

Міністерство освіти і науки України  
Національна Академія наук України  
Академія технологічних наук України  
Інженерна академія України  
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та  
військової техніки, Україна  
Університет Гліндор, м. Рексхем, Великобританія  
Інститут оборони ім. С. Лазарова, м. Софія, Болгарія  
Технічний університет Лодзі, Польща  
Технічний університет м. Рига, Латвія  
Технологічний університет м. Таллінн, Естонія  
Університет Екстрамадура, м. Бадахос, Іспанія  
Інститут проблем математичних машин і систем (ІПММС) НАН України  
Інститут проблем безпеки атомних електростанцій (ІПБАЕС) НАН України  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут ім. І. Сікорського»  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Ю. Кондратюка»  
Черкаський державний технологічний університет  
Національний університет «Чернігівська політехніка»

## СІМНАДЦЯТА МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ

# МАТЕМАТИЧНЕ ТА ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ МОДС 2022

Тези доповідей



Чернігів 2023

Міністерство освіти і науки України  
Національна Академія наук України  
Академія технологічних наук України  
Інженерна Академія України  
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння  
та військової техніки, Україна  
Університет Гліндор, м. Рексхем, Великобританія  
Інститут оборони ім. С.Лазарова, м. Софія, Болгарія  
Технічний університет Лодзі, Польща  
Технічний університет м. Рига, Латвія  
Технологічний університет м. Таллінн, Естонія  
Університет Екстрамадура, м. Бадахос, Іспанія  
Інститут проблем математичних машин і систем (ІПММС) НАН України  
Інститут проблем безпеки атомних електростанцій (ІПБАЕС) НАН України  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут ім. І.Сікорського»  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Ю. Кондратюка»  
Черкаський державний технологічний університет  
Національний університет «Чернігівська політехніка»

**МАТЕМАТИЧНЕ ТА ІМІТАЦІЙНЕ  
МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ  
МОДС 2022**

**СІМНАДЦЯТА МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ**

*14 – 16 листопада 2022 р., Україна, м. Чернігів*

**Тези доповідей**

**Чернігів  
2023**

УДК 004.94(063)  
М34

Друкується за рішенням вченої ради Національного університету «Чернігівська політехніка» (протокол вченої ради Національного університету «Чернігівська політехніка» № 2 від 27.02.2023).

**Редакційна колегія:**

Казимир В.В., д.т.н., професор, НУ "Чернігівська політехніка"  
Білоус І.В., к.т.н., доцент, НУ "Чернігівська політехніка"  
Хропатий О.М., аспірант, НУ "Чернігівська політехніка"  
Войцеховська М.М., д.ф., НУ "Чернігівська політехніка"

**Математичне** та імітаційне моделювання систем.  
М34 МОДС 2022: тези доповідей Сімнадцятої міжнародної конференції (14 – 16 листопада 2022 р., м. Чернігів) / М-во освіти і науки України ; Нац. Акад. наук України ; Академія технологічних наук України ; Інженерна академія України та ін. – [Електронні текст. та граф. дані]. – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2023. – 107 с. – Режим доступу: <http://ir.stu.cn.ua/handle/123456789/26927>. – Назва з екрану.

ISBN 978-617-7932-43-6

У збірник включені тези доповідей, які були представлені на конференції “Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС 2022”. В доповідях розглянуті наукові та методичні питання з напрямку моделювання складних екологічних, технічних, фізичних, економічних, виробничих, організаційних та інформаційних систем з використанням математичних та імітаційних методів.

**УДК 004.94(063)**

ISBN 978-617-7932-43-6

© Національний університет  
«Чернігівська політехніка», 2023

## ЗМІСТ

**О.І. Трунов, М.С. Дорош**  
СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ДЛЯ  
ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ ЦЕНТРІВ.....7

**Liudmyla Koliechkina, Serhii Khovben**  
USING THE MULTIOBJECTIVE COMBINATORY OPTIMIZATION  
PROBLEM FOR BUILDING THE MATHEMATICAL MODEL OF  
THE APPLIED PROBLEM .....10

**V. A. Krasnobayev, A. S. Yanko, D. M. Kovalchuk**  
MATHEMATICAL MODEL AND METHOD OF RAISING  
INTEGERS TO AN ARBITRARY POWER OF A NATURAL  
NUMBER IN THE SYSTEM OF RESIDUAL CLASSES .....15

**В.В.Вишневський, Т.М. Романенко**  
МОДЕЛЮВАННЯ АЛГОРИТМУ АВТОМАТИЧНОЇ РОЗМІТКИ  
ГІПОКСИЧНОЇ ПРОБИ ПО ОДНОКАНАЛЬНІЙ  
ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМІ.....20

**V.M. Chupryna, O.M. Cherednikov, V.T Boiarov, M.M. Zhdanyuk**  
DECOMPOSITION OF MODELING SYSTEMS DURING TESTS OF  
SPECIAL AUTOMOBILE EQUIPMENT .....24

**G. V. Sandrakov**  
A MODELING METHOD FOR HYDRODYNAMICS PROCESSES  
WITH PHASE TRANSITIONS .....27

<b>G. V. Sandrakov, V. V. Semenov, O. R. Bediukh</b> MATHEMATICAL MODELING OF FILTRATION PROCESSES IN POROUS MEDIA AND HOMOGENIZATION .....	29
<b>T. Neskorodieva, E. Fedorov, A. Neskorodieva, T. Sichko, T. Utkina</b> AUTOMATED ANALYSIS OF PRODUCTION AUDIT WITH RETURNABLE WASTE AND SEMI-PRODUCTS BY DEEP SIMPLE RECURRENT NETWORK WITH LOSSES.....	31
<b>А. В. Кондратьєв, М. А. Шевцова, О. О. Вамболь, А. А. Царіцинський, Т. П. Набокiна</b> МОДЕЛЮВАННЯ УСАДКИ ПОЛІМЕРНОГО СПОЛУЧНОГО В ПРОЦЕСІ СТВЕРДІННЯ.....	36
<b>С.П. Корнієнко, І.В. Корнієнко, А.В. Тристан, М.М. Геращенко, М.О. Солодчук</b> МОДЕЛЬ ПІДГОТОВЧОГО ЕТАПУ ВИПРОБУВАНЬ З ПРІОРИТЕТНИМИ ЗАЯВКАМИ.....	40
<b>І.В. Білоус, С.О. Коноваленко, С.С. Сезончик, Д.О. Петренко</b> ТЕХНОЛОГІЇ РОЗРОБКИ, ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО РОЗГОРТАННЯ ТА СУПРОВОДЖЕННЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ МАПИ ПРИХИСТКУ ДЛЯ УКРАЇНЦІВ.....	44
<b>О.А. Кафтанатiна, П.Л. Кордюков</b> МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ І ПРОГНОЗ ОБ'ЄМНОЇ АКТИВНОСТІ ЗГІДНО СПІВВІДНОШЕННЯ $^{137}\text{CS}$ / $\Sigma\text{В}$ У ПРИМІЩЕННЯХ ОБ'ЄКТА «УКРИТТЯ» .....	47
<b>Ю. Коваленко, М. Войцеховська</b> ІНТЕРФЕЙС КОРИСТУВАЧА ТА ДОСВІД КОРИСТУВАЧА У ВЕБ-ДИЗАЙНІ.....	50

**С.В. Купріячук , С.А. Меньшенін**  
РОЗРОБКА SAFRAN-МОДЕЛІ ОПЕРАЦІЙ ПОВОДЖЕННЯМ З  
РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ НА ПУНКТИ  
ЗАХОРОНЕННЯ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ «БУРЯКІВКА» 56

**Агієнко М.Ю., Неруш К.Ю., Трунова О.В.**  
РЕБРЕНДИНГ САЙТУ ВИЩОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ ...60

**М.В. Савельєв, М.А. Пантін**  
3D-МОДЕЛЬ РАДІОАКТИВНОСТІ ОБ'ЄКТУ «УКРИТТЯ» .....63

**Скігер І.С., Рудько В.М.**  
БІЗНЕС-ЛОГІКА ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ СТАРІННЯМ  
ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО СХОВИЩА ВІДПРАЦЬОВАНОГО  
ЯДЕРНОГО ПАЛИВА .....67

**І.С. Скігер, В.В. Деренговський, В.М. Рудько**  
МЕТОДИКА ПОРІВНЯЛЬНОГО АНАЛІЗУ СЦЕНАРІЇВ  
ПОЕТАПНОГО ВИЛУЧЕННЯ ПАЛИВОВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ  
З ОБ'ЄКТУ «УКРИТТЯ» НА ОСНОВІ ФАКТОРАЛЬНО-  
КРИТЕРІАЛЬНОГО ГРУПОВОГО ЕКСПЕРТНОГО  
ОЦІНЮВАННЯ .....70

**К. О. Сущенко, Є. Д. Висотський, М. В. Савельєв**  
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КСЕНОНОВОГО  
ОТРУЄННЯ РЕАКТОРА 4-ГО ЕНЕРГОБЛОКУ ЧАЕС ПЕРЕД  
АВАРІЄЮ 26 КВІТНЯ 1986 РОКУ .....76

**В.В. Кулик**  
МОДЕЛЮВАННЯ ОБСЯГІВ ВВП І ВИПУСКУ ЗА УМОВ  
КРИТИЧНИХ ЗМІН СТРУКТУРИ КІНЦЕВИХ СПОЖИВЧИХ  
ВИТРАТ .....80

**Оксанич І.М., Гречанинов В.Ф., Лопушанський А.В.**  
ОЦІНКА СИТУАЦІЙНОЇ ОБІЗНАНОСТІ В ПРОЦЕСІ  
ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ..... 84

**Андрусенко Б. Г., Трунова О. В.**  
АКУСТИЧНИЙ ВІДБИТОК ЯК МЕТОД ЗАПОБІГАННЯ  
ПЛАГІАТУ ..... 88

**Іващенко Р. С.**  
РОЗУМІННЯ ВАРІАЦІЙНИХ АВТОКОДУВАЛЬНИКІВ –  
VARIATIONAL AUTOENCODERS (VAES) ..... 91

**Мамчуровський В.С., Прищепя Д.О., Щасна А. П.,  
Трунова О.В., Дорош М. С.**  
ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ  
РІШЕНЬ УСПІШНОСТІ STARTUP-ПРОЕКТІВ ..... 99

**Д.О.Хоменко, Є. А. Меньшенін**  
МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ЗАБРУДНЕННЯ ТЕРИТОРІЇ  
ПРОММАЙДАНЧИКА ЧАЕС ЗА ДОПОМОГОЮ  
ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ARCGIS ..... 103

## **СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ДЛЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ ЦЕНТРІВ**

Трунов О.І., Дорош М.С.

*Національний університет «Чернігівська політехніка», Україна*

Транспортно-логістичні центри (ТЛЦ) є основними системоутворюючими елементами транспортно-логістичних систем (ТЛС), що забезпечують скоординовану взаємодію всіх учасників, а також інтеграцію транспортних, товаро-матеріальних, сервісних, інформаційних та фінансових потоків.

Єврокомісія визначає транспортно-логістичний центр (ТЛЦ) – як певну територію, на якій усі види діяльності, пов’язані з транспортуванням, логістикою та дистрибуцією товарів як для національного так і міжнародного транзиту, здійснюються різними операторами [1].

Сучасний ТЛЦ виконує функції транспортно-розподільчого логістичного центру з широким спектром наданих послуг і є комплексом інженерно-технічних споруд, що розміщується у вузлах транспортної мережі, із сучасним технологічним обладнанням, що дозволяє мати у своєму складі термінали зі спеціалізованими складськими приміщеннями для зберігання та переробки вантажів; приміщення для виконання митних функцій органами державного митного комітету та супутній служби; банки; транспортно-експедиційні та логістичні фірми; брокерські та страхові компанії; службу охорони та безпеки; адміністративні приміщення та офіси клієнтів; торгові представництва та бізнес-центри; центр компетенції для ухвалення оптимальних логістичних рішень; центри технічного обслуговування рухомого складу транспорту; майданчики для відстою рухомого складу транспорту; кімнати відпочинку та готелі, пункти харчування; центри дистрибуції та оптовороздрібною торгівлі із мережею магазинів; консалтингово-аналітичні та інформаційні центри; реабілітаційно-оздоровчі комплекси.

Кожен з функціональних елементів структури ТЛЦ має відповідний рівень інформаційної взаємодії.

*Перший* рівень (поточної робочої) оперативної інформації – це «рутинна», повторювана, передбачувана інформація, що часто оновлюється:

- заявки (прямі та форвардні);
- рахунки до вкладів та розрахунків;
- бухгалтерський облік;
- отримання довідок тощо.

*Другий* рівень (оперативної) тактичної інформації – аналогічні категорії інформації групуються у функціональні одиниці, що дозволяє забезпечити:

- створення логічно замкнутої інформаційної картини кожного елементарного процесу;
- керування діловими операціями;
- визначення ступеня контролю достовірності інформації.

*Третій* рівень стратегічної інформації – відомості для керівництва, які дозволяють здійснювати довгострокове планування бізнес-процесів, що відбуваються в інформаційному просторі та розробляти політику впливу на них (див. рис. 1).

Зі зростанням рівня взаємодії зростає цінність інформації, а отже і рівень інформаційної безпеки.

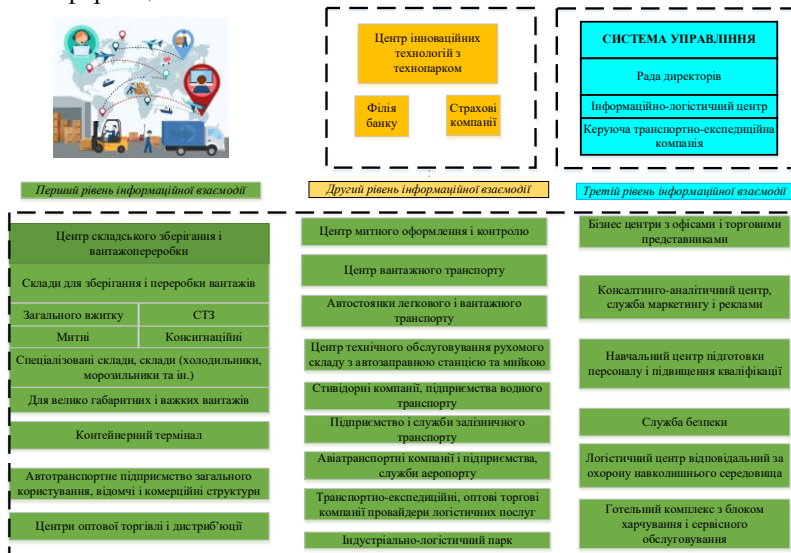


Рисунок 1 – Функціональна структура ТЛЦ з урахуванням рівнів інформаційної взаємодії

Однією з основних функцій інформаційних систем транспортно-логістичних центрів є аналіз і колекціонування великих обсягів інформації, що безумовно пов'язане зі збільшенням ймовірності порушення її конфіденційності, а отже, і до необхідності вжиття заходів щодо забезпечення безпеки інформації.

При цьому удосконалюються засоби та способи несанкціонованого доступу до інформації, її спотворення, знищення чи підміни. До цих проблем забезпечення безпеки оброблюваної інформації додаються питання захисту в каналах передачі даних та в мультисервісних мережах транспортної галузі. У зв'язку з цим з'являється необхідність у підвищенні рівня інформаційної безпеки (ІБ), що на самперед полягає постійному вдосконаленні способів та засобів її забезпечення [2].

У транспортно-логістичних центрах об'єктами захисту виступають:

- інформація, що обробляється і міститься в інформаційних системах;
- технічні засоби (в тому числі засоби обчислювальної техніки, машинні засоби що виступають носіями інформації, засоби та системи зв'язку та передачі даних, технічні засоби обробки буквено-цифрової, графічної, відео- і мовної інформації);
- загальносистемне, прикладне, спеціальне програмне забезпечення;
- інформаційні технології, а також засоби захисту інформації.

Інформаційна безпека досягається шляхом реалізації відповідного комплексу заходів щодо управління інформаційною безпекою з метою захисту інформації від широкого діапазону загроз для забезпечення конфіденційності, цілісності та доступності інформації в транспортно-логістичних центрах. Для цього необхідно створювати системи забезпечення інформаційної безпеки та відповідні їй системи управління інформаційною безпекою (СУІБ).

Специфічними особливостями при вирішенні завдань створення системи забезпечення інформаційної безпеки (СЗІБ) ТЛЦ є:

- неузгодженість та застарілість стандартів, як в галузях інформаційних технологій, кібербезпеки так і в галузях транспорту і логістики;
- неповнота та невизначеність вихідної інформації про характерні загрози ІБ;
- широке використання операційних технологій;
- багатокритеріальність завдання створення та оцінки стану СЗІБ, пов'язана з необхідністю обліку великої кількості показників (вимог) системи забезпечення ІБ;

- наявність як кількісних, так і якісних показників, які необхідно враховувати при вирішенні завдань розробки та впровадження СЗІБ;
- неможливість застосування класичних методів оптимізації;
- нестача кваліфікованих кадрів, здатних забезпечити захист ТЛЦ.

Отже, система забезпечення інформаційної безпеки ТЛЦ є носієм властивостей складної системи. Визначення раціональних варіантів її побудови та забезпечення результативності заходів щодо нейтралізації загроз інформаційній безпеці може бути виконано при ретельному та глибокому знанні її функціонування, що зумовлює необхідність використання методів математичного моделювання (з врахуванням специфіки). Практична завдання забезпечення інформаційної безпеки полягає у розробці моделі системи інформаційної безпеки ТЛЦ, яка буде враховувати технологічні, регулюючі (стандарти), технічні, економічні, управлінські, когнітивні (люди і процеси) особливості таких систем та містити наступні складові: безпека електронної пошти, безпека кінцевої точки, багатофакторна автентифікація, віртуальний брандмауер, веб-безпека.

### Література

1. FV-2000. (1999). Quality of Freight Villages Structure and Operations. European Commission <https://cordis.europa.eu/project/id/IN-97-SC.2115/pl>

2. Lytvynov V., Hrebennyk A., Trunova E., Skiter I., Lysetskyi Y. (2021) Principles of Adaptive Corporate Network Security Management. In: Shkarlet S., Morozov A., Palagin A. (eds) Mathematical Modeling and Simulation of Systems (MODS'2020). MODS 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1265. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-58124-4\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-030-58124-4_25)

## USING THE MULTIOBJECTIVE COMBINATORY OPTIMIZATION PROBLEM FOR BUILDING THE MATHEMATICAL MODEL OF THE APPLIED PROBLEM

Liudmyla Koliechkina<sup>1</sup>, Serhii Khovben<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman,  
Peremohy Ave, 54/1, Kyiv, Ukraine, 03057*

<sup>2</sup> *Poltava University of Economics and Trade, Poltava, Ukraine*

### Introduction

From a practical point of view, the class of decision-making problems, where the quality of the obtained decision is evaluated by several criteria at the same time, is an urgent problem.

Mathematical models of optimization of several functions arise in the study of many theoretical and practical problems. Any task of optimal design of complex economic and technical systems, technological devices, structures, planning and management of production activities, etc. requires that the found solution takes into account many criteria and limitations.

Scientific research in the field of multiobjective optimization (MO) is currently intensively stimulated by practical needs and the development of computer information technologies and their application. In this regard, a large number of works are appearing, which are devoted to the problems of multiobjective optimization [1-4].

### Formulation of a multiobjective problem

The formulation of the problem of multiobjective combinatorial optimization (MCO) consists in the optimization of several criteria  $\{f_1(x), f_2(x), \dots, f_L(x)\}$  on a finite set  $X$ , it can be represented as:

$$\begin{aligned} f_l(x) &\rightarrow \min, \quad l \in J_L = \{1, \dots, L\}; \\ (MCP) f_l(x) &\rightarrow \max, \quad l \in J_L \setminus J_L'; \\ x &\in X \subseteq E', \end{aligned} \tag{1}$$

where  $E'$  - combinatorial set, and  $X$  - a set of possible solutions, and functions  $f_l(x)$ ,  $l \in J_L$ , that are defined on  $E'$ .

## Construction of a mathematical model of the problem

Currently, the rapid development of information technologies determines the demand for the implementation and active use of web applications. In the modern realities of military aggression, web resources capable of providing reliable protection and preservation of user information are relevant. Such resources include the «Action» application, the «Monobank» mobile banking service, the «Air Alarm» service, and many others. All the applications described above have a flexible and reliable protection system based on the optimization and improvement of the algorithms according to which these resources function [2].

Consider a web application containing a large amount of informational data. The main characteristics for ensuring the maximum speed of loading a web resource will be the load on the network and the time to display the first content after the application starts.

Internet browsers require a corresponding maximum input data threshold and a minimum download speed to process the data of the web resource. Ensuring the productive operation of the web application is carried out by checking  $n$  parameters. To check such parameters,  $k$  restrictions are used, that regulate the optimality of the use of certain parameters. The given optimality condition for the  $i$ -th characteristic  $c_i, i \in N_k$  and matrix  $\|x_{ij}\|$ , each element of which is either zero or one depending on whether the maximum download speed of the  $j$ -th parameter  $i$ -th characteristic. To estimate  $j$ -th parameter the  $i$ -th characteristic uses the value  $q_{ij} = \alpha_{ij} + \beta_{ij}$  ( $\alpha_{ij}$  – probability of exceeding the maximum input threshold of data, error of the 1st kind,  $\beta_{ij}$  – probability of exceeding the time to display the first content, error of the 2nd kind).

It is necessary to distribute the parameters in such a way that the total load on the network approaches the minimum and does not exceed the specified value  $Q$ . According to the nature of the task, it can be formed as a permutation task.

*Mathematical model.* It is necessary to determine:

$$C = \sum_{i=1}^k c_i y_i \rightarrow \min, \quad Y = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^k q_{ij} z_{ij} \rightarrow \min$$

with additional restrictions on the time to display the first content and load on the network:

$$\sum_{i=1}^k z_{ij} = 1, \quad j \in N_n, \quad z_{ij} \leq x_{ij} y_i, \quad i \in N_k, \quad j \in N_n,$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^k q_{ij} z_{ij} \leq Q, \quad y_i = \{0,1\}, \quad i \in N_k.$$

This mathematical model is multiobjective and can be interpreted as a problem on a set of permutations with Boolean variables that reflect the type of error. During its development, 2 parameters were applied - network load and time to display the first content, which are necessary to optimize the speed of web resources. If necessary, we can use more additional parameters, and in particular – the protection parameters of the web application.

