / Ю. А. Авер'янова // Вісник Національного авіаційного університету. – 2012. – № 53(4). – С. 26–30. – <https://doi.org/10.18372/2306-1472.53.3481>.
7. Майстренко О. Застосування методу двох функцій для вирішення завдань бойового забезпечення ракетних військ і артилерії / О. Майстренко, О. Лихольот, М. Кольченко // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2021. – Том 42. – № 3. – С. 5–16. – <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2021-42-3-5-16>.
8. Юрчук Л.Ю. Спеціалізована система збирання та обробки інформації для метеорологічного моніторингу / Л. Ю. Юрчук, О. В. Родінін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – № 1. – С. 18–22. – URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/1117>.
9. Shanbhag S., Chimalakonda S. An Exploratory Study on Energy Consumption of Dataframe Processing

Libraries. 2023 IEEE/ACM 20th Int. Conf. on Mining Software Repositories (MSR), Melbourne, Australia. 2023. pp. 284–295. doi: 10.1109/MSR59073.2023.00048. <https://arxiv.org/pdf/2209.05258.pdf>.

10. Комплекс радіозондування багатofункціональний Радіотеодоліт-УЛ. Техприлад : веб-сайт. URL: <http://techprulad.lviv.ua/index.php/ua/vyhotovliaiem/aerolog-pril/%D1%80%D0%B0%D0%B4%D1%96%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%BB%D1%96%D1%82%D0%B8> (дата звернення: 30.07.2023).

#### References

1. Lytvyn V. V. Bazy znan intelektualnykh system pidtrymky pryiniattia rishen / V.V. Lytvyn. – Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, 2011. – 240 s.
2. Wang Y. Erratum to: Towards the abstract system theory of system science for cognitive and intelligent systems. *Complex Intell. Syst.* 1. № 23. <https://doi.org/10.1007/s40747-016-0007-7>.
3. Tymchuk V. Typy danykh vid riznykh dzherel dlia opratsiuvannia u systemi konsolidovanoi obrobky prostorovoi informatsii dlia systemy system / V. Tymchuk, V. Lytvyn, O. Kotsmyr, V. Shandra, O. Popov // Tezy nauk.-tekh. konf. «Perspektyvy rozvytku OVT Sukhoputnykh viisk», m. Lviv, 17–18 trav. 2023 r. – S. 228–229.
4. Tymchuk V. Informatsiina robota na punkti upravlinnia artyleriiskoiu rozvidkoiu u litnii kampanii 2022 roku / V. Tymchuk, V. Lytvyn, O. Popov, R. Koval // Tezy nauk.-prakt. konf. «Zastosuvannia Sukhoputnykh viisk ZS Ukrainy u konfliktakh suchasnosti (za dosvidom zabezpechennia natsionalnoi bezpeky skladovymy sektoru bezpeky i oborony u rosiisko-ukrainskii viini v 2022 rotsi)», m. Lviv, 17 lyst. 2022 r. – S. 114.
5. Hlushkov A.V. Tekhnichni zasoby hidrometeorolohichnoi sluzhby : konspekt lektsii / A.V. Hlushkov // Odesa: Odeskyi derzhavnyi ekolohichniy universytet. – 2018. – 136 s. – ISBN 978-966-186-129-8.
6. Averianova Yu. A. Interaktyvna hlobalna merezha otrymannia, obminu ta poshyrennia meteorolohichnykh danykh / Yu. A. Averianova // Visnyk Natsionalnoho aviatsiinoho universytetu. – 2012. – № 53(4). – S. 26–30. – <https://doi.org/10.18372/2306-1472.53.3481>.
7. Maistrenko O. Zastosuvannia metodu dvokh funkt sii dlia vyrishennia zavdan boiovoho zabezpechennia raketnykh viisk i artylerii / O. Maistrenko, O. Lykholot, M. Kolchenko // Suchasni informatsiini tekhnolohii u sferi bezpeky ta oborony. – 2021. – Tom 42. – № 3. – S. 5–16. – <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2021-42-3-5-16>.
8. Yurchuk L.Iu. Spetsializovana systema zbyrannia ta obrobky informatsii dlia meteorolohichnoho monitorynhu / L. Yu. Yurchuk, O. V. Rodinin // Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. – 2013. – № 1. – S. 18–22. – URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/1117>.
9. Shanbhag S., Chimalakonda S. An Exploratory Study on Energy Consumption of Dataframe Processing Libraries. 2023 IEEE/ACM 20th Int. Conf. on Mining Software Repositories (MSR), Melbourne, Australia. 2023. pp. 284–295. doi: 10.1109/MSR59073.2023.00048. <https://arxiv.org/pdf/2209.05258.pdf>.
10. Комплекс радіозондування багатofunktsionalnyi Radioteodolit-UL. Tekhpriklad : veb-sait. URL: <http://techprulad.lviv.ua/index.php/ua/vyhotovliaiem/aerolog-pril/%D1%80%D0%B0%D0%B4%D1%96%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%BB%D1%96%D1%82%D0%B8> (data zvernennia: 30.07.2023).