Thus, we will add another parameter responsible for increasing the level of security of the resource – two-factor authentication. This is an important setting that provides increased account protection in addition to the standard security measures: username and password. Depending on the options selected by the user, a check is performed, which consists in passing certain levels of protection, we will mark them  $P$ . The first security step involves entering a password, PIN code or pattern key to unlock the screen. The second is physical tokens, verification via email and SMS codes, and the third is biometrics such as fingerprints, retina scans and faces. Such a multi-step system, which involves two-factor authentication, makes it difficult for hackers to access user data, even if they have a password.

This problem can be reduced to a mathematical one. It is necessary to pass a check of the system  $P$ , which consists of  $n$  steps, where  $n \geq 2$ . Depending on whether  $k$  checks have been passed in the first stage, there is a transition to the second stage, which, depending on the algorithm, will contain either the next array of checks or a combination of checks consisting of the elements of the previous step and the next one. As a result of such a search of combinations for verification, the optimal one is chosen, that is, the one that satisfies the conditions of the two-factor authentication algorithm.

*Mathematical model.* The functions of the model in this case will have the following form:

- number of inspections:  $f_1(x) = \min \langle c_i^1, x \rangle, i \in N_k$ ;
- user selection of a variation to test:  $f_2(x) = \min \langle c_i^2, x \rangle, i \in N_k$ ;
- inspection time:  $f_3(x) = \min \langle c_i^4, x \rangle, i \in N_k$ .

When passing authentication, a number of restrictions are imposed  $A_{ij}x_j \leq b_j$ , де  $i \in N_m, j \in N_k$ ,

which are determined by technical criteria affecting the successful completion of the verification at the first stage  $a_{ij}^1 x_j \leq b_j^1$ ,

choosing a method of identity verification  $a_{ij}^2 x_j \leq b_j^2$ ,

the number of failed attempts during verification  $a_{ij}^3 x_j \leq b_j^3$  [3-4].

The mathematical model of the problem will have the following form:

$$f_1(x) = \max \langle c_i^1, x \rangle, i \in N_k,$$

$$f_2(x) = \max \langle c_i^2, x \rangle, i \in N_k,$$

$$f_3(x) = \max \langle c_i^3, x \rangle, i \in N_k,$$

with restrictions  $A_{ij} x_j \leq b_j$ , где  $i \in N_m, j \in N_k$ ,

on set of placements  $x \in X \subseteq E \subset R^n$ .

## Conclusion

The general problem of multiobjective combinatorial optimization is considered. A mathematical model of the problem of choosing optimal parameters to ensure maximum download speed and protection of an informational web application has been developed. Thus, the above-described mathematical model, which is multiobjective, can be branched by a number of additional parameters, which will make it possible to optimize this model for further research.

## Literature

1. Bernhard Korte and Jens Vygen. Combinatorial Optimization: Theory and Algorithms. Springer, 5th edition, 2012.
2. Panos M. Pardalos, Antanas Zilinskas, and Julius Zilinskas. Non-Convex Multi-Objective Optimization. Springer Optimization and Its Applications. Springer International Publishing, 2017.
3. Koliechkina L., Pichugina, O.: Multiobjective Optimization on Permutations with Applications. DEStech Trans. Comput. Sci. Eng. Supplementary Volume OPTIMA 2018, 61–75 (2018).
4. Koliechkina, L.N., Dvirna, O.A. & Khovben, S.V. A Two-Step Method for Solving Vector Optimization Problems on Permutation Configuration. Cybern Syst Anal, 57, 442–454 (2021).

UDC.681.3

# MATHEMATICAL MODEL AND METHOD OF RAISING INTEGERS TO AN ARBITRARY POWER OF A NATURAL NUMBER IN THE SYSTEM OF RESIDUAL CLASSES

V. A. Krasnobayev<sup>1</sup>, A. S. Yanko<sup>2</sup>, D. M. Kovalchuk<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*V. N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine*

<sup>2</sup>*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Ukraine*

## Introduction

It should be noted that there is a numerous class of problems and algorithms where, in addition to performing an integer arithmetic operation of multiplication and the operation of raising the residues of integers to an arbitrary power of a natural number modulo in a positive numerical range, there is a need to implement the above operations in a negative numerical range. The absence of methods for raising integers represented in the system of residual classes (SRC) to an arbitrary power of a natural number, both in positive and negative numerical areas, significantly narrows the area of effective use of the SRC as a number system of the computer systems (CS) [1-3].

Thus, studies devoted to the development of a method for raising the residues of integers modulo an arbitrary SRC to the power of a natural number are relevant and important. However, the existing methods for implementing the modular operation of raising integers to a power [4] are not always applicable for their implementation in a negative numerical range. The studies carried out in this article are primarily devoted to the development of a method for raising integers represented in the SRC to the power of a natural number, both in positive and negative numerical ranges [5].

It is known that according to the type of the initial number presented in the SRC  $A_{SRC} = (a_1 \parallel a_2 \parallel \dots \parallel a_{i-1} \parallel a_i \parallel a_{i+1} \parallel \dots \parallel a_n)$ , where  $\parallel$  – mathematical sign of the concatenation operation: gluing operation, joining operation [6]; it is impossible to determine whether it belongs to the positive or negative numerical ranges. There are two options for representing numbers in the SRC, both in positive and negative numerical ranges.

*First option.* The original number represented in the SRC  $A_{SRC} = (a_1 \parallel a_2 \parallel \dots \parallel a_{i-1} \parallel a_i \parallel a_{i+1} \parallel \dots \parallel a_n)$  has an additional two (or one) sign bits  $\Omega_{+A_{SRC}}$  and  $\Omega_{-A_{SRC}}$ , where:

$$\Omega_{+A_{SRC}} = \begin{cases} 1, & \text{if } A_{SRC} > 0, \\ 0, & \text{if } A_{SRC} < 0; \end{cases}$$

$$\Omega_{-A_{SRC}} = \begin{cases} 0, & \text{if } A_{SRC} > 0, \\ 1, & \text{if } A_{SRC} < 0. \end{cases}$$

In this case, the original number in the SRC will be represented as:

$$A_{SRC} = [\Omega_{+A_{SRC}} \parallel \Omega_{-A_{SRC}} \parallel (a_1 \parallel a_2 \parallel \dots \parallel a_{i-1} \parallel a_i \parallel a_{i+1} \parallel \dots \parallel a_n)].$$

With this variant of introducing the sign of a number, there is a significant drawback: the technical and time complexity of forming the sign of the result of positional and non-positional operations in the SRC [3].

*Second option.* For implement the process of performing the operation of raising the residue of integers by an arbitrary modulo SRC to the power of a natural number, both in positive and negative numerical ranges, it is supposed to represent the original number  $A_{SRC} = (a_1 \parallel a_2 \parallel \dots \parallel a_{i-1} \parallel a_i \parallel a_{i+1} \parallel \dots \parallel a_n)$  artificial form (AF)  $A'_{SRC}$  [1]:

$$\begin{cases} A'_{SRC} = \frac{M}{2} + |A_{SRC}|, & \text{if } A \geq 0, \\ A'_{SRC} = \frac{M}{2} - |A_{SRC}|, & \text{if } A < 0, \end{cases}$$

i.e. for positive numbers:  $A'_{SRC} = \frac{M}{2} + |A_{SRC}|$  and for negative:

$$A'_{SRC} = \frac{M}{2} - |A_{SRC}|, \text{ where } M = \prod_{i=1}^n m_i, m_i - \text{an arbitrary SRC module.}$$

Therefore, the main purpose is is to development of a method for raising integers represented in SRC to an arbitrary power of a natural number, both in positive and negative numerical domains.

## Main part

At present, there is no fast method for raising the residues of integers represented in the SRC, by an arbitrary modulus, to the power of a natural number, simultaneously, both in positive and negative numerical ranges, based on their representation in AF. This circumstance significantly narrows the area of effective application of the SRC. Thus, research is relevant in the field of creating methods and algorithms for raising the residue of integers represented in the SRC, by an arbitrary modulus, to the power of a natural number, both in positive and negative numerical ranges, based on their representation in AF [4].

To develop this method, it is first necessary to synthesize a mathematical model (MM)  $(A_{SRC}^k)' = f(A'_{SRC})$  the process of raising the residues of integers  $A_{SRC}$  represented in the SRC, an arbitrary modulo to the power  $k$  of a natural number. In this case, it is necessary to obtain an analytical expression  $(A_{SRC}^k)' = f(A'_{SRC})$  which determines the dependence of the result  $A_{SRC}^k$  number raising operations  $A_{SRC}$  in the SRC to the power of  $k$ , represented in the AF, from the value of the number  $A'_{SRC}$  directly presented in the AF.

Based on a number of mathematical operations and transformations, it was obtained an analytical ratio is the mathematical model (MM) of the process of squaring integers modulo SRC:

$$(A_{SRC}^k)' = (A_{SRC}^{k-1})' \cdot A'_{SRC}$$

Based on the developed MM (1) and based on the use of the tabular principle of implementing the modular multiplication operation, the article improves the method of raising the residues of integers by an arbitrary SRC modulus to the power of a natural number, both in positive and negative numerical ranges. On Fig. 1 shows a method for raising the residues of integers by an arbitrary SRC modulo for the case  $k = 2$ .

Setting the initial data for the implementation of the method of constructing residuals  $a_i$  of integer number  $A_{SRC} = (a_1 \parallel a_2 \parallel \dots \parallel a_{i-1} \parallel a_i \parallel a_{i+1} \parallel \dots \parallel a_n)$  an arbitrary modulo  $m_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) SRC to the power  $k$  of a natural number.

Coding of initial numbers  $A_{SRC}$  into code words presented in an artificial form of the form  $A'_{SRC}$  :

$$\begin{cases} A'_{SRC} = \frac{M}{2} + |A_{SRC}|, \text{ if } A \geq 0, \\ A'_{SRC} = \frac{M}{2} - |A_{SRC}|, \text{ if } A < 0, \end{cases} \quad \begin{cases} -\frac{M}{2} \leq A_{SRC} \leq \frac{(M-1)}{2}, \\ 0 \leq A'_{SRC} \leq M-1. \end{cases}$$

$$\begin{cases} (A_{SRC}^k)' = \frac{M}{2} + |A_{SRC}^k|, \text{ if } A_{SRC}^k \geq 0, \\ (A_{SRC}^k)' = \frac{M}{2} - |A_{SRC}^k|, \text{ if } A_{SRC}^k < 0, \end{cases} \quad \begin{cases} -\frac{M}{2} \leq A_{SRC}^k \leq \frac{(M-1)}{2}, \\ 0 \leq (A'_{SRC})^k \leq M-1. \end{cases}$$

Representation of the residues  $a'_i$  of the number

$A'_{SRC} = (a'_1 \parallel a'_2 \parallel \dots \parallel a'_{i-1} \parallel a'_i \parallel a'_{i+1} \parallel \dots \parallel a'_n)$  in artificial form by modules  $m_i$  ( $i = \overline{1, n}$ )

based on the use of TMC  $a'_i = [\gamma'_{a'_i} \parallel (a'_i)^*]$ , where:

for  $m_i$  – an even number:  $\gamma'_{a'_i} = \begin{cases} 0, & \text{if } 0 \leq a'_i \leq m_i / 2, \\ 1, & \text{if } m_i / 2 < a'_i \leq m_i - 1, \end{cases}$

$$(a'_i)^* = \begin{cases} a'_i, & \text{if } 0 \leq a'_i \leq m_i / 2; \\ \overline{a'_i} = m_i - a'_i, & \text{if } m_i / 2 < a'_i \leq m_i - 1, \end{cases}$$

wherein  $0 \leq (a'_i)^* \leq m_i / 2$ ;

for  $m_i$  – an odd number:  $\gamma'_{a'_i} = \begin{cases} 0, & \text{if } 0 \leq a'_i \leq (m_i - 1) / 2, \\ 1, & \text{if } (m_i - 1) / 2 < a'_i \leq m_i - 1, \end{cases}$

$$(a'_i)^* = \begin{cases} a'_i, & \text{if } 0 \leq a'_i \leq (m_i - 1) / 2; \\ \overline{a'_i} = m_i - a'_i, & \text{if } (m_i - 1) / 2 < a'_i \leq m_i - 1, \end{cases}$$

wherein  $0 \leq (a'_i)^* \leq (m_i - 1) / 2$ .

Definition of result  $(a'_i)^2 = (a'_i \cdot a'_i) \bmod m_i$ , ( $i = \overline{1, n}$ ) modular multiplication operations in the form  $\gamma'_i \parallel [(a'_i) \cdot (a'_i)] \bmod m_i$ , wherein

$$(a'_i \cdot a'_i) \bmod m_i = \begin{cases} [(a'_i)^* \cdot (a'_i)^*] \bmod m_i, & \text{if } (\gamma'_{a'_i} + \gamma'_{a'_i}) = 0 \pmod{2}; \\ \overline{(a'_i)^*} = m_i - [(a'_i)^* \cdot (a'_i)^*] \bmod m_i, & \text{if } (\gamma'_{a'_i} + \gamma'_{a'_i}) = 1 \pmod{2}. \end{cases}$$

Determining the result of an operation

$$\left[ (A'_{SRC})^{k-1} \cdot A'_{SRC} \right] \bmod M = \left\{ \left[ (a'_1)^{k-1} \right] \bmod m_1 \parallel \left[ (a'_2)^{k-1} \right] \bmod m_2 \parallel \dots \right.$$

$$\left. \dots \parallel \left[ (a'_n)^{k-1} \right] \bmod m_n \right\} \cdot (a'_1 \parallel a'_2 \parallel \dots \parallel a'_{i-1} \parallel a'_i \parallel a'_{i+1} \parallel \dots \parallel a'_n)$$

raising the residues  $a_i$  of integer number  $A_{SRC} = (a_1 \parallel a_2 \parallel \dots \parallel a_{i-1} \parallel a_i \parallel a_{i+1} \parallel \dots \parallel a_n)$

an arbitrary modulo  $m_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) SRC to the power  $k$  of a natural number

$$\begin{aligned}
(A'_{SRC})^2 &= A'_{SRC} \cdot A'_{SRC} = (a_1 \parallel a_2 \parallel \dots \parallel a_{i-1} \parallel a_i \parallel a_{i+1} \parallel \dots \parallel a_n) \times \\
&\quad \times (a_1 \parallel a_2 \parallel \dots \parallel a_{i-1} \parallel a_i \parallel a_{i+1} \parallel \dots \parallel a_n) = \\
&= [(a'_1 \cdot a'_1) \bmod m_1 \parallel (a'_2 \cdot a'_2) \bmod m_2 \parallel \dots \parallel (a'_i \cdot a'_i) \bmod m_i \parallel \dots \parallel (a'_n \cdot a'_n) \bmod m_n] = \\
&= (\{ [\gamma'_{a_1} \parallel (a'_1)^*] \cdot [\gamma'_{a_1} \parallel (a'_1)^*] \} \bmod m_1 \parallel \{ [\gamma'_{a_2} \parallel (a'_2)^*] \cdot [\gamma'_{a_2} \parallel (a'_2)^*] \} \bmod m_2 \parallel \dots \\
&\quad \dots \parallel \{ [\gamma'_{a_i} \parallel (a'_i)^*] \cdot [\gamma'_{a_i} \parallel (a'_i)^*] \} \bmod m_i \parallel \dots \parallel \{ [\gamma'_{a_n} \parallel (a'_n)^*] \cdot [\gamma'_{a_n} \parallel (a'_n)^*] \} \bmod m_n) = \\
&= (\{ \gamma'_i \parallel [(a'_i)^* \cdot (a'_i)^*] \bmod m_i \} \parallel \{ \gamma'_2 \parallel [(a'_2)^* \cdot (a'_2)^*] \bmod m_2 \} \parallel \dots \\
&\quad \dots \parallel \{ \gamma'_i \parallel [(a'_i)^* \cdot (a'_i)^*] \bmod m_i \} \parallel \dots \parallel \{ \gamma'_n \parallel [(a'_n)^* \cdot (a'_n)^*] \bmod m_n \}).
\end{aligned}$$

According to the mathematical model:

$$[a_1^k \bmod m_1 \parallel a_2^k \bmod m_2 \parallel \dots \parallel a_i^k \bmod m_i \parallel \dots \parallel a_n^k \bmod m_n] = (a'_1 \parallel a'_2 \parallel \dots \parallel a'_{i-1} \parallel a'_i \parallel a'_{i+1} \parallel \dots \parallel a'_n)^k$$

the process of raising the residues of integers an arbitrary modulo, the operation is implemented:  $[(A'_{SRC})^{k-1} \cdot A'_{SRC}] \bmod M = \{ [(a'_1)^{k-1}] \bmod m_1 \parallel [(a'_2)^{k-1}] \bmod m_2 \parallel \dots$

$$\dots \parallel [(a'_2)^{k-1}] \bmod m_i \parallel \dots \parallel [(a'_n)^{k-1}] \bmod m_n \} \cdot (a'_1 \parallel a'_2 \parallel \dots \parallel a'_{i-1} \parallel a'_i \parallel a'_{i+1} \parallel \dots \parallel a'_n)$$

raising the residues of integers an arbitrary modulo  $m_i$  SRC to the power  $k$  of a natural number, both in positive and negative numerical ranges.

Fig. 1. A method for raising integers represented in the SRC to an arbitrary power of a natural number, both in positive and negative numerical domains

## Conclusion

The procedure for implementing the operation of raising integers represented in the SRC to an arbitrary power of a natural number in a positive numerical region has been studied. Two options for representing numbers in the SRC are considered, both in positive and negative numerical ranges. The first option is as follows: the original number in the SRC has an additional two sign bits  $\Omega_{+A_{SRC}}$  and  $\Omega_{-A_{SRC}}$ . These bits symbolize the sign of the number in the SRC. The second option is as follows: for implement the process of performing the operation of raising the residue of integers by an arbitrary modulo SRC to the power of a natural number, both in positive and negative numerical ranges, it is supposed to represent the original number in an artificial form. The article developed a method for raising integers represented in the SRC to an arbitrary power of a natural number, both in

positive and negative numerical areas. This method is based on the use of a synthesized mathematical model in an analytical ratio. An analytical ratio is a generalized mathematical model of the process of raising the residues of integers to an arbitrary power of a natural number modulo SRC. The development of the method was carried out by applying a special coding of numbers in the AF, based on the use of the tabular principle of data processing. Examples of concrete execution of the operation of raising integers represented in the SRC to an arbitrary power of a natural number are given. The results of the analysis of the solution of examples showed the practical value of the developed method.

## Reference

1. I. Ya. Akushsky, D. I. Yuditsky. Machine arithmetic in residual classes. Sov. Radio, Moscow, 1968. – 440 p. [in Russian]
2. Y. M. Nikolaychuk (Eds.). Specialized computer technologies in informatics. Ternograd, Ternopil, 2017. – 913 p. [in Ukrainian]
3. A. I. Kornilov, M. Yu. Semenov, V. S. Kalashnikov. Methods for Hardware Optimization of Adders for Two Operands in the System of Residual Classes. – 1st edn. Electronics, Moscow, 2017. – P. 75–82. [in Russian]
4. V. Krasnobayev, S. Koshman, A. Yanko, A. Martynenko. Method of Error Control of the Information Presented in the Modular Number System // 2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kharkov, 2018, P. 39-42. doi:10.1109/infocommst.2018.8632049
5. A. Sasaki. The Basis for Implementation of Additive Operations in the Residue Number System / IEEE Transactions on Computers. Vol. C-17, 1968. P. 1066–1073. doi:10.1109/TC.1968.226466
6. A. Yanko, S. Koshman, V. Krasnobayev. Algorithms of data processing in the residual classes system // 2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kharkov, 2017, P. 117-121.. doi: 10.1109/infocommst.2017.8246363

# МОДЕЛЮВАННЯ АЛГОРИТМУ АВТОМАТИЧНОЇ РОЗМІТКИ ГІПОКСИЧНОЇ ПРОБИ ПО ОДНОКАНАЛЬНІЙ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМІ

В.В.Вишневський, Т.М.Романенко

*Інститут проблем математичних машин і систем НАН України*

Наслідки пандемії Covid-19 вимагають нових підходів до реабілітації людини, зокрема нових моніторингових технологій, що мали б можливості оцінки функціонального стану та рівня тренованості серцево-судинної та дихальної систем. На наш погляд, такі технології можуть бути швидко розроблені за рахунок інтеграції відомих методів оцінки стану людини з сучасними інформаційними технологіями обробки медичних сигналів, зокрема електрокардіограми. Ця доповідь присвячена модельному експерименту щодо пошуку оптимального алгоритму автоматизації гіпоксичних проб за рахунок обробки одноканальної електрокардіограми.

Гіпоксичні проби дають змогу оцінити толерантність людини до гіпоксії та, як наслідок, визначити рівень тренованості на даний час. Такими пробами є проба Штанге, у якій пропонують затримувати дихання на вдиху, і проба Генчі, у якій затримка дихання виконується на видиху. Затримці дихання передують фаза спокійного дихання (відпочинок), фаза глибоких вдихів і видихів (2-3) і вдих або вдих і видих безпосередньо перед затримкою дихання.

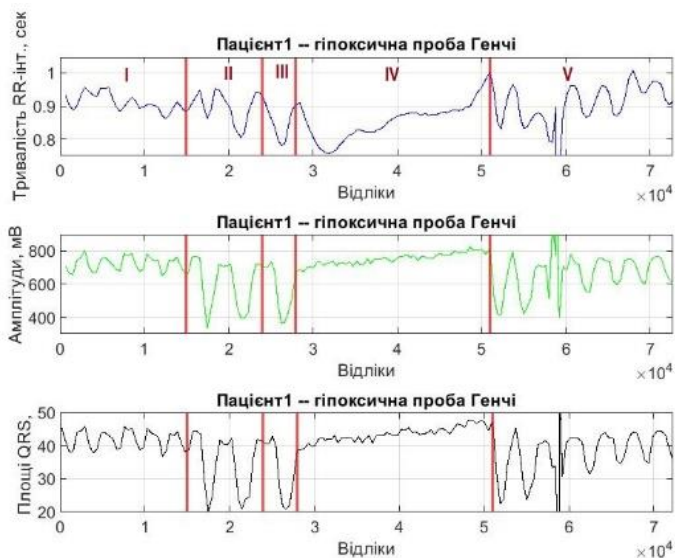
Для автоматичної розмітки фаз дихання в межах гіпоксичної проби ми використали одноканальну електрокардіограму, оскільки, як відомо, дослідження з метою реконструкції сигналу дихання з електрокардіограми ведуться вже багато років [1]. Методи прямого вимірювання респіраторного сигналу потребують використання спеціальних пристроїв, таких як спірометри, носові термопари, що безпосередньо вимірюють потік повітря у легені та з них. Контроль дихання опосередковано можна виконувати вимірюванням змін об'єму грудної клітки, за допомогою плетизмографії та деякими іншими приладами. Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки. Прямі методи є найбільш точними, але заважають нормальному диханню пацієнта, плетизмографія вимагає знерухомлення пацієнта. Тому пряме вимірювання респіраторного сигналу виконують у стаціонарних умовах. Оскільки вплив дихання призводить до змін у електрокардіограмі, це можна використати для отримання достовірної інформації про дихання без застосування додаткових приладів і датчиків, окрім електрокардіографа.

Реєстрація електрокардіограми є рутинною і неінвазивною процедурою, що виконується у стаціонарних, амбулаторних, а останнім часом і у домашніх умовах за допомогою багатоканальних або одноканальних електрокардіографів. Це дає можливість отримати реконструкцію респіраторного сигналу.

Загальна ідея отримання дихання з сигналу електрокардіограми є основою для багатьох досліджень і алгоритмів [2- 5]. Для отримання кардіореспіраторної інформації використовують різні елементи сигналу електрокардіограми, такі як амплітуда R-зубця, різниця амплітуд зубців R і S, нахил висхідної частини R-зубця (інтервал QR), нахил спадної частини R-зубця (інтервал RS), кут R-зубця (оцінюється за нахилами висхідної і спадної частин R-зубця), діапазон нахилу QRS-комплексу, площа під QRS-комплексом, також використовують аналіз головних компонентів і аналіз головних компонентів ядра, вейвлет-перетворення, гаусівський процес, реконструкцію фазового простору тощо. Усі ці відомі алгоритми не використовуються у реальному часі.

Розроблена нами програма дозволяє керувати виконанням людиною фаз гіпоксичної проби, тобто за допомогою звукових сигналів і візуальних інструкцій на екрані пропонує перехід до наступної фази проби. Одночасно з виконанням команд режиму дихання проводиться вимірювання одноканальної електрокардіограми. Момент завершення фази затримки дихання може фіксувати сама людина натисканням відповідної клавіші на клавіатурі. Але такий режим буде призводити до спотворення електрокардіограми. Отже, ключовою задачею алгоритму, що моделюється, був автоматичний пошук моменту закінчення гіпоксичної проби за рахунок обробки сигналу електрокардіограми, бажано в режимі реального часу.

Для визначення фаз гіпоксичної проби були побудовані ритмограми (зміни тривалості R-R інтервалів під час реєстрації електрокардіограми), амплітудограми (зміни амплітуди R-зубців під час реєстрації електрокардіограми) та графік змін площ під QRS-комплексами під час реєстрації електрокардіограми. Для моделювання можливих алгоритмів обробки цих сигналів використовувався пакет прикладних програм MatLab. На рис.1 наведені всі три графіки для однієї з гіпоксичних проб (проба Генчі). Можна зауважити, що на усіх трьох графіках візуально розрізняються фази гіпоксичної проби: I – спокійне дихання, II – 2-3 глибокі вдихи-видихи, III – вдих-видих, або тільки вдих, IV – затримка дихання, V – дихання після затримки. Таким чином, ми маємо момент початку фази IV, необхідно визначити момент закінчення цієї фази.



**Рис.1. Гіпоксична проба Генчі.**

Початок фази затримки дихання отримуємо з програми керування виконанням гіпоксичної проби. Зрозуміло, що моментом закінчення затримки дихання є різка зміна амплітуди графіка на амплітудограмі (у бік зменшення для проби Генчі, як у наведеному на рис.1 випадку, або у бік збільшення для проби Штанге), що пов'язано з глибоким вдихом або видихом після затримки. Сама затримка дихання характеризується невеликими змінами у амплітуді (меншими за зміни при спокійному диханні). Тому алгоритм пошуку моменту закінчення затримки дихання полягає у медіанній фільтрації сигналу і знаходженні точки, у якій зміна амплітуди перевищить деякий поріг, пов'язаний з амплітудами сигналу впродовж фази затримки дихання.

Як можна побачити на рисунку, всі три методи обробки ритмограми дозволяють знайти момент завершення затримки дихання гіпоксичної проби. Разом с цим, найбільш оптимальними з точки зору обчислювальної складності слід вважати алгоритми, що базуються на оцінці амплітуд або площин QRS-комплексів.

### **Список літератури**

1. G.B. Moody, R.G. Mark, A. Zoccola and S. Mantero, Derivation of respiratory signals from multi-lead ECGs // Computers in Cardiology. January, 1985. vol. 12. - P. 113-116.

2. Carolina Varon, et al. "A Comparative Study of ECG-derived Respiration in Ambulatory Monitoring using the Single-lead ECG" // Scientific reports. Article number: 5704, 2020.

3. Szymon Buś, Konrad Jędrzejewski. ECG-Derived Respiration – Complete Implementation and Its Evaluation with Use of Clinical Data // International conference on signals and electronic systems (ICSES - 2018), Kraków, Poland, September 10-12, 2018. - P. 209-213.

4. Shuxin Zhuang et al. Improved ECG-Derived Respiration Using Empirical Wavelet Transform and Kernel Principal Component Analysis // Hindawi. Computational Intelligence and Neuroscience. Research Article. vol. 2021, Article ID 1360414, 13 pages.

5. Parvaneh Janbakhshi, Mohammad B. Shamsollahi. ECG-derived respiration estimation from single-lead ECG using gaussian process and phase space reconstruction methods // Biomedical Signal Processing and Control, 2018. - P. 80 – 90.

UDC 629.076: 623.4.018

## **DECOMPOSITION OF MODELING SYSTEMS DURING TESTS OF SPECIAL AUTOMOBILE EQUIPMENT**

V.M. Chupryna, O.M. Cherednikov, V.T. Boiarov, M.M. Zhdanyuk

*State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification*

Testing is an integral part of the process of manufacturing and upgrading complex technical facilities, including armaments and military equipment (weapons). For example, for many years the specialists of the State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification have developed Programs and Test Methods for various types of specialized vehicle: "Kozak", "Novator", "Leopard-8", "Ontsilla", "Dozor-B". ", "Triton", "Varta", KrAZ "Shrek", KrAZ "Feona", "Renault Sherpa Light Scout", and many others.

For all these cars checks of various characteristics and indicators are carried out: durability, reliability, passability, dynamics, power of power sup-

ply system, indicators of maintenance and repair, indicators of metrological maintenance and ergonomics, existence and completeness of working design and operational documentation, sample structure, mass and dimensional parameters, conformity of marking, completeness of spare parts and other indicators [1].

Tests of objects can be carried out by an experimental method - by full-scale tests of object in certain conditions of functioning for the purpose of its studying or modeling of object - by drawing up of mathematical (numerical) model as analog of object, and its studying at functioning and simulation of various influences [2].

Analysis of a complex vehicle can be performed in parts (subsystems), taking into account their interaction. From the cybernetic point of view, the information model of the properties of a complex vehicle is described in functional and structural forms in the form of a "black box" which operates in space and time.

Over the years of research and testing of weapons and ammunition, considerable experience has been gained in the field of practical decision-making based on the results of modeling and observations of changes in properties during the life cycle of the object. Each sample weapon is represented by a set of simple or complex properties that distinguish it from others. For example, reliability is a complex property that contains simpler ones: reliability, safety, durability, maintainability.

The structure of a complex vehicle (Fig. 1) is considered as a set of interconnected elements to perform given functions. The degree of manifestation of one or more properties of the car is assessed using quality indicators of both individual elements and the car as a whole.

A complex technical system TS is described as a set of elements of system E and a set of connections Z between elements of a certain structure C:

$$TS = \{E, Z, C\}$$

where E – is a set of N elements,  $E = \{e_1, e_2, e_3, \dots, e_N\}$ ;

Z – a set of connections between elements,  $Z = \{z_1, z_2, z_3, \dots, z_l\}$ .

Let the system TS have an unknown finite set D of its own properties. When dividing a complete system into n parts by breaking the links Z, we

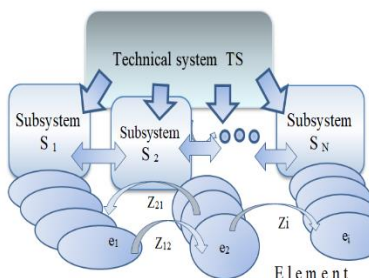


Fig.1 Hierarchical structure of the technical system

obtain a number of independent subsystems and the corresponding system S of the sets of their properties:

$$S = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}.$$

The system S must satisfy the following conditions:

- an arbitrary set  $X_k$  is a subset D:  $\forall X \in S: X \subseteq D$ ;
- any two sets  $X_i$  and  $X_j$  are independent:  $\forall X_i, X_j \in S: X_i \cap X_j = \emptyset$ ;
- any two sets  $X_i$  and  $X_j$  not the same:  $\forall X_i, X_j \in S: X_i \neq X_j$ ;
- any two sets  $X_i$  and  $X_j$  should not have connections:

$$\forall X_i, X_j \in S: X_i \oplus X_j \neq \emptyset;$$

- an arbitrary set  $X_k$  is a system of lower level sets:

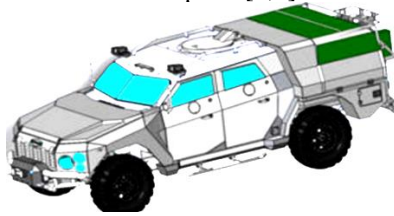
$$X = \{x_1, \dots, x_m\}; \forall x_k, x_l \in X \Rightarrow \forall x \subset S \Rightarrow x \subset D$$

Thus, there is a problem of finding the properties of each of the elements of the system S separately, as independent subsystems. Then the unknown set of properties D of the system can be found by combining the properties of all sets that are part of the partition S:

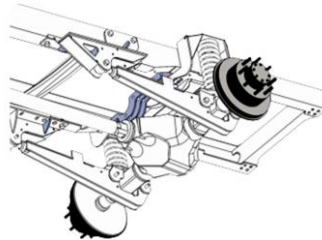
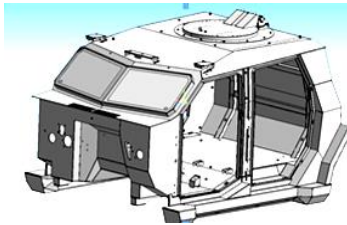
$$\bigcup_{X \subset S} X \subseteq D \Rightarrow \bigcup_{X \subset S} (\bigcup_{x \subset X} x) \subseteq D$$

Then to study the properties of the complete system, you can use decomposition methods. The complete system is divided into a number of subsystems of lower order, their properties are investigated independently, and then the properties for the complete system are obtained.

For example, decomposition was used in tests of a specialized armored vehicle (SAV) "NOVATOR" (Fig. 2), where to obtain individual indicators, the structure was modeled in parts [3,4].



a



b c  
*Fig. 2. SAV "NOVATOR" (a) and its elements:  
capsule (b) and rear axle (c)*

### **Literature**

1. Chupryna V.M. Modern methods of modeling in tests of special automotive equipment / Mathematical and simulation modeling of systems. MODS 2020: abstracts of the reports of the Fifteenth International Scientific and Practical Conference (June 29 - July 1, 2020, Chernihiv). - Chernihiv: ChNTU, 2020. - P.344-347.

2. Dmytriyev V.A., Chupryna V.M., Chimbanga E.K. Modern Methods of Modeling in Testing and Certification of Special Technique // Mathematical and Simulation Systems Modeling. Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference "MODS 2018", June 25-29, 2018, Ukraine, Kyiv - p. Zhukin, pp.376-378.

3. Yatsenko N.N. Forced field tests of cars. – M.: Mashinostroenie, 1984. -- 327 p.

4. Chupryna V.M. Simulation modeling of capsule strength of a special armored vehicle // Creation and modernization of armaments and military equipment in modern conditions. Collection of materials of the XIX scientific and technical conference of DNDI VS OVT, September 5-6, 2019 - Chernihiv, DNDI VS OVT, 2019 - P.284.

## **A MODELING METHOD FOR HYDRODYNAMICS PROCESSES WITH PHASE TRANSITIONS**

G. V. Sandrakov

*Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine [gsandrako@gmail.com](mailto:gsandrako@gmail.com)*

A new method of modeling for heterogeneous fluid dynamics processes with take of phase transitions like graphite-diamond will be discussed. The method is based on relevant approximation of conservation laws for mass, momentum, and energy in integral and differential forms. The time and spatial approximation is natural and numerical simulations are realized as direct computer experiments. It is supposed that the fluids are compressible and non-viscous. Heterogeneities of the fluids are considered as small drops or particles of one fluid within other fluid. Total number of the drops may be large enough and the drops may have phase transitions. Therefore, simulations of the main fluid with small transited drops dynamics are considered. The particle dynamics will be modeled as in the particle-in-cell method, and in the main fluid as in the large particle method.

The methods [1, 2] are based on an approximation of conservation laws for masses, momentums, and energy in the integral forms

$$\int_{o(t)} \rho'_t d\tau = - \int_{s(t)} (\rho \mathbf{v}) \cdot \boldsymbol{\eta} ds,$$

$$\frac{d}{dt} \int_{o(t)} \rho \mathbf{v} d\tau = - \int_{s(t)} p \boldsymbol{\eta} ds,$$

$$\frac{d}{dt} \int_{o(t)} \rho \varepsilon d\tau = - \int_{s(t)} (p \mathbf{v}) \cdot \boldsymbol{\eta} ds,$$

where  $o(t)$  and  $s(t)$  are volume and surface of some Lagrangian domain in the fluid,  $\boldsymbol{\eta}$  is an exterior normal to the domain,  $p = p(\rho, \varepsilon)$  is a given equation of state and  $\rho, \mathbf{v}, \varepsilon$  are unknown density, velocity, and full energy.

Thus, the approach makes it possible to simulate phase transitions under certain assumptions about heterogeneous fluids. The calculation algorithm of this method is implemented as a computer simulation of the dynamics of a multiphase carrier fluid containing particles that can undergo, for example, graphite-diamond phase transitions. Such transitions are modeled on the basis of the theory of phase transformations. In fact, the method is a combi-

nation of the Harlow's particle-in-cell method [1], Belotserkovskii's large particles method [2] and Bakhvalov's homogenization method [3]. This combination was first proposed in [4]. A new modification of this method discussed here was announced in [5]. The particle-in-cell method is often used to model hydrodynamic and plasma processes [6, 7], where a detailed modern bibliography can be found.

A modification of this new method has also been developed to take into account the effects of viscosity when simulating the dynamics of a multi-phase fluid in porous media. A model of the motion of such a liquid in a porous medium is obtained by freezing the motion of particles of the corresponding size in the presented method. The method will certainly be promising for numerical simulations of other absorption and diffusion processes in complex fluids with phase transitions.

### **Literature**

1. Grigoriev Yu. N., Vshivkov V. A., Fedoruk, M. P. Numerical particle-in-cell methods: Theory and applications. Utrecht, Boston, 2002.
2. Belotserkovskij O. M., Davidov Yu. M. The large particles method in gas dynamics. Nauka, Moscow, 1982.
3. Sandrakov G.V. Multiphase homogenized diffusion models for problems with several parameters. *Izvestiya Mathematics*, 71(6), 1193-1252, 2007. doi: 10.1070/IM2007v071n06ABEH002387
4. Sandrakov G.V., Boyko S.B. Mathematical modeling of complex heterogeneous fluid dynamics, *J. Num. Appl. Math.*, 1, 109-120, 2011.
5. Sandrakov G.V. A modified method for modeling of heterogeneous hydrodynamics processes, *Modeling, Control and Information Technologies*, 4, 63-66, 2020. doi: 10.31713/MCIT.2020.06
6. Parreiras E.A., Vieira M.B., Machado A.G., Renhe M.C., Giraldi G.A. A particle-in-cell method for anisotropic fluid simulation, *Computers and Graphics*, 102. 220-232, 2022. doi: 10.1016/j.cag.2021.08.010.
7. Wang Z., Qin H., Sturdevant B., Chang C.S. Geometric electrostatic particle-in-cell algorithm on unstructured meshes, *J. Plasma Physics*, 87(4), 905870406, 2021. doi: 10.1017/S0022377821000702.

## **MATHEMATICAL MODELING OF FILTRATION PROCESSES IN POROUS MEDIA AND HOMOGENIZATION**

G. V. Sandrakov, V. V. Semenov, O. R. Bediukh

*Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine gsandrakov@gmail.com*

The investigation of the dynamic processes of filtration of liquids in porous media is essential when planning the use of underground resources and simulation of systems in ecology. Research of such processes engineering methods of observation are expensive and practically impossible, due to the need to install a large number of sensors on large territories and different depths to study the dynamics of fluid movement in a real porous environment. Therefore, the simulation is the only one the possibility of forecasting and possible optimization of methods for rational water extraction, purification and prevention of groundwater contamination in ecology. Porous periodic media, formed by a large number of blocks with low permeability, and separated by a connected system of faults with high permeability, will be considered here. Taking into account the structure of such media in modeling, ones have the dependence of the filtration equations and their coefficients on a small parameter  $\varepsilon$  characterizing the microscale of the porous medium and the permeability of the blocks.

Thus, we define  $u = u(t, x)$  as a solution to the filtration problem

$$u'_t - \operatorname{div} K^\varepsilon (\nabla u + G) = f \quad \text{in } \Omega \times (0, \infty),$$
$$u|_{t=0} = u_0 \quad \text{in } \Omega, \quad u = 0 \quad \text{on } \partial\Omega \times (0, \infty),$$

where the coefficients of the permeability matrix  $K^\varepsilon$  are periodic with period  $\varepsilon$ , constant on faults, and equal to  $\varepsilon^2$  on blocks. This case is called the double porosity model according to [1], where such a problem has been posed. Under standard conditions on other initial data for this problem, it is natural to study such equations with periodic coefficients by methods of homogenization theory. Thus, initial boundary value problem for nonstationary equation of filtration in such porous media will be considered. The homogenized equation with convolutions for the problem was obtained in [2]. Accuracy estimates between solutions of the original and homogenized problems were proved in [2, 3], where it is assumed  $u_0 = 0$ .

Here we discuss the general case. Statements on the solvability and regularity solutions to original problem and the corresponding homogenized problem with convolutions are presented. The statement proofs use the methods of a priori estimates and Laplace transforms according to [4, 5].

These statements are necessary for modeling and the numerical solution of the problem with guaranteed accuracy. Thus, instead of solving the original problem, one can solve a numerically homogenized problem for modeling with guaranteed accuracy for sufficiently small  $\varepsilon$ .

Another approach to simulate filtration processes in the porous media is presented, for example, in [6], where statements on the two-scale convergence of solutions to solutions of two-scale homogenized problems are proved. Such two-scale homogenized problems depend on two fast and slow variables and the type of such equations is not clear. Also, the accuracy of the approximations is not clear in this case. Further details on this approach and bibliography can be found in [6, 7].

### **Literature**

1. Arbogast T., Douglas J., Hornung U. Derivation of the double porosity model of single phase flow via homogenization theory. *SIAM J. Math. Anal.*, 21:4, 823-836, 1990.
2. Sandrakov G. V. The homogenization of nonstationary equations with contrast coefficients. *Doklady Mathematics*, 56:1, 586-589, 1997.
3. Sandrakov G. V. Multiphase homogenized diffusion models for problems with several parameters. *Izvestiya Mathematics*, 71:6, 1193-1252, 2007. doi: 10.1070/IM2007v071n06ABEH002387
4. Duvaut G., Lions J.-L.: *Les Inequations en Mecanique et en Physique*. Dunod, Paris, 1972.
5. Agranovich M. S., Vishik M. I. Elliptic problems with a parameter and parabolic problems of general type. *Russian Math. Surveys* 19:3, 53-157, 1964. doi:10.1070/RM1964v019n03ABEH001149
6. Jager W., Rannacher R., Warnatz J. (Eds.) *Reactive Flows, Diffusion and Transport. From Experiments via Mathematical Modeling to Numerical Simulation and Optimization*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2007.
7. Gartner S., Frolkovic P., Knabner P., Nadja Ray N. Efficiency of micro-macro models for reactive two-mineral systems. *Multiscale Model. and Simulation*, 20:1, 433-461, 2022. doi: 10.1137/20M1380648

UDC 004.032.26

## **AUTOMATED ANALYSIS OF PRODUCTION AUDIT WITH RETURNABLE WASTE AND SEMI-PRODUCTS BY DEEP SIMPLE RECURRENT NETWORK WITH LOSSES**

T. Neskorodieva<sup>1</sup>, E. Fedorov<sup>2</sup>, A. Neskorodieva<sup>1</sup>,  
T. Sichko<sup>1</sup>, T. Utkina<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Vasyl' Stus Donetsk National University, Ukraine*

<sup>2</sup> *Cherkasy State Technological University, Ukraine*

Today a current scientific and technical problem of information technologies of the financial and economic sphere is design methodology forming and creation of audit decision support systems (DSS) based on intellectual technologies of the analysis of large volumes of financial and technical and economic data with the purpose of functionality expansion, increasing efficiency and universality of audit information technology.

One of the problems during creation of such systems is development of obtaining evaluation values methods of the checked indicators for data validation about an object on inconsistency (data purchase of raw materials and selling of finished goods; about sales or purchases of the enterprise in online stores and in financial statements of the enterprise, about structure and volumes of transportations in logistic network and deliveries or sales in the reporting); abnormal data detection – rare values of characteristics set of an object or audit process [1,2].

Now the most popular is approach of anomalies detection based on artificial neural networks (ANN) [3,4]. The disadvantage of the one-class machine of reference vectors is restriction for number of reference vectors. The disadvantage of ANN with classification is the requirement to classify anomalies that is not always possible owing to labor input of obtaining the marked data on each type of anomalies. Therefore, in work ANN with an associative memory and ANN of the forecast were selected.

The purpose of work is quality improvement of data analysis in DSS of production audit with intermediate semi-products and returnable waste based on neural network model of reporting data conversions which reflects structure of production.

1. The method of conversions modeling of reporting data of production with intermediate semi-products and returnable waste due to use of the proposed deep simple recurrent network with losses (DLSRN) which represents composition of simple recurrent networks with losses (LSRN) is for the first time offered. That allow effectively to scale (to increase LSRN number without increase in training time of all DLSRN) the DLSRN model in case of production complication.
2. Reached further development the method of parametrical identification of a deep simple recurrent network model with losses (DLSRN) due to use of the propose done-step training of simple recurrent networks with

losses (LSRN), which composition forms DLSRN and which provides neural network weights representation in the form of shares of raw materials, semi-products, finished goods, non-returnable and returnable waste. That allows to increase estimation accuracy on model of audit data transformations of production intermediate semi-products and returnable waste.

Production can be with returnable and non-returnable waste therefore in this work the method of neural network data transformation of production audit with waste and intermediate semi-products in the mode deepened checks which includes is offered:

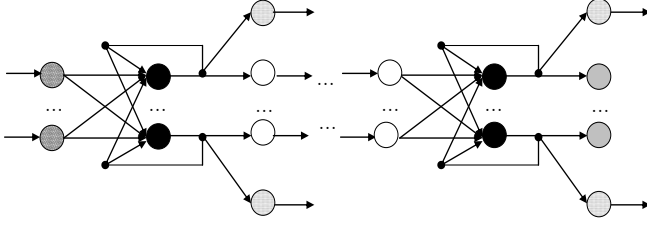
- creation of neural network model of conversion in the mode of profound check;
- creation of a method of parametrical identification of neural network model of conversion for reduction of computing complexity (at the expense of a calculations parallelization possibility) that increases training speed.

Among the determined recurrent neural networks working with material data, the simple recurrent network (SRN) has the simplest architecture and the smallest computing complexity therefore it is selected in work as a conversion neural network in the mode of profound check.

As well as in a traditional simple recurrent network (SRN) the proposed deep simple recurrent network with losses (DLSRN) the hidden layer is recurrent.

Unlike traditional SRN in the proposed DLSRN: for accounting of non-returnable waste each neuron of a recurrent layer has connection with a layer of non-returnable waste; for accounting of semi-products instead of one simple recurrent network there is a composition of simple recurrent networks, and an output layer of the recurrent network previous idle time is an input layer of the subsequent simple recurrent network, and all non-recurrent layers of composition, except an input layer, correspond to layers of non-returnable waste, semi-products and finished goods.

The block diagram of model of a deep simple recurrent network with losses (DLSRN) fully connected recurrent layers of production (the neurons forming them are designated in continuous black color), not fully connected non-recurrent layers of non-returnable waste (forming them neurons is presented on **Ошибка! Источник ссылки не найден.** are designated by low-fat points), by not fully connected non-recurrent layers of semi-products (the neurons forming them are designated in continuous white color), not fully connected non-recurrent layer of finished goods (forming it neurons are designated in continuous gray color).



**Fig. 1.** The block diagram of a deep simple recurrent network model with losses (DLSRN)

The DLSRN model, the executing mapping of each input sample of raw materials  $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_{N^{(0)}})$  output samples of finished goods  $\mathbf{y} = (y_1^{2H}, \dots, y_{N^{(2H)}}^{2H})$  non-returnable waste  $\widehat{\mathbf{y}}^{(1)} = (\widehat{y}_1^{(1)}, \dots, \widehat{y}_{N^{(0)}}^{(1)})$ , ...,  $\widehat{\mathbf{y}}^{(2H)} = (\widehat{y}_1^{(2H)}, \dots, \widehat{y}_{N^{(2H)}}^{(2H)})$ , it is presented in the form:

$$\begin{aligned}
 y_i^{(0)}(n) &= x_i, \quad i \in \overline{1, N^{(0)}}, \\
 y_j^{(2h+1)}(n) &= f^{(2h+1)}(s_j^{(2h+1)}(n)), \quad j \in \overline{1, N^{(2h+1)}}, \quad k \in \overline{1, H}, \\
 s_j^{(2h+1)}(n) &= b_j^{(2h+1)} + \sum_{i=1}^{N^{(2h)}} w_{ij}^{(2h+1)} y_i^{(2h)}(n) + \sum_{i=1}^{N^{(2h+1)}} \widetilde{w}_{ij}^{(2h+1)} y_i^{(2h+1)}(n-1), \\
 y_j^{(2h+2)}(n) &= f^{(2h+2)}(s_j^{(2h+2)}(n)), \quad j \in \overline{1, N^{(2h+2)}}, \quad k \in \overline{1, H-1}, \quad (1) \\
 s_j^{(2h+2)}(n) &= b_j^{(2h+2)}(n) + w_j^{(2h+2)} y_j^{(2h+1)}(n), \\
 \widehat{y}_j^{(2h+2)}(n) &= \widehat{f}^{(2h+2)}(\widehat{s}_j^{(2h+2)}(n)), \quad j \in \overline{1, N^{(2h+2)}}, \quad k \in \overline{1, H-1}, \\
 \widehat{s}_j^{(2h+2)}(n) &= \widehat{b}_j^{(2h+2)}(n) + \widehat{w}_j^{(2h+2)} y_j^{(2h+1)}(n),
 \end{aligned}$$

where  $N^{(2h+1)}$  – product type number (the number of neurons in a recurrent layer),  $N^{(2h+2)}$  – semi-product type number/finished goods (the neurons number in a non-recurrent layer),  $N^{(2h+1)} = N^{(2h+2)}$ ,  $N^{(0)}$  – neurons number of an input layer (raw materials layer),  $H$  – recurrent layers number,  $b_j^{(2h+1)}$  – bias for production layer neuron  $j$ -th,  $b_j^{(2h+2)}$  – bias for  $j$ -th of a neuron of semi-products layer ( $h < H - 1$ )/finished goods ( $h = H - 1$ ),  $\widehat{b}_j^{(2h+2)}$  – bias for  $j$ -th of a neuron of non-returnable waste layer,  $w_{ij}^{(2h+1)}$  –

connection weight from  $i$ -th neuron of raw materials layer ( $h = 0$ )/semi-products ( $h > 0$ ) to  $j$ -th production layer neuron,  $w_j^{(2h+2)}$  – connection weight from  $i$ -th production layer neuron to  $j$ -th a neuron of semi-products layer ( $h < H - 1$ )/finished goods ( $h = H - 1$ ),  $\tilde{w}_{ij}^{(2h+1)}$  – connection weight from  $i$ -th production layer neuron to  $j$ -th a production layer neuron,  $\tilde{w}_j^{(2h+2)}$  – connection weight from  $i$ -th production layer neuron to  $j$ -th layer neuron of non-returnable waste,  $y_j^{(2h+1)}(n)$  –  $j$ -th production layer neuron output in timepoint  $n$ ,  $y_j^{(2h+2)}(n)$  – output of  $j$ -th neuron of semi-products layer ( $h < H - 1$ )/finished goods ( $h = H - 1$ ) timepoint  $n$ ,  $\tilde{y}_j^{(2h+2)}(n)$  – output of  $j$ -th neuron of non-returnable waste layer in timepoint  $n$ ,  $f^{(2h+1)}$  – activation function of production layer neurons,  $f^{(2h+2)}(s) = \exp\left(-\frac{s^2}{2}\right)$ ,  $f^{(2h+2)}$  – activation function of semi-products layer neurons ( $h < H - 1$ )/finished goods ( $h = H - 1$ ),  $\tilde{f}^{(2h+2)}(s) = \exp\left(-\frac{s^2}{2}\right)$ ,  $\tilde{f}^{(2h+2)}$  – activation function of neurons of non-returnable waste layer neurons,  $\tilde{f}^{(2h+2)}(s) = \exp\left(-\frac{s^2}{2}\right)$ .

In this work for training of the LSRN model the criterion which means the choice of such values of a vector of parameters is selected  $\mathbf{w} = (w_{11}^{(2h+1)}, \dots, w_{N^{(2h)}N^{(2h+1)}}^{(2h+1)}, w_1^{(2h+2)}, \dots, w_{N^{(2h+2)}}^{(2h+2)}, \tilde{w}_{11}^{(2h+1)}, \dots, \tilde{w}_{N^{(2h+1)}N^{(2h+1)}}^{(2h+1)}, \tilde{w}_1^{(2h+2)}, \dots, \tilde{w}_{N^{(2h+2)}}^{(2h+2)})$ , which deliver a minimum of a root mean square error (the differences of a sample on model and a test sample)

$$F = \frac{1}{PN^{(2h+2)}} \sum_{\mu=1}^P \|\mathbf{y}_{\mu}^{(2h+2)} - \mathbf{d}_{\mu}^{(2h+2)}\|^2 + \frac{1}{PN^{(2h+2)}} \sum_{\mu=1}^P \|\tilde{\mathbf{y}}_{\mu}^{(2h+2)} - \tilde{\mathbf{d}}_{\mu}^{(2h+2)}\|^2 \rightarrow \min_{\mathbf{w}}, \quad (2)$$

where  $\mathbf{y}_{\mu}^{(2h+2)}, \tilde{\mathbf{y}}_{\mu}^{(2h+2)}$  –  $\mu$ -th output samples on model,  $\mathbf{d}_{\mu}^{(2h+2)}, \tilde{\mathbf{d}}_{\mu}^{(2h+2)}$  –  $\mu$ -th test output samples,  $P$  – power of a test set.

The proposed DLSRN for a possibility of parallelization of calculations and explicit representation of knowledge the method a one-step method of

training is proposed and it is proposed to train separately each LSRN of composition.

## References

1. Chandola, V, Banerjee, A, Kumar, V.: Anomaly Detection: A Survey. *ACM Computing Surveys* 41 (3), 1–58 (2009). doi: 10.1145/1541880.1541882
2. Zhu, B.: Research on the Application of Big Data in Audit Analysis Program. In: *International Seminar on Automation, Intelligence, Computing, and Networking (ISAICN'2019) Proc.*, pp. 235–238. Paris (2019). doi: 10.25236/isaicn.2019.047
3. Haykin, S.: *Neural Networks and Learning Machines*. Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey (2009).
4. Aggarwal, Ch.: *Outlier Analysis*. Springer, Cham, 2<sup>nd</sup> ed. (2017). doi: 10.1007/978-3-319-47578-3

УДК 678.5.067

## МОДЕЛЮВАННЯ УСАДКИ ПОЛІМЕРНОГО СПОЛУЧНОГО В ПРОЦЕСІ СТВЕРДІННЯ

А. В. Кондратьєв<sup>1</sup>, М. А. Шевцова<sup>2</sup>, О. О. Вамболь<sup>2</sup>,  
А. А. Царіцинський<sup>2</sup>, Т. П. Набокiна<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Україна*

<sup>2</sup> *Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Україна*

Якість сучасних полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) та конструкцій на їх основі значною мірою визначається технологічними режимами їх виробництва [1]. Оптимізація технологічних режимів термообробки композитних виробів проводиться на основі результатів математичного та комп'ютерного моделювання термохімічних і теплофізичних властивостей матеріалів, а також процесів теплопереносу у виробі, що супроводжуються відповідними фізико-хімічними перетвореннями [2, 3].

Проаналізувавши існуючі моделі та експериментальні дані, було прийнято наступний аналітичний вираз для розрахунку швидкості реакції:

$$f(\eta, T) = \begin{cases} K(T)\eta^{m(T)} \left( \frac{\eta^*(T) - \eta}{\eta^*(T)} \right)^{n(T)} & \text{if } \eta \leq \eta^*(T); \\ 0 & \text{if } \eta > \eta^*(T), \end{cases} \quad (1)$$

де  $\eta^*(T)$  – максимальний ступінь ствердіння, який може бути досягнутий за температури  $T$ ;  $K(T)$ ,  $m(T)$ ,  $n(T)$  – деякі функції температури.

На рис. 1 показано приклади результатів розрахунку ступеня ствердіння сполучного EA9396, отримані за допомогою експериментально-го та аналітичного подання функції  $f(\eta, T)$ .

Для обчислення усадки в залежності від ступеня ствердіння використано таку модель

$$\frac{d\xi}{d\eta} = c_1 + c_2 \exp\left(-c_3 \frac{d\eta}{dt}\right), \quad (2)$$

де  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$  – коефіцієнти, що визначаються експериментально.

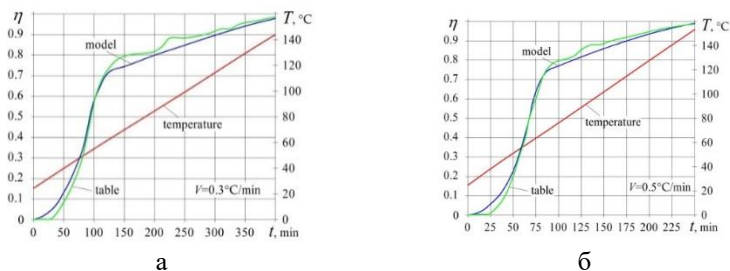


Рис. 1 Результати розрахунку ступеня ствердіння сполучного EA9396, отримані за допомогою експериментального та аналітичного представлення функції  $f(\eta, T)$  для різних швидкостей розігріву: а –  $V=0.3^\circ\text{C/хв}$ ; б –  $V = 0.5^\circ\text{C/хв}$

На рис. 2 показано результати експериментального вимірювання усадки сполучного EA9396 за часом, а також криві, отримані з використанням залежності (2). В результаті було отримано наступні значення коефіцієнтів:  $c_1 = 0$ ;  $c_2 = 0.04$ ;  $c_3 = 7$ .

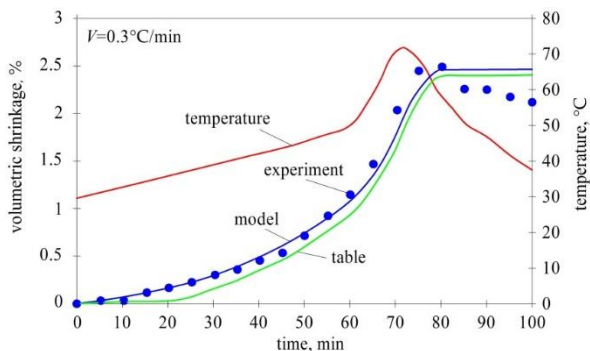


Рис. 2 Результати моделювання усадки сполучного EA9396 для швидкості розігріву  $V = 0.3 \text{ }^\circ\text{C/хв}$

Запропонована модель усадки цілком задовільно описує результати експериментів. Криві, які побудовані на основі даних про швидкість реакції, отримані експериментально і за допомогою аналітичної моделі (1), відрізняються незначно (не більше 5%).

На рис. 3 показана залежність швидкості усадки від швидкості реакції для досліджуваного сполучного.

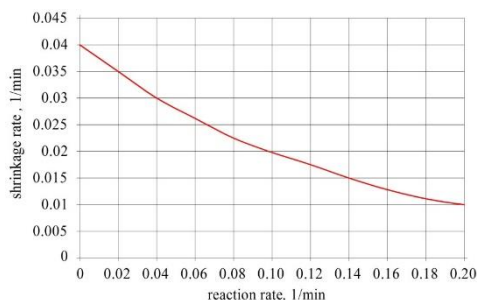
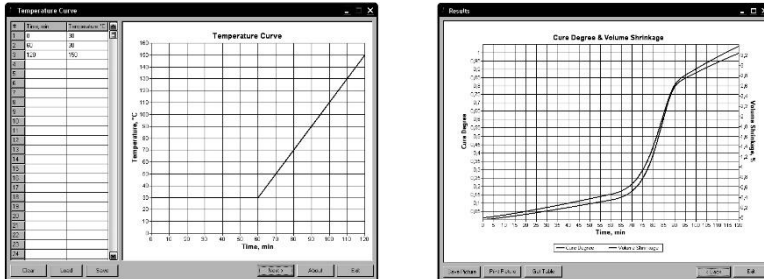


Рис. 3 Залежність швидкості усадки від швидкості реакції

Для числової реалізації запропонованих моделей було розроблено програмне забезпечення, що дозволяє за заданим температурним режимом (рис. 4, а) отримати залежності ступеня ствердіння та усадки від часу (рис. 4, б).



а

б

Рис. 4 Розроблене програмне забезпечення, що дозволяє за заданим температурним режимом (а) отримати залежності ступеня ствердіння та усадки від часу (б)

## Література

1. Brinson H.F., Brinson L.C. Polymer engineering science and viscoelasticity: An Introduction. – Springer US: Boston, MA, USA, 2015. – 482 p. doi:10.1007/978-1-4899-7485-3.
2. Kondratiev A., Píšťek V., Smovziuk L., Shevtsova M., Fomina A., Kučera P., Prokop A. Effects of the temperature–time regime of curing of composite patch on repair process efficiency // Polymers. – 2021. – Vol. 13, Iss. 24. – 4342. doi:10.3390/polym13244342.
- 3 Baran I., Cinar K., Ersoy N., Remko Akkerman, Jesper H. Hattel A review on the mechanical modeling of composite manufacturing processes // Archives of computational methods in engineering. – 2017. – No. 24. – P. 365 – 395. doi:10.1007/s11831-016-9167-2.

## МОДЕЛЬ ПІДГОТОВЧОГО ЕТАПУ ВИПРОБУВАНЬ З ПРІОРИТЕТНИМИ ЗАЯВКАМИ

С.П. Корнієнко<sup>1</sup>, І.В. Корнієнко<sup>1</sup>, А.В. Тристан<sup>2</sup>,  
М.М. Геращенко<sup>2</sup>, М.О. Солодчук<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет «Чернігівська політехніка», Україна  
<sup>2</sup>Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Україна

Надходження пріоритетних заявок на випробування зразків озброєння та військової техніки (ОВТ) може певним негативним чином вплинути на продуктивність випробувальної організації. Мінімізація втрати продуктивності можлива за рахунок відшукування оптимальних режимів обслуговування пріоритетних та дообслуговування звичайних заявок. Дослідження оптимальності режиму функціонування можливо за допомогою аналітичного апарату теорії систем масового обслуговування (СМО).

Представимо підготовчу стадію випробувань окремого підрозділу ланцюгом Маркова (рис. 1).

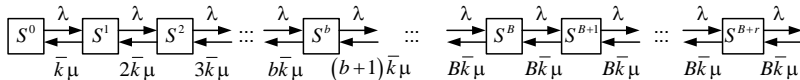


Рис.1. Представлення підготовчої стадії випробувань за схемою марківських процесів

Справедливість такого представлення наведена у [1]. Кожний стан системи характеризується кількістю зайнятих обслуговуванням паралельних каналів  $b$ , кількість яких знаходиться у межах  $0 \leq b \leq B$ . Число заявок у черзі –  $r$ , довжина черги не обмежена, інтенсивність вхідного потоку –  $\lambda$ .

Ймовірність надходження пріоритетних заявок  $s$ -го рангу становить:  $P^s \approx \bar{m}_{n^{(s)}} / \bar{m}_n$ , де  $\bar{m}_{n^{(s)}}$  та  $\bar{m}_n$  – статистичні середні кількості заявок з рангом пріоритетності  $s$  та загальної кількості заявок  $n$ , що надійшли за прийнятий часовий інтервал аналізу. Інтенсивності надходження пріоритетних заявок становитимуть  $\lambda_s = \lambda P(C_n^s)$ . Інтенсив-

ність обслуговування заявок  $\bar{k}\mu$ , де  $\bar{k}$  – середня кількість фахівців у випробувальній бригаді;  $\mu$  – продуктивність окремого фахівця випробувальної бригади. Навантаження СМО при такому представленні інтенсивності обслуговування становитиме  $\rho = \lambda/\bar{k}\mu$ .

Поведінка моделі (рис. 1) залежить від виду пріоритету заявки. "Абсолютний" пріоритет заявки залишить без змін продуктивність системи випробування у випадку наявності вільних каналів обслуговування. Інакше, заявка без пріоритету яка надійшла останньою переміщується у чергу, а її місце займає заявка з пріоритетом (рис. 2).

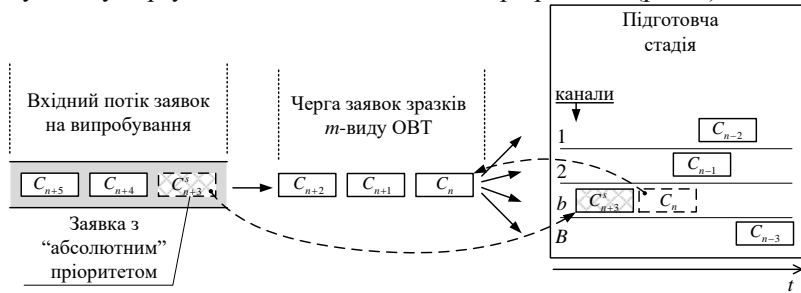


Рис. 2. Надходження заявки з "абсолютним" пріоритетом

Дообслуговування заявки супроводжуватиметься певною втратою часу  $\tau_l$ , що пов'язано з переорієнтування персоналу на інший вид робіт. Тоді, можна прийняти, що загальні втрати часу внаслідок дообслуговування непріоритетних заявок складатимуть:  $\tau_L(\Delta t) = n_s(\Delta t)\tau_l$ , де

$n_s(\Delta t)$  – кількість пріоритетних заявок, яка надійшла за період  $\Delta t$ . Відповідно, інтенсивність обслуговування потоку заявок, в якому є заявки з "абсолютним" пріоритетом становитиме  $\mu = (\Delta t - \tau_L(\Delta t))/n_\Sigma$ ,

де  $n_\Sigma$  – загальна кількість заявок, яка надійшла на обслуговування за інтервал  $\Delta t$ . Якщо  $\Delta t = 1$  (тиждень), маємо остаточно інтенсивність для потоку з заявками з "абсолютним" пріоритетом:

$$\mu' = \frac{1 - \tau_L}{n_\Sigma} = \frac{1 - n_s \tau_l}{n_\Sigma} \quad (1)$$

Вираз (1) справедливий для випадку, якщо на вхід системи надходять рівнозначні пріоритетні заявки та іше у випадку відсутності віль-

них каналів СМО у стаціонарному стані. Тоді модель СМО підготовчого етапу (рис. 1) прийме наступний вигляд (рис. 3).

Якщо пріоритетні заявки мають ранги, то вираз (1) представляє собою верхню оцінку інтенсивності обслуговування:  $\mu_p^* = \mu'_p = (1 - n_s \tau_l) / n_\Sigma$ . Нижня оцінка інтенсивності обслуговування, становитиме:  $\mu_{*p} = (1 - \tau_l (2n_s - 1)) / n_\Sigma$ .

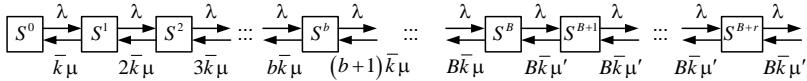


Рис. 3. Надходження у СМО рівнозначних заявок з "абсолютним" пріоритетом

Виходячи з цього, модель СМО підготовчого етапу (рис. 3) для випадку надходження ранжованих заявок з "абсолютним" пріоритетом прийме наступний вигляд (рис. 4):

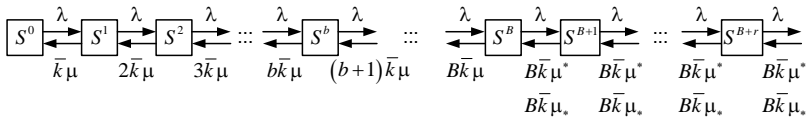


Рис. 4. Надходження у СМО ранжованих заявок з "абсолютним" пріоритетом

У випадку, якщо надходить заявка з "відносним" пріоритетом переривання обслуговувань заявок без пріоритету не відбувається, при цьому, пріоритетна заявка стає на перше місце у черзі (ситуація відповідає моделі на рис. 3. При надходженні заявки з будь яким пріоритетом означає звичайний перехід системи  $S_p^{B_p} \rightarrow S_p^{B_p+1}$ . Якщо пріоритетна заявка потрапляє на перше місце черги, то втрати часу на дообслуговування заявки без пріоритету не відбувається, і, відповідно, інтенсивність обслуговування на будь яких стадіях випробування не змінюється.

Стационарні ймовірності знаходження СМО у різних можливих станах для заявок з "відносним" пріоритетом становитимуть: у стані

$$S^0: P^0 = \left( \sum_{b=0}^B \frac{\rho^b}{b!} + \frac{\rho^{B+1}}{B!(B-\rho)} \right)^{-1}; \text{ у стані } S^b: P^b = \frac{\rho^b}{b!} P^0; \text{ у стані } S^{B+r}:$$

$P^{B+r} = \frac{\rho^{B+r}}{B!B^r} P^0$ . Для заявок з "абсолютним" пріоритетом: у стані  $S^0$ :

$P^0 = \left( \sum_{b=0}^B \frac{\rho^b}{b!} + \frac{\rho^{B+1}}{B!(B-\rho')} \right)^{-1}$ , де  $\rho' = \lambda/\bar{k}\mu'$  – навантаження СМО у чер-

зі; у стані  $S^b$ :  $P^b = \frac{\rho^b}{b!} P^0$ ; у стані  $S^{B+r}$ :  $P^{B+r} = \frac{\rho^{B+r}}{B!B^r} P^0$ . Стационарні ймовірності перебування у різних станах при надходження ранжованих заявок з "абсолютним" пріоритетом матимуть у своєму складі верхню –  $\mu_p^*$  й нижню –  $\mu_{*p}$  оцінки інтенсивності обслуговування, які при підстановці замість  $\mu_p'$  дозволять отримати максимальну і мінімальну оцінку ймовірності перебування у стаціонарних станах.

Стационарна ймовірність беззупинного обслуговування довільної заявки (ймовірність відсутності черги):  $P^S = 1 - P^B$ . Стационарна ймовірність потрапляння заявки у чергу: для заявок без пріоритету та заявок з "відносним" пріоритетом:  $P^B = P^0 (\rho^B / B!)$ ; для заявок з "абсолютним" пріоритетом обслуговування:

$P^B = \frac{(\rho^s)^B}{B!} \left( \sum_{b=0}^B \frac{\rho^{sb}}{b!} + \frac{\rho^{sB_p+1}}{B!(B-\rho^s)} \right)^{-1}$ , де  $\rho^s = \sum_{i=s+1}^S \lambda_i / \bar{k}\mu$  – навантаження

СМО пріоритетними заявками з вищим ніж  $s$  пріоритетом  $\{s+1, s+2, \dots, S\}$ . У окремому випадку, коли пріоритетні заявки не мають рангів –  $\rho^s = \lambda_s / \bar{k}\mu$ . Стационарна ймовірність призупинення обслуговування конкретної заявки внаслідок надходження заявки з вищим пріоритетом:  $P^{s\_break} = \sum_{i=s+1}^S (P^s)_i$ , де  $P^s$  – ймовірність надходження пріоритетної заявки  $s$  рангу.

Середня кількість заявок, які перебувають на обслуговуванні:

$L^S = \rho$ . Середнє число заявок у черзі:  $L^g = \frac{\rho^{B_p+1} B}{B!(B-\rho)^2} P^0$ . Середній час:

перебування заявки на обслуговуванні на підготовчій стадії:  $\omega^l = 1/\mu$ ;

очікування заявки у черзі:  $\omega^q = L^q / \lambda$ ; перебування заявки на підготовчій стадії випробування:  $t = \omega^t + \omega^q$ . Продуктивність СМО без постановки заявок у чергу:  $Q^* = \lambda P^S$ . Середня кількість зайнятих фахівців:  $\bar{N} = \bar{k} \rho$ . Середня інтенсивність просування заявки на підготовчій стадії випробування:  $\lambda^i = 1/t$ .

## Література

1. Korniienko I., Korniienko S., Dmytriiev V., Pavlenko A., Kamak D. (2022) Modeling and Analysis of the Main Statistical Parameters of the Testing System of Special Equipment. In: Shkarlet S. et al. (eds) Mathematical Modeling and Simulation of Systems. MODS 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 344. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-89902-8\\_34](https://doi.org/10.1007/978-3-030-89902-8_34).

УДК 004.9:004.75:364.25

## ТЕХНОЛОГІЇ РОЗРОБКИ, ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО РОЗГОРТАННЯ ТА СУПРОВОДЖЕННЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ МАПИ ПРИХИСТКУ ДЛЯ УКРАЇНЦІВ

І.В. Білоус, С.О. Коноваленко, С.С. Сезончик, Д.О. Петренко

*Національний університет «Чернігівська політехніка», Україна*

Щоб спростити пошук країн, спільнот і ресурсів для допомоги тим, хто тікає від українсько-російського конфлікту, група українських викладачів і студентів розпочала проект WORLD4UA.ONLINE [1]. Проект представляє інтерактивну мапу світу з інформацією про умови виїзду та проживання людей, вимушених покинути Україну (рис. 1).

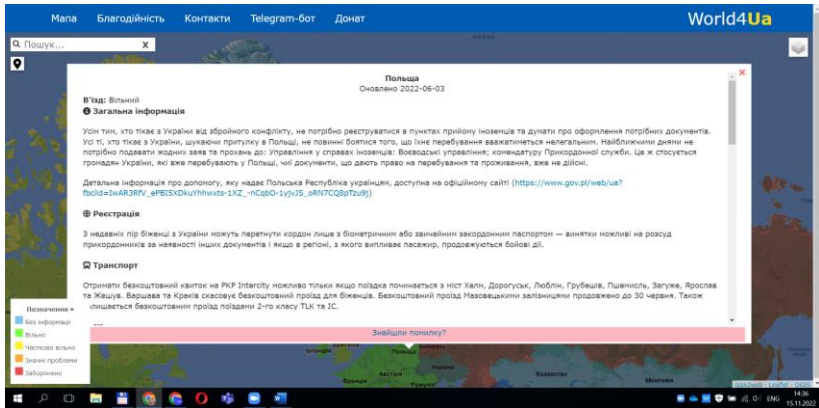


Рисунок 1 – Проект WORLD4UA.ONLINE

На мапі інформація про країни розділена на п'ять категорій залежно від того, наскільки вони зручні для перебування українців. Мапа представляє таку інформацію, як:

- процедура реєстрації біженців;
- документи, необхідні для перетину кордону в країну;
- ресурси (їжа, житло, робота), що забезпечує країна;
- контакти організацій, які допомагають, наприклад, благодійних організацій, телефонів довіри тощо;
- основна інформація щодо вакцинації, домашніх тварин, автомобіля, догляду за літніми людьми тощо.

Особливістю цього проекту була швидкість і безкоштовність його реалізації, адже його основною метою була допомога власним співвітчизникам [2].

При розробці мапи використовувалась ГІС QGIS, яка надає можливість автоматизованого створення веб-рішення на основі JavaScript. Для збереження геопросторових даних – СУБД PostGIS(PostgreSQL), при завантаженні користувачами використовується повне кешування в json форматі. Відкритий код проекту разом з генерацією Docker Image доступний на GitHub [3].

Ідея полягала в тому, щоб використовувати нові технології Web3.0. Вони дозволяють децентралізоване розгортання і надають безперервний, надійний і безпечний механізм розгортання та супроводження. Постачальником, який дав World4UA те, що потрібно – стійкість до атак, легкість розгортання, швидке завантаження та повну децентралізацію – це StackOS [4].

StackOS – це відкритий кросс-чейн протокол, який дозволяє окремим особам і організаціям спільно використовувати обчислювальні ресурси та колективно застосовувати децентралізовану хмару; де розробники можуть розгорнути будь-яке повностекове рішення, децентралізований додаток, блокчейн приватні мережі та основні вузли мережі [5].

StackOS відповідає основним вимогам: надійність, швидкість, мінімальна ціна, швидкість розгортання та простота супроводження. Завдяки добре описаним посібникам і цілодобовій підтримці команди StackOS виявилось, що процес розгортання зайняв мінімум часу, а завдяки використанню Docker Image елементи сайту можна замінити в один клік.

Наразі маємо оптимальний час завантаження мапи при використанні мінімальних параметрів конфігурації (а отже, і мінімальної вартості обслуговування). Фіксуємо ефективну відсіч атак, постійне навантаження на сайт реальними користувачами та збільшення кількості унікальних подій. Відповідно до веб аналітики CloudFlare щодня до мапи здійснюється від 30 до 400 унікальних візитів, в середньому за день обробляється близько 2000 запитів, час завантаження перших змістовних даних – 1 секунда, час повного завантаження – 5 секунд (повторне не більше 1 секунди), відклик на запит – 1,5 мілісекунди.

З огляду на місію, що реалізується проектом, командою StackOS провадиться підтримка в розповсюдженні інформації про мапу і зборі донатів та прийнято рішення стати спонсором проекту в безкоштовному обслуговуванні.

Розробка та впровадження WORLD4UA.ONLINE для розробників була викликом, особливо в умовах обмеженості майже у всьому. Команда розробників пишається тим, що інтерактивна мапа прихистку для українських біженців успішно працює та рада знайти такого партнера, як StackOS.

## **Література**

1. Інтерактивна мапа прихистку для українців. – Електронний ресурс. – <https://world4ua.online>.
2. Розробка WORLD4UA.ONLINE за допомогою StackOS – Електронний ресурс. – <https://kpi.stu.cn.ua/Позробка-WORLD4UA.ONLINE-за-допомогою-StackOS>.
3. GitHub проекту WORLD4UA.ONLINE – Електронний ресурс. – <https://github.com/serhiisezonchuk/world4.ua>.
4. Decentralized Cloud – Електронний ресурс. – <https://www.home.stackos.io/>.

5. Ukraine's National University Uses StackOS To Assist Ukrainian Student Refugees – Електронний ресурс. – <https://medium.com/stackos/ukraines-national-university-uses-stackos-to-assist-ukrainian-student-refugees-3ffca490be71>.

УДК 51-74: 621.039.7

## **МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ І ПРОГНОЗ ОБ'ЄМНОЇ АКТИВНОСТІ ЗГІДНО СПІВВІДНОШЕННЯ $^{137}\text{Cs}/\Sigma\beta$ У ПРИМІЩЕННЯХ ОБ'ЄКТА «УКРИТТЯ»**

О.А.Кафтанатіна, П.Л.Кордюков

*Інститут проблем безпеки АЕС НАН України*

Практична діяльність з перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему здійснюється відповідно до законів України [1, 2] та «Стратегії перетворення об'єкта «Укриття» [3].

Науково-технічна і соціальна значимість виконаних робіт полягає в істотному зниженні ризику радіоактивного забруднення довкілля. На даний час скупчення паливовмісних матеріалів (ПВМ) і надалі залишаються головним джерелом небезпеки об'єкта «Укриття». При чому потенційна небезпека ПВМ з часом може зростати. Однією із задач досліджень за темою «Комплексний аналіз потенційних сценаріїв перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему після введення в експлуатацію «Нового безпечного конфайнмента» є визначення та аналіз факторів, що впливають на вибір сценаріїв перетворення об'єкта «Укриття» та прогноз динаміки кожного із скупчень паливовмісних матеріалів, як протягом життєвого циклу НБК, так і після його зняття з експлуатації.

В роботі здійснений аналіз динаміки та прогноз стану ЛПВМ, які знаходяться у наступних приміщеннях: система «Байпас СВГ ОУ» (система вентиляційного і газоочищення об'єкту «Укриття»); 304/3 (скупчення радіоактивного пилу і зруйнованих фрагментів активної зони); 210/7 (паророзподільний коридор об'єкта «Укриття»); 012/15 (другий поверх басейна-барботера).

Моделювання динаміки  $^{137}\text{Cs}/\Sigma\beta$  в приміщеннях, які досліджувалися, за період з 12.2016 по 07.2021 рр. та прогнозування динаміки на період з 08.2021 по 07.2022 рр. виконано за допомогою гармонічного аналізу Фур'є [4]:

$$137\widehat{Cs}/\Sigma\beta = b_0 + \sum_{i=1, k=1}^{n, m} (b_k \cos kt_i + d_k \sin kt_i) \quad (1)$$

де:  $b_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (137Cs/\Sigma\beta_i)$ ,  $b_k = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n (137Cs/\Sigma\beta_i \cos kt_i)$ ,  
 $d_k = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n (137Cs/\Sigma\beta_i \sin kt_i)$  – оцінки параметрів динамічного ряду;  
 $k = \overline{1, m}$  – номер гармоніки;  $t_i$  – умовний аргумент, рад., що відповідає періодам реєстрації;  $n$  – об'єм досліджуваної вибірки;  $m$  – кількість оцінок параметрів апроксимуючої функції.

Апроксимуюча функція (1) обрана за критерієм мінімальної похибки апроксимації:

$$\sigma_{\text{анп}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (137Cs/\Sigma\beta_i - 137\widehat{Cs}/\Sigma\beta_i)^2}{n-m}} \quad (2)$$

де:  $137Cs/\Sigma\beta_i$  та  $137\widehat{Cs}/\Sigma\beta_i$  – результати вимірювань та оцінки за моделлю відповідно.

Оцінка якості моделювання виконувалась за допомогою наступних показників:

- критерій Фішера для перевірки адекватності моделі:

$$F_{\text{розр}(v_1, v_2)} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (137Cs/\Sigma\beta_i - 137\widehat{Cs}/\Sigma\beta_i)^2}{n-1} \right] : \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (137Cs/\Sigma\beta_i - 137\widehat{Cs}/\Sigma\beta_i)^2}{n-m} \right] \quad (3)$$

де:  $v_1 = n - 1$  та  $v_2 = n - m$  – число ступенів свободи;

- достовірність апроксимації:

$$R^2 = \frac{\sigma_{\text{мод}}^2}{\sigma_{\text{зар}}^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (137Cs/\Sigma\beta_i - 137\widehat{Cs}/\Sigma\beta_i)^2}{\sum_{i=1}^n (137Cs/\Sigma\beta_i - 137\widehat{Cs}/\Sigma\beta_i)^2} \quad (4)$$

- середня абсолютна відсоткова похибка MAPE (Mean Absolute Percentage Error) для визначення якості прогнозування:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|137Cs/\Sigma\beta_i - 137\widehat{Cs}/\Sigma\beta_i|}{\Sigma\beta_i} \times 100\% \quad (5)$$

Оцінка напівширини довірчого інтервалу прогнозу визначена як:

$$\Delta_{\Sigma\beta_{\text{пр}(j)}} = t_{\alpha} \sigma_{\text{анп}} \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(\Sigma\beta_{\text{пр}(j)} - \overline{\Sigma\beta})^2}{\sum_{i=1}^n (\Sigma\beta_i - \overline{\Sigma\beta_i})^2}} \quad (6)$$

де  $t_{\alpha}$  – коефіцієнт довіри згідно розподілу Стьюдента для даного  $n-m$

Результати моделювання радіаційної обстановки в системі «Байпас СВГ ОУ» надані на рисунку 1. Модель є адекватною за критерієм Фішера ( $F_{\text{розр}}=2,958 > F_{\text{кр}(\alpha=0,05; v=n-1=69)}=1,31$ ). Достовірність апроксимації становить  $R^2=75,01\%$ . Якість прогнозування є доброю (MAPE=11,23%).

Результати моделювання та прогнозування динаміки співвідношення  $^{137}\text{Cs}/\Sigma\beta$  у пробах аерозолі у приміщенні 304/3 за період з 01.02.2017 по 01.08.2021 рр. та прогнозування динаміки на період з 09.2021 по 08.2022 рр. надані на рисунку 2. Модель є адекватною за критерієм Фішера ( $F_{\text{розр}}=1,799 > F_{\text{кр}}(\alpha=0,05; v=n-1=45)=1,76$ ). Достовірність апроксимації становить  $R^2=64,84\%$ . Якість прогнозування є доброю ( $\text{МАРЕ}=22,79\%$ ).

Результати моделювання та прогнозування динаміки співвідношення  $^{137}\text{Cs}/\Sigma\beta$  у пробах аерозолі у приміщенні 210/7 за період з 01.02.2017 по 01.08.2021 рр. та прогнозування динаміки на період з 09.2021 по 08.2022 рр. надані на рисунку 3.



Рисунок 1 – Моделювання динаміки  $^{137}\text{Cs}/\Sigma\beta$  в системі «Байпас СВГ ОУ» з прогнозом до 07.2022 р.



Рисунок 2 – Моделювання динаміки співвідношення  $^{137}\text{Cs}/\Sigma\beta$  у пробах аерозолі з приміщення 304/3 з прогнозом до 08.2022 р.

Результати моделювання та прогнозування динаміки співвідношення  $^{137}\text{Cs}/\Sigma\beta$  у пробах аерозолі у приміщенні 012/15 за період з

01.02.2017 по 01.08.2021 рр. та прогнозування динаміки на період з 09.2021 по 08.2022 рр. надані на рисунку 4.



Рисунок 3 – Моделювання динаміки співвідношення  $^{137}\text{Cs}/\Sigma\beta$  у пробах аерозолі з приміщення 210/7 з прогнозом до 08.2022 р.

Модель є адекватною за критерієм Фішера ( $F_{\text{розра}}=1,851 > F_{\text{кр}}(\alpha=0,05; \nu=n-1=45)=1,76$ ). Достовірність апроксимації становить  $R^2=66,94\%$ . Якість прогнозування є задовільною ( $\text{MAPE}=24,65\%$ ).

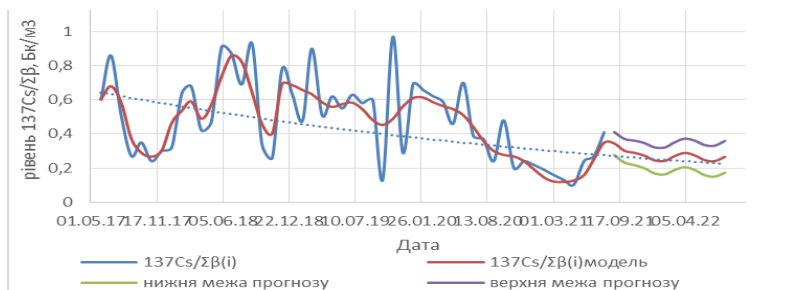


Рисунок 4 – Моделювання динаміки співвідношення  $^{137}\text{Cs}/\Sigma\beta$  у пробах аерозолі з приміщення 012/15 з прогнозом до 08.2022 р.

Отримані результати свідчать про можливість своєчасного виявлення динаміки змінення фізичного стану ЛПВМ у містах їхньої локалізації, що в свою чергу допоможе у визначенні пріоритетності виконання сценаріїв вилучення ПВМ під час перетворення ОУ на ЕБС.

## Література

1. Закон України «Про загальні засади подальшої експлуатації і зняття з експлуатації Чорнобильської АЕС та перетворення зруйнова-

ного четвертого енергоблока цієї АЕС на екологічно безпечну систему». Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1999, № 4, ст.33.

2. Закон України Про Загальнодержавну програму зняття з експлуатації Чорнобильської АЕС та перетворення об'єкта "Укриття" на екологічно безпечну систему (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2009, № 24, ст.300)

3. Перетворення об'єкта "Укриття" на екологічно безпечну систему: актуальність рекомендованого курсу дій / С.Ф. Сверчков, Д.А. Стельмах, Л.Є. Шумилова // Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля: наук.-техн. зб. 2017. Вип. 29. С. 62-68.

4. Lytvynov V., Stoianov N., Skiter I. Traffic Abnormalities Identification Based on the Stationary Parameters Estimation and Wavelet Function Detailization. *Mathematical Modeling and Simulation of Systems. MODS 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2019, vol 1019. Springer, Cham, p.83-95

УДК 004.5

## **ІНТЕРФЕЙС КОРИСТУВАЧА ТА ДОСВІД КОРИСТУВАЧА У ВЕБ-ДИЗАЙНІ**

Ю. Коваленко, М. Войцеховська

*Національний університет «Чернігівська політехніка», Україна*

Принципи дизайну є важливим аспектом веб-розробок. У наш час не можна применшувати важливість дизайну. Абсолютно все, що нас оточує, розроблено таким чином, щоб легко виконувати своє призначення, від простої ручки до складніших речей, таких як ноутбуки, і, насамперед, веб-сторінки. Одним із найпоширеніших способів використання Інтернету є веб-сайти. Це може бути веб-сайт електронної пошти, Facebook, веб-сайт ресторану з їх меню, сайт компанії або YouTube. І це лише мала частина у всесвіті сайтів. Сьогодні ми можемо робити будь-що в Інтернеті, включаючи спілкування з друзями, покупки, роботу, перегляд фільмів, ігри, дослідження тощо. Тому дуже важливо дотримуватися стандартів дизайну [1]. Прогнози розвитку UX/UI на найближчі 15-20 років:

- Як експериментальна (гештальт) психологія була/буде залучена до розробки інтерфейсів користувача.
- Технології та розвиток мозку – як екрани впливають на мислення користувачів.
- Цикли впровадження технологій – які інтерфейси можуть існувати (спекулятивний дизайн)
- Налаштування UX/UI – спеціалізований інтерфейс для спеціалізованих професій (наприклад: хірургів, механіків електромобілів, 3D-принтерів/архітекторів, сантехніків/техніків).
- Зворотній зв'язок даних та інтерфейси керування штучним інтелектом.
- Майбутнє евристики – як UX/UI оцінює себе.
- Доповнений інтерфейс (AR/VR/VUI/SUI тощо).
- Зміна користувачів: довіра + технології.
- Проектування досвіду ШІ: Штучний інтелект все частіше використовується в програмних продуктах і буде зростати. Взаємодія з програмним забезпеченням на основі штучного інтелекту принципово відрізняється для користувачів, ніж це було раніше. На що потрібно звернути увагу, розробляючи сервіси на основі ШІ.
- UX дизайн для вразливих спільнот. Це стосується того, як дизайн може бути реалізований з особливим акцентом на користувачів, які мають обмежені можливості. Це може включати темні візерунки в дизайні, а також упередження в дизайні продуктів, які (несвідомо) виключають доступу певних груп до цих продуктів.
- Проектування для стійкості. У світлі зміни клімату та глобальних епідемій цікавим викликом для дизайнерів на найближчі десятиліття є тема сталого дизайну. Сталій дизайн націлений зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, а також здоров'я та комфорт мешканців будівлі, тим самим покращуючи ефективність будівлі. Основними цілями сталого розвитку є зменшення споживання невідновлюваних ресурсів, мінімізація відходів і створення здорового, продуктивного середовища [2].

Доступний дизайн для користувачів з обмеженими можливостями. Зробити Інтернет доступнішим для користувачів з різними обмеженими можливостями – значною мірою питання використання HTML так, як він і був задуманий: для кодування сенсу, а не зовнішнього вигляду. Поки сторінка закодована за змістом, альтернативні браузерери можуть

подати цей контент способами, оптимізованими під можливості окремих користувачів, що полегшує використання Інтернету.

Перш ніж обговорювати труднощі, з якими користувачі з обмеженими можливостями можуть зіткнутися при доступі до веб-інформації, слід зазначити, що онлайн-інформація має багато переваг у порівнянні з друкованою інформацією: людям з поганим зором легко збільшити розмір шрифту, а перетворення тексту на голосовий сигнал для сліпих користувачів можна реалізувати саме з онлайн-текстом, а не з друкованим документом. Дійсно, багато користувачів з обмеженими можливостями завдяки комп'ютерам можуть виконувати завдання, які б були для них важкими при використанні традиційних технологій.

Порушення зору. Найбільш серйозні проблеми з доступністю, враховуючи нинішній стан Інтернету, пов'язані зі сліпими користувачами та користувачами з іншими порушеннями зору, оскільки більшість веб-сторінок є візуальними. Наприклад, досить часто можна побачити комбінації кольорів фону та переднього плану, які роблять сторінки практично неможливими для читання дальтоніками.

Текстові сторінки легко доступні для незрячих користувачів, оскільки текст можна передати програмі читання з екрану. Довгі сторінки проблематичні, тому що сліпому користувачеві важче знайти потрібну інформацію на сторінці, аніж зрячому. Для полегшення сканування слід суворо дотримуватися семантиці, що закладена у гіпертекстову мову розмітки. виділити структуру сторінки відповідною HTML-розміткою: використовуйте <H1> для заголовка найвищого рівня, <H2> для основних частин інформації всередині <H1> та <H3> і нижчі рівні ще більш тонкого поділу інформації. Таким чином, сліпий користувач може отримати загальне уявлення про структуру сторінки, прочитавши вголос <H1> і <H2> і може швидко пропустити нецікавий розділ, попросивши програму читання з екрана перейти до наступного нижчого рівня.

Більшість людей вже знають про використання атрибутів ALT для надання альтернативного тексту зображенням, хоча багато веб-сторінок все ще не мають ALT. Деякі фахівці з доступності виступають за так звані описані зображення, де текст надається для словесного опису того, що побачить зрячий користувач. Наприклад: для чого призначене зображення і що станеться, якщо по ньому клацнути.

Окрім повністю сліпих користувачів є багато користувачів, які мають слабкий зір. Цим користувачам зазвичай потрібні великі шрифти, що є стандартною функцією більшості веб-браузерів. Щоб підтримати цих користувачів, рекомендують виключити з практики кодування інформації абсолютними розмірами шрифту, а натомість використовувати

вати відносні розміри. Наприклад, при використанні таблиць стилів не задавати для font-size атрибута кількість точок або пікселів, а задавати його у відсотках від розміру шрифту за замовченням. Таким чином, текст збільшуватиметься або зменшуватиметься у міру того, як користувач вводить команди «збільшення тексту» або «зменшення тексту», і початковий вигляд сторінки буде відповідати перевагам користувача.

Повна підтримка користувачів з ослабленим зором вимагає, щоб сторінки однаково добре виглядали за всіх розмірів шрифту. Це часто є недоцільним, і може бути прийнятним поступитися естетичними елементами сторінки на користь збереження доступності при великих розмірах шрифту на базі основного макету сторінки. Рекомендується протестувати сторінки зі стандартними шрифтами розміром 10, 12 і 14 пікселів, щоб переконатися, що дизайн оптимальний для цих поширених розмірів шрифту, а потім виконати додаткові перевірки зі шрифтами за замовчуванням розміром 18 і 24, щоб переконатися, що дизайн як і раніше працює для цих розмірів, що підвищують доступність.

Слухові порушення. Глухі люди або люди з іншими порушеннями слуху рідко мають проблеми в Інтернеті, оскільки звукові ефекти зазвичай не мають сенсу. Юзабіліті сайту майже завжди залишається тією самою, коли звук відсутній. Але мають бути доступні розшифровки розмовних аудіокліпів, а відео мають бути доступні у версіях із субтитрами (що також принесе користь користувачам, які не є носіями мови, використаної у відео).

Рухові порушення. Багато користувачів мають труднощі з деталізованими рухами миші, а також можуть мати проблеми з одночасним натисканням кількох клавіш клавіатури. Більшість з цих проблем повинні бути вирішені шляхом поліпшення дизайну браузеру і не повинні стосуватися дизайнерів контенту, за винятком поради не створювати зображень/кнопок, які вимагають надзвичайно точного позиціонування миші. Зображення та блоки на стороні клієнта працюватимуть навіть для користувачів, які взагалі не вміють користуватися мишею: браузер повинен мати можливість переміщатися за посиланнями під керуванням клавіатури.

Когнітивні порушення. Люди розрізняються за своїми навичками просторового мислення та короткочасної пам'яті. Програмісти та графічні дизайнери зазвичай отримують надзвичайно високі бали в тестах на просторове мислення і, отже, добре візуалізують структуру веб-сайту. Так само молоді люди (тобто більшість веб-дизайнерів) напевно краще запам'ятовують малозрозумілі коди (наприклад, URL), ніж люди старшого віку. Можна впевнено припустити, що більшості користувачів буде набагато важче орієнтуватися на веб-сайті, ніж його творцям.

Спрощена навігація допомагає всім користувачам, але є обов'язковим фактором для користувачів, що знаходяться на протилежному кінці шкали. Людям, які мають труднощі з візуалізацією структури інформації, можна допомогти, якщо дизайнери сайту підготували для них таку візуалізацію у вигляді карти сайту; ще більшу користь принесла б можливість браузера автоматично генерувати карти сайту, вказавши шлях навігації та розташування поточної сторінки.

У користувачів з дислексією можуть виникнути проблеми з читанням довгих сторінок. Їм допоможе, якщо дизайн полегшить перегляд за рахунок правильного використання заголовків, як зазначено вище. Вибір слів з високою інформативністю як гіпертекстові прив'язки допоможе цим користувачам, а також користувачам зі сліпотою.

Більшість інтерфейсів пошуку вимагають, щоб користувач вводив ключові слова як умови пошуку. Користувачі з порушеннями правопису (і користувачі, які погано знають мову), часто не зможуть знайти те, що їм потрібно, поки потрібне ідеальне написання запити. Сучасні пошукові сервіси пропонують вирішення цієї проблеми двома шляхами. Перша ідея полягає у підключенні сервісу перевірки орфографії. Другий варіант – розширений пошук інформації, такий як пошук за прикладами та пошук за подібністю (пошук за зображеннями), також можуть допомогти цим користувачам (і в той же час буде корисною функцією для всіх у цілому) [3].

Базовий принцип дизайну веб-сторінок залишається незмінним: контент – головне, естетика – другорядне. Завдяки належній увазі до особливостей взаємодії користувачів з певними потребами врешті-решт з'являються нові технології, які швидко набувають популярності і серед масових споживачів веб.

## Література

1. The user interface and user experience of Web Design [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1217480/FULLTEXT01.pdf> – Назва з екрану.
2. Sustainable Design | GSA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <https://www.gsa.gov/real-estate/design-and-construction/design-excellence/sustainability/sustainable-design#:~:text=Sustainable%20design%20seeks%20to%20reduce.and%20create%20healthy%2C%20productive%20environments> – Назва з екрану.
3. Accessible Design for Users With Disabilities [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL:

УДК 004.942:621.039.7

## **РОЗРОБКА SAFRAN-МОДЕЛІ ОПЕРАЦІЙ ПОВОДЖЕННЯМ З РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ НА ПУНКТИ ЗАХОРОНЕННЯ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ «БУРЯКІВКА»**

С.В. Купріячук, С. В., Є.А.Меньшенін

*Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Кірова 36а, Чорнобиль, 07270, Україна*

Питання забезпечення радіаційної безпеки персоналу, населення та навколишнього середовища при поводженні, захороненню з радіоактивними відходами (РАВ) завжди актуальні. Це підтверджується нормами, правилами та стандартами з ядерної та радіаційної безпеки [1]. Розробка звіту з аналізу безпеки (ЗАБ) дозволяє оцінити потужність дози, яку може отримати персонал при захороненні РАВ, а також мінімізувати ризики опромінення персоналу та населення при виникненні аварійних ситуацій шляхом використання сучасного програмного забезпечення. На даний час у зоні відчуження експлуатується один з пунктів захоронення РАВ – пункт захоронення радіоактивних відходів (ПЗРВ) «Буряківка». На період 2004 року на ПЗРВ «Буряківка» захорено приблизно 600 тис.м<sup>3</sup> РАВ в 30 траншеях. Проект реконструкції ПЗРВ «Буряківка» передбачає захоронення 120000 м<sup>3</sup> РАВ в шести нових траншеях.

Метою цієї роботи є оптимізація схеми захоронення шляхом створення моделі операцій поводження з РАВ, що поступають на захоронення ПЗРВ «Буряківка». Для проведення оцінки безпеки об'єктів поводження з радіоактивними відходами (РАВ) використовують програмний комплекс Safran [2]. Виходячи з описання операцій поводження з РАВ та інфраструктури об'єкта проводиться аналіз впливу випромінювання на персонал. З отриманих даних можливо спрогнозувати опромінення персоналу, використання класу захисту, час проведення операцій та інше.

Структурною одиницею моделювання діяльності на об'єкті в програмі Safran являється «ділянка». Для створення моделі ПЗРВ «Буряківка» ключовими «ділянками» в яких виконується поводження з РАВ є:

- Пункт автоматизованого контролю РАВ – ділянка А;
- Дороги для транспортування РАВ – ділянка Б;
- Поверхневі траншеї для зберігання ТРВ – ділянка В;
- Пункт дезактивації спецтранспорту – ділянка Г.

Розміщення зон представлено на рис. 1

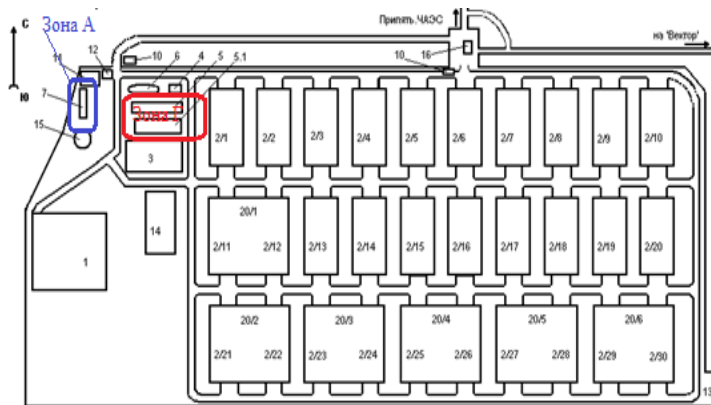


Рисунок 1. Розміщення зон поводження з РАВ на ПЗРВ «Буряківка»

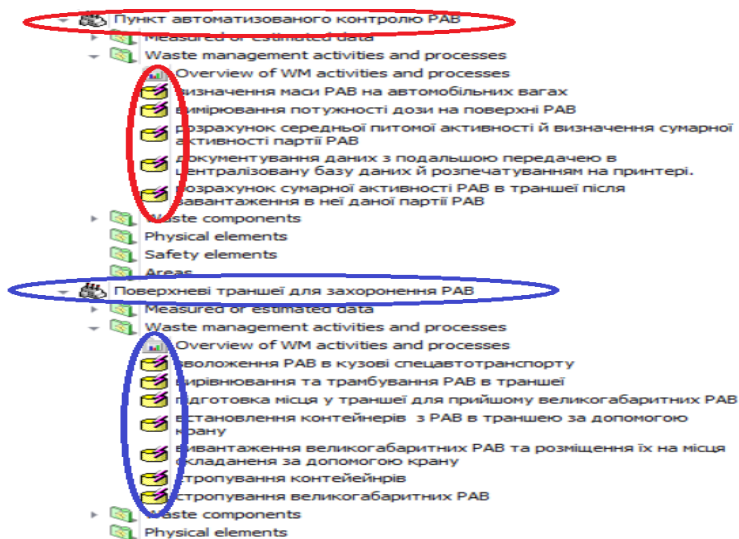


Рисунок 2. Структурна схема операцій на конкретній ділянці

Описання партій РАВ в програмі Safran виконуються за допомогою оператора «Incoming waste». Основними характеристиками задавання відходів є їхній тип, радіонуклідний склад джерел випромінювання та їхня активність (рис.3)

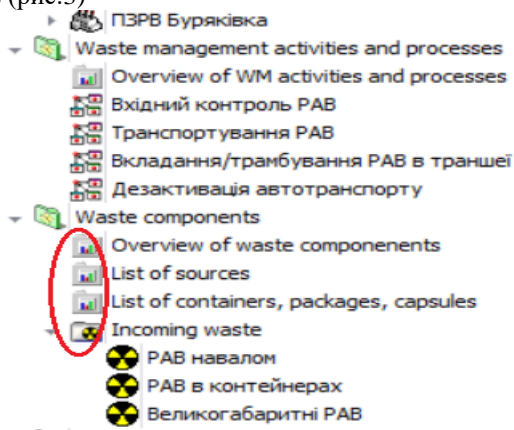


Рисунок 3. Описання в моделі параметрів радіоактивних відходів

На наступному кроці моделювання проводиться аналіз безпеки при виконанні штатних операції по захороненню РАВ в траншею. Метою даного аналізу є розрахунок потужності дози, яку отримує оператор на кожному етапі робіт та накопичена доза за весь час роботи. В даній частині водяться оператори в вигляді Endpoints (рис. 4).

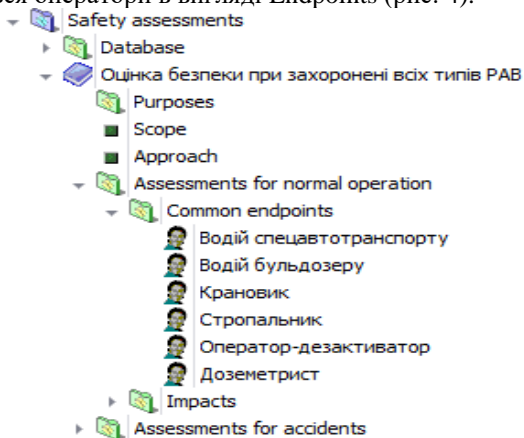


Рисунок 4. Введення в модель операторів, які виконують роботи

Формування структури впливів іонізуючого випромінювання на персонал проводиться за допомогою оператора «dose assessment» (рис.5).

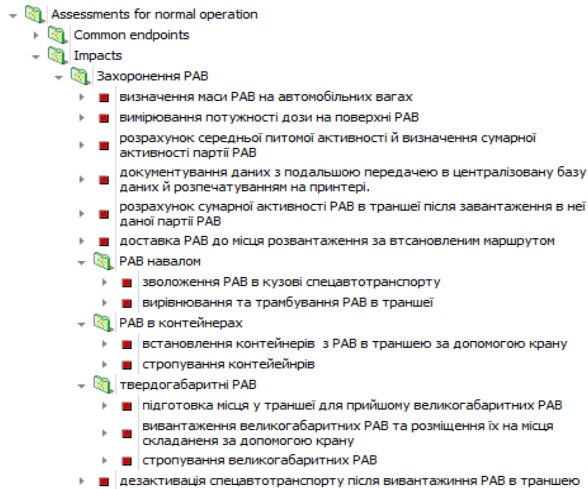


Рисунок 5. Формування структури впливів

Таким чином створена модель поводження з РАВ на ПЗРВ «Буряківка» дозволить провести аналіз безпеки при поводженні з РАВ, а саме оцінити дозовитрати персоналу, оптимізувати схему поводження з РАВ при захороненні та оцінити можливості мінімізації отриманої дози на персонал при поводженні з цими РАВ. Дане моделювання аналізу безпеки можливо використовувати на всіх об'єктах де здійснюються операції з поводженням та захороненням РАВ.

## Література

1. Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку»
2. <http://safran.facilia.se/safran/show/HomePage>
3. ЗАБ реконструкція пункту захоронення радіоактивних відходів «Буряківка». Чорнобиль. 2005 р.
4. Оценка воздействия на окружающую среду. Корректировка проекта реконструкции пункта захоронения радиоактивных отходов "Буряковка".-Т. 4.- Кн. 1.- Желтые Воды: НТЦ КОРО, 2003. – 87 с.

5. Radiation Safety Standards of Ukraine. Addendum: Radiation Protection from the Sources of Potential Exposure, NRB-97/D-2000, Kiev, 2000.

6. Rudko, V.M., V.G. Baty: Safety Analysis Report for reconstruction of RWDF Buryakovka. National Academy of Sciences of Ukraine, NPP Safety Problems institute (ISP NPP), 2005.

УДК 004.91:004.432

## **РЕБРЕНДИНГ САЙТУ ВИЩОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ**

Агієнко М.Ю., Неруш К.Ю., Трунова О.В.

*Національний університет «Чернігівська політехніка», Україна*

Сучасні вищі навчальні заклади мають необхідність створення позитивного сприйняття своєї організації. Для створення позитивного іміджу ВНЗ застосовують популярний засіб маркетингу – ребрендинг. Ребрендинг – управлінський процес, який спрямований на створення, оновлення та розвиток важливих матеріальних та нематеріальних характеристик університету (кафедри), які дозволять йому бути загальним і відзначитись серед подібних собі на ринку освітніх послуг [1]. Актуальність перетворення сайту полягає у тому, що це найшвидший спосіб донести інформацію до великої кількості людей.

У боротьбі за лідерство на ринку освітніх послуг зможе перемогти той ВНЗ, який прикладе найбільше зусиль по залученню потенційної аудиторії. У сучасних реаліях освітні сайти є популярними серед представників педагогічної та учнівської аудиторії, вони виступають візитною карткою для абітурієнтів, здобувачів вищої освіти, аспірантів, стейкхолдерів, ЗМІ та інших груп громадськості. Веб-ресурс дозволяє подати інформацію про університет (кафедру) та його підрозділи стисло і одночасно повноцінно. Ребрендинг сайту дозволяє підвищити якість освітнього процесу, підняти рейтинг успішності університету (кафедри), збільшити престиж вищого навчального закладу.

Для оцінки функціональних можливостей, створеного у 2020 році, веб-ресурсу кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії НУ «Чернігівська політехніка» було проведено анкетування серед 150 здобувачів вищої освіти. Зокрема, результати відвідувань показують, що найбільший відсоток візитів – один раз на місяць, на

другому місці — щотижня, на третьому місці – щодня. При відповіді на запитання «На вашу думку, чого не вистачає на сайті?» більшість здобувачів вищої освіти відповіли, що хотіли б бачити насамперед навчальні матеріали, потім розклад, на третьому місці – бланки заяв та інформацію щодо проведення заходів.

Також студенти запропонували додати:

- пошук по сайту;
- зворотний зв'язок із розробником, щоб була можливість давати ідеї апгрейду на розгляд.

Аудит сайту, проведений наприкінці 2021 року, показав, що версія сайту адаптована під користувача та користується популярністю і тому не потребує суттєвих змін (див. рис. 1).

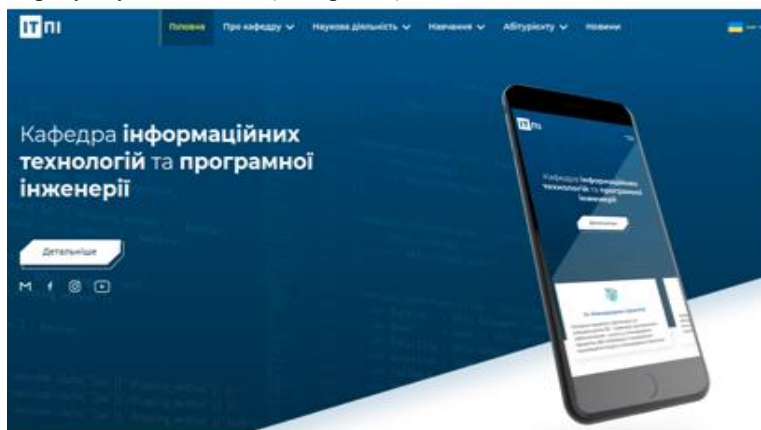


Рисунок 1 – Веб-ресурс кафедри «Інформаційних технологій та програмної інженерії»

Етап аудиту веб-ресурсу показав, що сайт потребує незначних перетворень таких як:

- визначення тактики та стратегії процесу ребрендингу;
- створення нового позиціонування основних складових;
- підвищення лояльності сайту;
- більш активний доступ у соціальні мережі.

На основі проведеного аналізу розроблено стратегію та тактику ребрендингу:

- збільшення частки реклами;
- збільшення відвідуваності сайту;

- робота із соціальними мережами;
- здійснення своєчасної підтримки оновлень;
- моніторинг тенденцій дизайну та новинок, що з’являються;
- підтримка цільової аудиторії.

Визначені способи просування сайту та основні канали залучення відвідувачів [2]:

- пошукова оптимізація.
- контекстна реклама.
- медійна реклама.
- партнерські програми.
- використання відеореклами та мобільної реклами.

Проведено бета-тестування, яке вже на початковому етапі показало, що відвідуваність сайту збільшилась.

Веб-ресурс кафедри ІТПІ НУ «Чернігівська політехніка» необхідно розвивати та підтримувати, збільшувати конверсію та своєчасно поповнювати інформацією. Добре організована структура сайту допоможе охопити різні категорії користувачів, що значно підвищить популярність ресурсу. Для підвищення лояльності сайту рекомендовано використовувати контекстну і банерну рекламу і організувати більш активну взаємодію з соціальними мережами.

## Література

1. Aaker, D. A. (1991). *Managing brand equity*, New York: The Free Press
2. Агієнко М.Ю., Неруш К.Ю., Трунова О.В. Аналіз чинників, що впливають на просування та позиціонування сайту кафедри закладу вищої освіти Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС 2021: тези доповідей Шістнадцятої міжнародної науково-практичної конференції (28 червня – 01 липня 2021 р., м. Чернігів) / М-во освіти і науки України ; Нац. Акад. наук України ; Академія технологічних наук України ; Інженерна академія України та ін. – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2021. С. 64-67. URL: <http://ir.stu.cn.ua/bitstream/handle/123456789/23388/%D0%9C%D0%9E%D0%94%D0%A1%202021V.5%2020.08.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## 3D-МОДЕЛЬ РАДІОАКТИВНОСТІ ОБ'ЄКТУ «УКРИТТЯ»

М.В.Савельєв<sup>1,2</sup>, М.А.Пантін<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Інститут проблем безпеки АЕС НАН України*

<sup>2</sup>*Інститут проблем математичних машині систем НАН України*

Високий рівень радіації та обмеження безпеки під час проведення робіт на об'єкті «Укриття» (ОУ) не дають можливості використовувати сучасні підходи та методи оцінки просторового гамма-випромінювання. Водночас така інформація є надзвичайно важливою для планування робіт з демонтажу нестабільних конструкцій ОУ та доступу до паливних матеріалів всередині саркофагу [1].

В роботі представлений алгоритм для радіаційного картографування та його використання для просторової оцінки гамма-випромінювання від ОУ – саркофага над 4-м енергоблоком Чорнобильської Атомної Електростанції.

Робота алгоритму базується на запропонованому підході до просторової оцінки гамма-випромінювання на основі масивів даних, отриманих під час введення в експлуатацію Нового Безпечного Конфайнменту (НБК). Вимірювальна система створена на базі промислового детектора БДБГ-09, забезпечує вимірювання в діапазоні від 0,05 мкЗв/год до 10 Зв/год із відносною похибкою  $\pm 17\%$  та широко застосовується в атомній енергетиці України [2].

Методика обробки отриманих експериментальних даних наступна:

- прямокутний відрізок у досліджуваній площині був розбитий на квадрати зі стороною 1 метр;
- кожному квадрату присвоєні координати  $(x,y)$ , що відповідають цільній кількості метрів від початку координат;
- якщо детектор знаходився над деяким квадратом в координатах  $(x,y)$  одного або декількох часових інтервалів  $t_i$  — то потужність експозиційної дози (ПЕД) для цього квадрата  $(S_{xy})$  визначалася як середнє арифметичне вимірювання детектора при об'єднанні всіх зазначених вище часових інтервалів інтервали.

**Геометрична 3D-модель радіоактивності ОУ.** ОУ моделюється набором точкових джерел з кроком 1 метр, що розташовані на його

зовнішній оболонці. Ніякі внутрішні джерела чи інша доступна інформація не використовуються. Потік фотонів, що досягають «детектора» від кожного точкового джерела, моделювався за законом зворотних квадратів відстані.

У спрощеній моделі активність точкового джерела, виміряна датчиком  $S_j$  в координатах  $(x, y)$  виражена як (1)

$$S_j = \sum_{i=1}^n a_{ij} * x_i + \varphi_j \quad (1)$$

де  $x_i$  – активність в точці  $i$ ,  $a_{ij}$  – коефіцієнт спадання, пропорційний відстані між датчиком  $S_j$  та точкою  $x_i$ ,  $\varphi_j$  – похибка вимірювання  
Графічно процес моделювання радіоактивності ОУ представлений на рис.1

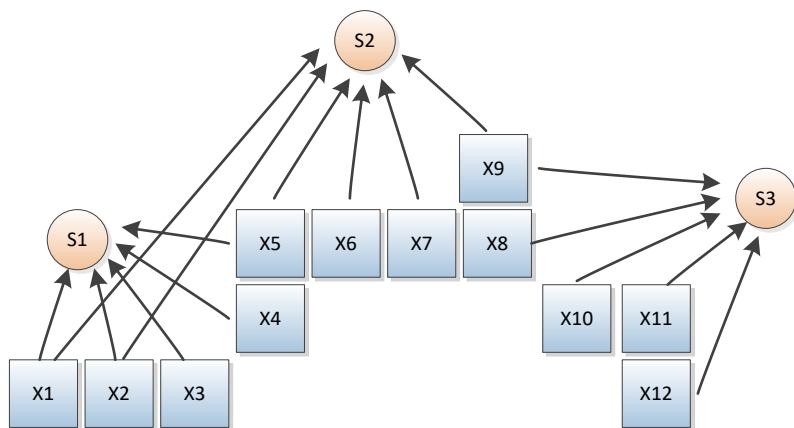


Рисунок 1. Спрощена модель випромінювання від об'єкта «Україна».

Тоді для всіх «віртуальних детекторів» та всіх точкових джерел, що моделюють ОУ, може бути побудована недовизначена система лінійних рівнянь (2) із обмеженнями (3).

$$\begin{cases} S_1 = \sum_{i=1}^n a_{i1} * x_i + \varphi_1 \\ \dots \\ S_j = \sum_{i=1}^n a_{ij} * x_i + \varphi_j \\ \dots \\ S_m = \sum_{i=1}^n a_{im} * x_i + \varphi_m \end{cases} \quad (2)$$

$$\forall i \in (1, n), j \in (1, m) | V_{min} < x_i < V_{max}, a_{ij} > 0, \quad (3)$$

де  $V_{max}$  і  $V_{min}$  максимальна та мінімальна практична потужність дози в реальній системі.

Таким чином, побудова карти гамма-випромінювання зводиться до знаходження деякого наближення до розв'язання цієї системи рівнянь із практичною точністю.

**Алгоритм реалізації моделі.** Моделювання проводилось за наступними кроками алгоритму:

1. Формування вектору  $(x'_1, \dots, x'_i, \dots, x'_n)$  як сукупності показників
2. Обчислення відстані між векторами  $(S_1, \dots, S_j, \dots, S_m)$  та  $(y'_1, \dots, y'_i, \dots, y'_m)$ , де  $y'_j = \sum_{i=1}^n a_{ij} * x'_i$ .
3. Оцінка векторів показників. Вектор  $(x'_1, \dots, x'_i, \dots, x'_n)$  буде "кращим", чніж  $(x''_1, \dots, x''_i, \dots, x''_n)$  якщо відстань між векторами  $(S_1, \dots, S_j, \dots, S_m)$  і  $(y'_1, \dots, y'_i, \dots, y'_m)$  буде менше, ніж відстань між векторами  $(S_1, \dots, S_j, \dots, S_m)$  і  $(y''_1, \dots, y''_i, \dots, y''_m)$ .

**Результати моделювання.** На рис. 2 показано результат 7000 ітерацій описаного вище алгоритму. Візуалізація виконана за допомогою бібліотеки 3D-візуалізації Mayavi для мови Python [3].

Кожне змодельоване точкове джерело на оболонці об'єкта «Укриття» представлене у вигляді віртуальних кубів з ребром 1 м. Колір куба відображає значення активності в діапазоні від синього до червоного.

Віртуальні датчики представлені як сфер умовного діаметра 0,75 м. Колір сфери також кодується в діапазоні від синього до червоного. Якість роботи запропонованого алгоритму оцінювалося шляхом порівняння окремих відомих значень активностей  $S_j$ , виміряних датчиком в координатах  $(x, y)$  з оцінками активності  $\hat{S}_j$ , отриманими за допомогою алгоритму, а також масиви вимірювань та їх оцінки.

Як показники якості масивів значень активності використовувалися: похибка апроксимації  $\sigma_{approx}$ , середня абсолютна процентна помилка MAPE, достовірність апроксимації  $R_{S_j, \hat{S}_j}^2$  [4].

Результати аналізу алгоритму показують, що зі збільшенням числа ітерацій надійність апроксимації зростає. Це корелює значення помилки MAPE, значення якої зменшується зі збільшенням числа ітерацій алгоритму.

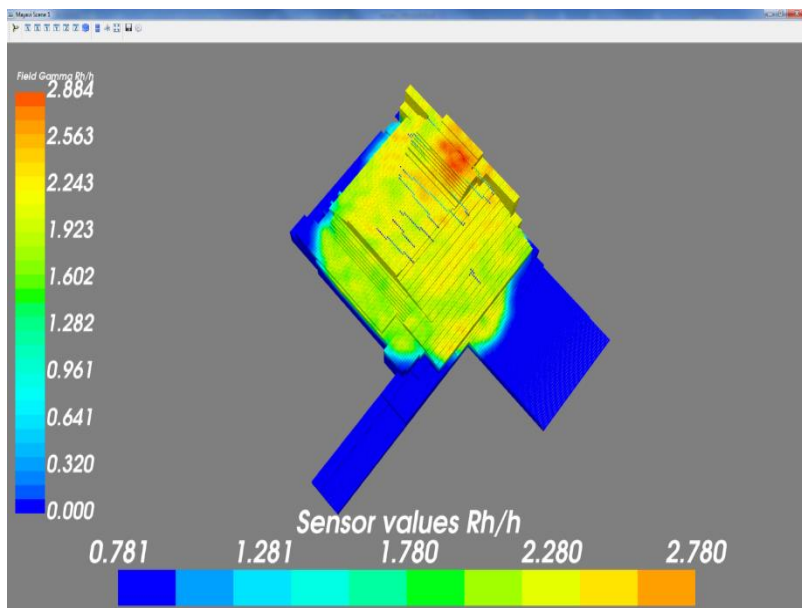


Рис. 2. Візуалізація результату 7000 ітерацій запропонованого еволюційного алгоритму реконструкції радіаційної карти об'єкта «Укриття».

## Література

1. В. В. Єгоров, Л. І. Павловський, О. І. Стоянов, Д. В. Федорченко Проблемні питання в дослідженні радіаційної обстановки під час реалізації проєктів на об'єкті «Укриття» та шляхи їх вирішення. Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля, 2017, вип. 29, с.85-90.
2. <http://ecotest.ua/products/bdbg-09/>
3. <https://mayavi.readthedocs.io/en/latest/>
4. V.Lytvynov, N.Stoianov, I.Skiter. Synthesis of Immune and Neural Network Algorithms in System of Detection of Non-Standard Behaviour of Information Networks / 9th International IEEE Conference «Dependable Systems, Services & Technologies DESSERT 2018, Ukraine, Kyiv, May 24-27, 2018.

## **БІЗНЕС-ЛОГІКА ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ СТАРІННЯМ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО СХОВИЩА ВІДПРАЦЬОВАНОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА**

Скітер І.С., Рудько В.М.

*Інститут проблем безпеки АЕС НАН України*

Централізоване сховище відпрацьованого ядерного палива (ЦСВЯП) призначене для зберігання протягом 100 років 12010 відпрацьованих тепловидільних збірок (ВТВЗ) реакторів ВВЕР-1000 та 4519 ВТВЗ реакторів ВВЕР-440 Рівненської, Хмельницької і Південно-Української АЕС [1]. Зберігання відпрацьованого ядерного палива у ЦСВЯП передбачено реалізувати за технологією «сухого» зберігання компанії Holtec International [2]

Протягом життєвого циклу конструкції, системи і елементи (КСЕ) ЦСВЯП будуть зазнавати залежних від часу змін, а саме фізичного старіння КСЕ, яке призведе їх до деградації та морального старіння КСЕ, тобто їх старіння в порівнянні з сучасними знаннями, нормами і технологіями.

Управління старінням КСЕ ЦСВЯП повинно передбачати реалізацію комплексу організаційних, технічних і експлуатаційних заходів, здійснюваних з метою виявлення ефектів старіння і утримання в прийнятних межах деградації КСЕ внаслідок старіння. Ефективне управління старінням повинно здійснюватися шляхом розробки, впровадження і координації відповідних програм з технічного обслуговування, експлуатаційного контролю і нагляду, технічної підтримки, наукових досліджень і розробок [3].

### **1.1 Загальна функціональна модель**

Концептуальна IDEF-модель бізнес-процесу «Програма управління старінням ЦСВЯП» представлена на рисунку 1. Вхідною інформацією для системи є масиви даних про стан конструкцій, систем та елементів (КСЕ) централізованого сховища відпрацьованих ядерних відходів (ЦСВЯП), які підлягають аналізу. Керуючими елементами системи є нормативна документація, міжнародні стандарти в галузі контролю стану ВЯП та нормативні заходи реалізації політики управління старінням. В ролі механізмів керування розробкою системи (програми) управління старінням ЦСВЯП виступають механізми моніторингу та

аналізу процесів, методи моніторингу станів, методи контролю процесів та станів ЦС ВЯП.

На виході система повинна надати звіти про поточний та прогнозний стани КСЕ ЦСВЯП та на їх основі – плани та карти заходів, протоколи «прийняття рішень».

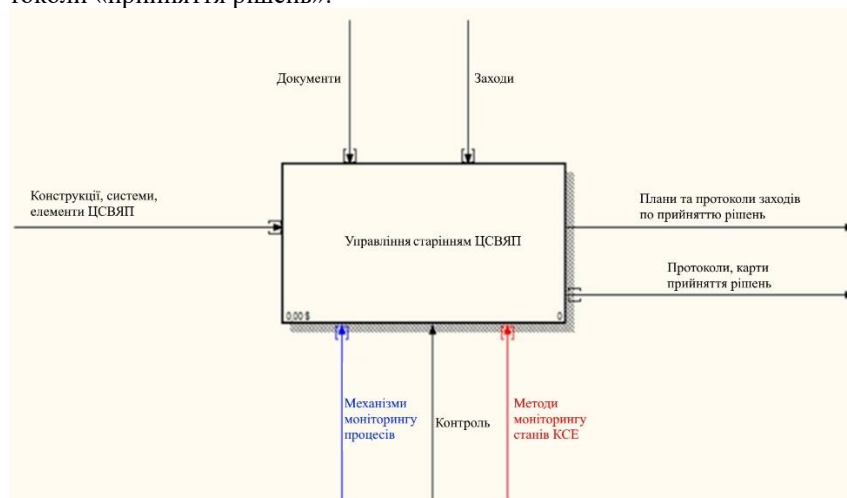


Рисунок 1 – Функціональна модель бізнес-процесу верхнього рівня «Управління старінням ЦСВЯП»

## 1.2 Функціональна модель бізнес-процесу управління старінням ЦСВЯП

В результаті структуризації загальної задачі, представленої на рис.1 (материнська діаграма А0), розроблена діаграма декомпозиції А1, яка включає в себе 5 основних робіт (рис.2):

- 1) Збір і систематизація даних;
- 2) Вивчення і моніторинг процесів;
- 3) Розробка заходів стримання деградації;
- 4) Управління старінням ЦС ВЯП;
- 5) Стандартизація процесів.

### 1.2.1. Збір і систематизація даних

Основна мета роботи – формування масивів даних про стан КСЕ ЦСВЯП. Вхідними даними для процесу збору і систематизації даних є інформація про параметри КСЕ двох типів: КСЕ до яких є безпосередній доступ та КСЕ без доступу. Збір даних проводиться методами оці-

ни дефектів та пошкоджень ( для КСЕ з доступом) та методами непрямого аналізу/моделювання (для КСЕ без доступу).

Управління процесом збору даних регламентується (проводиться на основі) проектно-конструкторської документації, програм оцінки технічного стану, звітів контролю, паспортів та інструкцій.

В результаті на виході роботи «збір та систематизація даних» отримуємо дві бази даних - БД1 та БД2 параметрів станів КСЕ з доступом та без доступу.

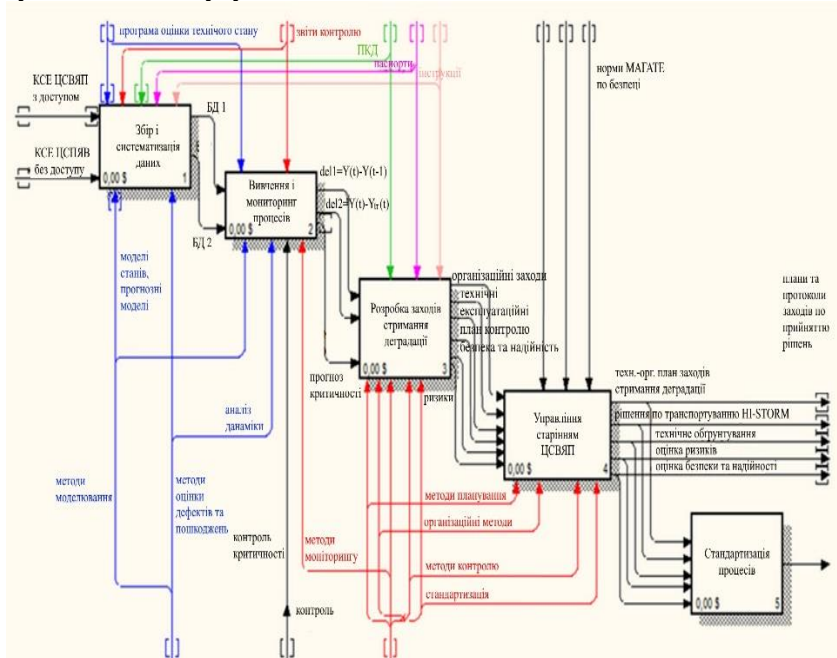


Рисунок 2.- Функціональна модель другого рівня «Управління старінням ЦСВЯП»

### 1.2.2. Вивчення і моніторинг процесів

Основна мета роботи – аналіз станів КСЕ. Вхідною інформацією для підсистеми є бази даних про КСЕ різного типу, отримані на попередньому етапі. Основні методи, які використовуються в процесі виконання роботи «вивчення та моніторинг процесів» - методи аналізу та моделювання: моделі станів, прогнозні моделі, моделі динаміки. Крім того, для реалізації наступних робіт, на поточному етапі застосовуються процедури (методи) контролю критичності та методи моніторингу

КСЕ. Управління процесом моніторингу регламентується програмами оцінки технічного стану та звітами контролю, які проводяться разом з процесом збору та систематизації даних про КСЕ.

На виході підсистеми в результаті реалізації вказаних способів управління та механізмів аналізу вхідної інформації отримуємо статичні та динамічні характеристики параметри станів КСЕ та, на їх основі, статичні та прогнознi значення їх критичності.

#### *1.2.3. Розробка заходів стримування деградації*

Основна мета роботи – формування комплексу заходів для упередження, стримування та ліквідації наслідків деградації КСЕ ЦСВЯП

Вхідною інформацією для реалізації вказаної мети є оцінки станів та оцінки критичності КСЕ, сформовані на попередньому етапі. За допомогою організаційних методів, методів контролю, планування, моніторингу та стандартизації проводиться розробка комплексу заходів стримування деградації в залежності від наборів станів КСЕ та ступеню їх критичності. Управління процесом розробки заходів регламентується ПКД, паспортами та інструкціями тощо. В результаті, на виході підсистеми тримаємо організаційні, технічні, експлуатаційні заходи по протидії деградації КСЕ, заходи забезпечення безпеки та надійності, оцінки ризиків.

#### *1.2.4. Управління старінням ЦСВЯП*

Мета роботи – формування планів заходів та протоколів прийняття рішень. Входи - організаційні, технічні, експлуатаційні заходи по протидії деградації КСЕ, оцінка безпеки та надійності (заходів), оцінка ризиків. Управління процесом проводиться за допомогою організаційних методів, методів контролю, планування, моніторингу та стандартизації

На виході отримуються плани та карти заходів, протоколи «прийняття рішень», які включають в себе техніко-організаційні заходи стримування деградації, рішення про поведінку з HI-STORM, технічні обґрунтування, оцінки безпеки та надійності прийняття рішень.

Процес моніторингу процесів старіння повинен здійснюватися з використанням методів неруйнівного контролю, де це можливо. У іншому випадку повинна виконуватись прогнозна оцінка ефектів старіння за допомогою комп'ютерного моделювання процесів старіння, а також на основі існуючих досліджень процесів старіння КСЕ для аналогічних об'єктів. Таким чином представлена бізнес-логіка процесу

управління старінням дає змогу впорядкувати процес та отримати адекватні поставленим задачам результати.

## Література

1. Про затвердження Вимог безпеки під час поводження з ядерним паливом/ Державна інспекція ядерного регулювання України, наказ 21.06.2019 № 269
2. <https://holtecinternational.com/communications-and-outreach/faqs/>.
3. Об'єкт «Укриття» в умовах нового безпечного конфайнмента / В. О. Краснов, А. В. Носовський, С. А. Паскевич, В. М. Рудько ; під заг. ред. А. В. Носовського. — Чорнобиль : ІПБ АЕС НАН України, 2021. — 344 с.

УДК 621.039.7

### **МЕТОДИКА ПОРІВНЯЛЬНОГО АНАЛІЗУ СЦЕНАРІЇВ ПОЕТАПНОГО ВИЛУЧЕННЯ ПАЛИВОВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ З ОБ'ЄКТУ «УКРИТТЯ» НА ОСНОВІ ФАКТОРАЛЬНО-КРИТЕРІАЛЬНОГО ГРУПОВОГО ЕКСПЕРТНОГО ОЦІНЮВАННЯ**

І.С. Скітер, В.В. Деренговський, В.М. Рудько

*Інститут проблем безпеки АЕС НАН України*

Порівняльний аналіз запропонованих сценаріїв поетапного вилучення паливовмісних матеріалів (ПВМ) виконується на основі експертних оцінок значень масиву критеріїв, які відображають різні аспекти стану об'єкта «Укриття» (ОУ) і особливості діяльності з його перетворення на екологічно безпечну систему [1]. Ключовою метою при визначенні експертних оцінок є показник «досягнення заданого рівня екологічної безпеки». Перелік критеріїв для порівняльного аналізу сценаріїв поетапного вилучення ПВМ наведено в таблиці 1.

Табл.1 Критерії для аналізу сценаріїв поетапного вилучення ПВМ

№	Найменування критерію	Позн
1	Вартість виконання робіт (з витратами на радіаційний захист і поводження з РАВ), <i>тис. грн.</i> ;	<i>C</i>
2	Експлуатаційні витрати на забезпечення поточної безпеки об'єкта «Укриття», <i>тис. грн.</i> ;	<i>OEЗПБ</i>
3	Витрати на створення захисних бар'єрів для ізоляції ПВМ після зняття з експлуатації НБК, <i>тис. грн.</i> ;	<i>OEЗБ</i>
4	Витрати на створення інфраструктури для вилучення та подальшого поводження з ПВМ після зняття з експлуатації НБК, <i>тис. грн.</i> ;	<i>OEСДИ</i>
5	Колективна ефективна доза (КЕД) при реалізації заходів, <i>люд·Зв</i> ;	<i>D</i>
6	ступінь використання інфраструктури НБК для вилучення та подальшого поводження з ПВМ, %	<i>L<sub>ВІ</sub></i>
7	Готовність сховищ для проміжного зберігання вилучених ПВМ, %	<i>P<sub>СПЗ</sub></i>
8	Готовність геологічного сховища для остаточного захоронення ПВМ, %	<i>P<sub>ГС</sub></i>
9	Колективний радіологічний ризик персоналу <i>чол/рік</i> ;	<i>R<sub>p</sub></i>
10	Колективний радіологічний ризик населення, <i>чол. /рік</i> ;	<i>R<sub>N</sub></i>
11	Ризики недофінансування робіт з поетапного вилучення ПВМ, <i>тис. грн /рік</i> ;	<i>R<sub>НДФ</sub></i>
12	Термін реалізації проекту (сценарію), <i>років</i> .	<i>T</i>

Представлені в табл.1 критерії можна згрупувати за факторальними ознаками, а саме:

Фактор 1 – фінансові складові сценаріїв: *C*; *OEЗПБ*; *OEЗБ*; *OEСДИ*; *R<sub>НДФ</sub>*

Фактор 2 – дозові складові сценаріїв: *D*; *R<sub>p</sub>*; *R<sub>N</sub>*; *T*.

Фактор 3 – інфраструктурні складові сценаріїв: *L<sub>ВІ</sub>*; *P<sub>СПЗ</sub>*; *P<sub>ГС</sub>*.

Для узагальненої оцінки сценарію вводиться його глобальна цінність *SF<sub>i</sub>*, (*significance function*) за відповідними групами факторів  $\Phi_i$  та їх складовими критеріями:

$$\left\{ \begin{matrix} SF_1 \\ \dots \\ SF_p \end{matrix} \right\} \equiv \left( \begin{array}{c} \Phi_1 \left\{ \begin{array}{cccc} C_1 & OE_{ЗПБ,1} & OE_{ЗБ,1} & OE_{СДЛ,1} & R_{НДФ,1,1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_p & OE_{ЗПБ,p} & OE_{ЗБ,p} & OE_{СДЛ,p} & R_{НДФ,p} \end{array} \right\} \\ \Phi_2 \left\{ \begin{array}{ccc} D_1 & R_{p,1} & R_{N,1} T_1 \\ \dots & \dots & \dots \\ D_p & R_{p,p} & R_{N,p} T_p \end{array} \right\} \\ \Phi_3 \left\{ \begin{array}{ccc} L_{BI,1} & P_{СПЗ,1} & P_{ГС,1} \\ \dots & \dots & \dots \\ L_{BI,p} & P_{СПЗ,p} & P_{ГС,p} \end{array} \right\} \end{array} \right) \quad (1)$$

Вхідними умовами до використання методики оцінки сценаріїв на основі колективних експертних оцінок є множина факторів  $\Phi_1, \Phi_2$  та  $\Phi_3$  із групами визначених для них критеріїв. Тоді окремих  $i$ -й сценарій буде представлений глобальним критерієм цінності  $W_i$ , визначеним на основі ваг факторів та критеріїв, які їх формують. Це дасть змогу ранжувати сценарії за величиною їх відносної цінності.

Процес комплексного аналізу сценаріїв на основі колективних експертних оцінок з факторів та їх критеріїв представлений на рис.1. Методика визначення комплексних цінностей сценаріїв представляє собою поетапний процес:

**Етап 1.** Формування масивів критеріїв оцінки сценаріїв

$S_{Ci} = (C_i, OE_{ЗПБ(i)}, OE_{ЗБ(i)}, OE_{СДЛ(i)}, D_i, L_{BI(i)}, P_{СПЗ(i)}, P_{ГС(i)}, R_{P(i)}, R_{N(i)}, R_{НДФ(i)}, T_i)$ ,  
де  $i$ - окремий сценарій,  $i = \overline{1, p}$ ,  $p$ - кількість сценаріїв.

**Етап 2.** Групування критеріїв за якісно однорідними факторами  $\Phi_j$

**Етап 3.** Групове експертне оцінювання факторів та критеріїв в межах факторів за 9-бальною шкалою (табл.1.)

**Етап 4.** Формування матриці переваг для факторів на основі бальних оцінок факторів  $A^\Phi = (a_{ij}^\Phi)$  де  $a_{ij}^\Phi$  - перевага  $i$ -го фактору на  $j$ -м та визначення ваг факторів для  $i$ -го сценарію:

$$A_i^\Phi = \begin{pmatrix} 1 & \Phi_{i1}/\Phi_{i2} & \Phi_{i1}/\Phi_{i3} \\ \Phi_{i2}/\Phi_{i1} & 1 & \Phi_{i2}/\Phi_{i3} \\ \Phi_{i3}/\Phi_{i1} & \Phi_{i3}/\Phi_{i2} & 1 \end{pmatrix}, \quad \Omega_i^{\Phi 1} = \frac{m \sqrt{\left(\frac{\Phi_{i1}}{\Phi_{i2}}\right) \dots \left(\frac{\Phi_{m1}}{\Phi_{im}}\right)}}{\sum m \sqrt{\left(\frac{\Phi_{i1}}{\Phi_{i2}}\right) \dots \left(\frac{\Phi_{m1}}{\Phi_{im}}\right)}} \quad (2)$$

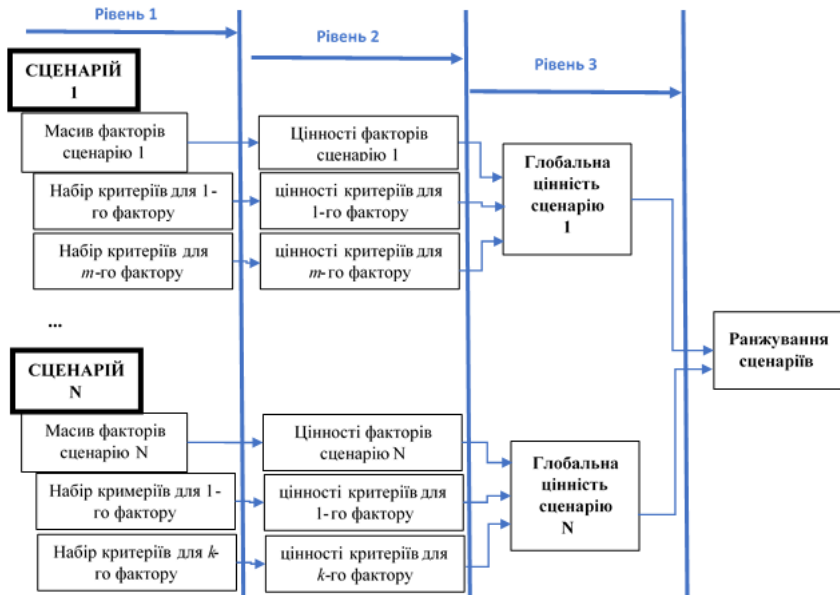


Рисунок 1- Процес визначення глобальних цінностей сценаріїв на основі факторально-критеріального групового експертного оцінювання [2]

**Етап 5.** Формування матриці переваг для критеріїв на основі бальних оцінок  $A^{кр} = (a_{ij}^{кр})$  де  $a_{ij}^{кр}$  - перевага  $i$ -го критерію на  $j$ -м та визначення ваг критеріїв для  $i$ -го сценарію:

$$w_i^{\Phi_1} = \begin{pmatrix} w_{C_i} \\ w_{OEЗПБ(i)} \\ w_{OEЗБ(i)} \\ w_{OECД(i)} \\ w_{RHДФ(i)} \end{pmatrix}, w_i^{\Phi_2} = \begin{pmatrix} w_{D_i} \\ w_{Rp(i)} \\ w_{RN(i)} \\ w_{T(i)} \end{pmatrix}, w_i^{\Phi_3} = \begin{pmatrix} w_{LBI(i)} \\ w_{PCЗ(i)} \\ w_{PGC(i)} \end{pmatrix} \quad (3)$$

**Етап 6.** Формування вектору комплексних показників  $W(\Omega, \omega)$ , який включає в себе оцінки критеріїв, які їх формують  $\omega_1^i, \dots, \omega_k^i$  та груп факторів на основі визначення їх ваг  $\{\Omega^1, \dots, \Omega^m\}$ :

$$W = [(\omega_1^1, \dots, \omega_1^1)\Omega^1, (\omega_1^2, \dots, \omega_l^2)\Omega^2, \dots, (\omega_1^m, \dots, \omega_z^m)\Omega^m,] \quad (4)$$

де  $k, l, z$  – кількість критеріїв, які формують відповідний фактор та визначення глобальних ваг (цінностей) сценаріїв  $W = \langle \omega, \Omega \rangle$  із врахуванням визначення ваг відповідних критеріїв  $\omega$  на основі ваг структурних факторів  $\Omega$ :

$$W_{(Sc_j)} = \sqrt[m]{\prod_{i=1}^m [(\omega_i^j)^{\Omega^i}]_{(Sc_j)}}, \quad j = \overline{1, n} \quad (5)$$

де  $Sc_j \in Sc$  – масив сценаріїв,  $\omega_i^j$  – ваги критеріїв, які формують фактори відповідних сценаріїв,  $\Omega^i$  – ваги факторів для сценаріїв.

Для (9) отримаємо вектори глобальних відносних цінностей сценаріїв:

$$W = \begin{pmatrix} W_{Sc(1)} \\ \dots \\ W_{Sc(i)} \\ \dots \\ W_{Sc(p)} \end{pmatrix} \quad (6)$$

Ранжування сценаріїв проводиться за величиною їх глобальної цінності як в роботі [3]:  $W^* > \dots > W^0$ , де  $W_i^* = \operatorname{argmax}(W_i)$ ,  $W_i^0 = \operatorname{argmin}(W_i)$ .

Таким чином запропонована методика порівняльного аналізу сценаріїв поетапного вилучення ПВМ з ОУ на основі факторально-критеріального групового експертного оцінювання дасть змогу проводити ранжування сценаріїв за їх черговістю та значущістю для досягнення екологічної безпеки довкілля.

## Література

1. Об'єкт «Укриття» в умовах нового безпечного конфайнмента / В. О. Краснов, А. В. Носовський, С. А. Паскевич, В. М. Рудько ; під заг. ред. А. В. Носовського. — Чорнобиль : ПБ АЕС НАН України, 2021. — 344 с.
2. В.В.Деренговський, І.С.Скітер Трирівнева модель оцінки потенційних сценаріїв перетворення об'єкту «Укриття» на екологічно-безпечну систему на основі глобального факторально-індикаторного критерію. Ядерна енергетика та довкілля №1(23) 2022, с.45-55
3. Skiter I., Vtornikova E. Development of the matrix material selection algorithm for immobilization of transurane elements using the modified method of analysis of hierarchies / Nuclear & Radiation Safety, 2018, №2, p.36-42

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КСЕНОНОВОГО ОТРУЄННЯ РЕАКТОРА 4-го ЕНЕРГОБЛОКУ ЧАЕС ПЕРЕД АВАРІєю 26 КВІТНЯ 1986 РОКУ

К. О. Сущенко<sup>1</sup>, Є. Д. Висотський<sup>1</sup>, М. В. Савельєв<sup>1,2</sup>

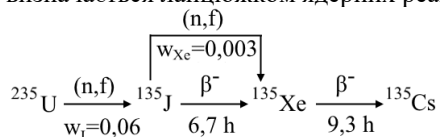
<sup>1</sup>Інститут проблем безпеки АЕС НАН України

<sup>2</sup>Інститут проблем математичних машин і систем НАН України

**Вступ.** У квітні 1996 р. на міжнародній конференції «Chernobyl accident - 10 years later: Aspects of nuclear safety (IAEA, Vienna) було підбито підсумки досліджень причин Чорнобильської катастрофи. У доповіді [1] було підтверджено, що «основним фактором розвитку аварії був великий позитивний паровий коефіцієнт реактивності та вибіг реактивності при введенні стрижнів системи управління захистом (СУЗ)», і як наслідок розгін та руйнування реактора. При цьому представлені дані, отримані за трьома повномасштабними (з використанням фізичної моделі всієї АЗ) розрахунковими моделями, не враховували подій, зареєстрованих у передаварійний період, а також результатів післяаварійного обстеження стану підреакторних приміщень і в тому числі: запуск нестационарного процесу з постійним зростанням отруєння <sup>135</sup>Xe. Для перевірки твердження про те, що кульмінацією пасивної стадії аварії був не ядерний, а паровий вибух, було виконано математичне моделювання ксенонового отруєння заглушених 3/4 активної зони (АЗ) та південно-східного сектору АЗ.

**Математичне моделювання процесу.** Отруєння реактора практично повністю визначається ядрами <sup>135</sup>Xe. Інші короткоживучі продукти поділу мають або відносно малий (більш ніж на 2 порядки) переріз поглинання, або їх вихід дуже малий, і вони не мають істотного впливу на баланс нейтронів в ядерному реакторі. Тому в моделі розглядається лише ксенонове отруєння.

Отруєння <sup>135</sup>Xe визначається ланцюжком ядерних реакцій:



Залежність концентрації ядер <sup>135</sup>J від часу при стрибкоподібній зміні потужності реактора можна записати у вигляді:

$$N_J(t) = \frac{w_J \varphi \sigma_{f,5} N_5}{\lambda_J} (1 - e^{-\lambda_J t}) + N_J(0) e^{-\lambda_J t} \quad (1)$$

де  $N_J(0)$  – початкова концентрація ядер  $^{135}\text{J}$  [ $\text{см}^{-3}$ ];  $w_J$  – ймовірність виходу  $^{135}\text{J}$  під час поділу  $^{235}\text{U}$ ;  $N_5$  – концентрація ядер  $^{235}\text{U}$  [ $\text{см}^{-3}$ ];  $\lambda_J$  – стала розпаду  $^{135}\text{J}$  [ $\text{с}^{-1}$ ];  $\varphi$  – щільність потоку нейтронів [ $\frac{1}{\text{см}^2 \cdot \text{с}}$ ];  $\sigma_{f,5}$  – переріз поділу  $^{235}\text{U}$  [ $\text{см}^2$ ].

Залежність концентрації ядер  $^{135}\text{Xe}$  від часу при стрибкоподібній зміні потужності реактора характеризується рівнянням:

$$N_{Xe}(t) = \frac{(w_J + w_{Xe}) \varphi \sigma_{f,5} N_5}{\lambda_{Xe} + \varphi \sigma_{Xe}} (1 - e^{-(\lambda_{Xe} + \varphi \sigma_{Xe})t}) + \frac{N_J(0) \lambda_J - w_J \varphi \sigma_{f,5} N_5}{\lambda_{Xe} - \lambda_J + \varphi \sigma_{Xe}} (e^{-\lambda_J t} - e^{-(\lambda_{Xe} + \varphi \sigma_{Xe})t}) + N_{Xe}(0) e^{-(\lambda_{Xe} + \varphi \sigma_{Xe})t} \quad (2)$$

де  $N_{Xe}(0)$  – початкова концентрація ядер  $^{135}\text{Xe}$ ;  $w_{Xe}$  – ймовірність виходу ядер  $^{135}\text{Xe}$  як уламку поділу  $^{235}\text{U}$ ;  $\lambda_{Xe}$  – стала розпаду ядер  $^{135}\text{Xe}$ ;  $\sigma_{Xe}$  – переріз поглинання  $^{135}\text{Xe}$ .

Ці залежності [2] покладено в основу математичного моделювання процесу отруєння АЗ РБМК-1000 4-го енергблока ЧАЕС під час розвантаження по потужності перед аварією 26 квітня 1986 року.

В якості вихідних даних був взятий графік потужності реакторної установки з 00:00 25.04.86 до руйнування активної зони [3].

Оскільки математична модель може адекватно описувати процеси тільки з стрибкоподібними змінами потужності, необхідно відповідним чином встановити залежність потужності від часу ( $P(t)$ ). Для цього була використана одинична ступінчаста тета-функція Хевісайда

$$\theta(k) = \frac{1}{1 + e^{-ka}} \quad (3)$$

апроксимована за допомогою неперервної функції. Тут  $a$  – параметр, при збільшенні якого відбувається більш крутий підйом функції у точці  $k = 0$ .

Таким чином, можна задати функцію  $P(t)$  для математичної моделі

$$P(t) = P_0 + (P_1 - P_0) \cdot \theta(t - t_1) + \dots + (P_i - P_{i-1}) \cdot \theta(t - t_i) \quad (4)$$

для розрахункових відрізків (рис. 1).

Штриховою лінією показана потужність  $\frac{3}{4}$  АЗ, динаміка отруєння якої відрізняється від динаміки отруєння південно-східної частини АЗ.

Залежність щільності потоку нейтронів від часу  $\varphi(t)$  має вигляд:

$$\varphi(t) = \frac{P(t)}{4.5 \cdot 10^{-11} \cdot M_{U5}}, \quad (5)$$

де  $P(t)$  – потужність реактора [Вт],  $M_{U5}$  – маса  $^{235}\text{U}$  [г].

Для коректного використання залежностей (1) та (2) вводиться часовий параметр  $x$ , який скидає час при переході на новий розрахунковий відрізок

$$x(t) = t - t_1 \cdot \theta(t - t_1) - \dots - (t_i - t_{i-1}) \cdot \theta(t - t_i) \quad (6)$$

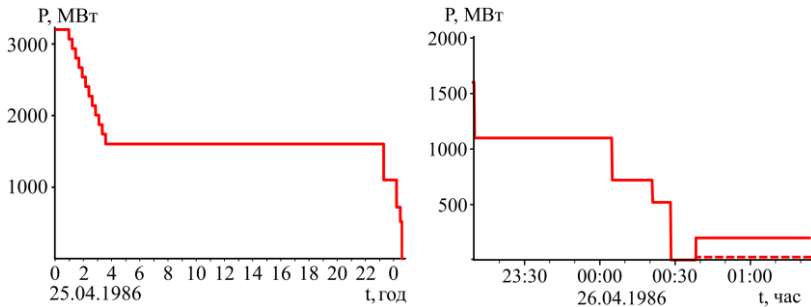


Рис. 1 – Графік потужності РБМК-1000, змодельований у Maple

Оскільки до 25.06.1986 р. реактор тривалий час працював на стаціонарному рівні потужності,  $N_{J00}$  і  $N_{Xe00}$  для першого розрахункового відрізка визначаються по залежностям для стаціонарного отруєння:

$$N_J^{\text{стац}} = \frac{w_J \varphi \sigma_{f,5} N_5}{\lambda_J}, \quad (7)$$

$$N_{Xe}^{\text{стац}} = \frac{(w_J + w_{Xe}) \varphi \sigma_{f,5} N_5}{\sigma_{Xe}(1 + \lambda_{Xe}/\varphi \sigma_{Xe})} \quad (8)$$

В кінці першого розрахункового відрізка визначаються концентрації  $^{135}\text{J}$  і  $^{135}\text{Xe}$ , які будуть початковими для наступного відрізка. Таким чином, розрахунок проводиться кілька разів з додаванням нових відрізків. Початкові концентрації  $^{135}\text{J}$  і  $^{135}\text{Xe}$  на відрізках моделюються за допомогою функції Хевісайда:

$$N_{J0}(t) = N_{J00} + (N_{J1} - N_{J00}) \cdot \theta(t - t_1) + \dots + (N_{Ji} - N_{Ji-1}) \cdot \theta(t - t_i) \quad (9)$$

$$N_{Xe0}(t) = N_{Xe00} + (N_{Xe1} - N_{Xe00}) \cdot \theta(t - t_1) + \dots + (N_{Xei} - N_{Xei-1}) \cdot \theta(t - t_i). \quad (10)$$

Після підстановки величин, що залежать від часу, в залежності (1) та (2) отримаємо:

$$N_J(t) = \frac{w_J \varphi(t) \sigma_{f,5} N_5}{\lambda_J} (1 - e^{-\lambda_J x(t)}) + N_{J0}(t) e^{-\lambda_J x(t)}, \quad (11)$$

$$N_{Xe}(t) = \frac{(w_J + w_{Xe}) \varphi(t) \sigma_{f,5} N_5}{\lambda_{Xe} + \varphi(t) \sigma_{Xe}} (1 - e^{-(\lambda_{Xe} + \varphi(t) \sigma_{Xe}) x(t)}) + \frac{N_{J0}(t) \lambda_J - w_J \varphi(t) \sigma_{f,5} N_5}{\lambda_{Xe} - \lambda_J + \varphi(t) \sigma_{Xe}} (e^{-\lambda_J x(t)} - e^{-(\lambda_{Xe} + \varphi(t) \sigma_{Xe}) x(t)}) + N_{Xe0}(t) e^{-(\lambda_{Xe} + \varphi(t) \sigma_{Xe}) x(t)} \quad (12)$$

Втрати на отруєння реактора визначаються по залежності:

$$q_{Xe}(t) = \frac{\sigma_{Xe} N_{Xe}(t)}{\sigma_5 N_5} \quad (13)$$

Динаміка отруєння реактора показана на рис. 2. Штриховою лінією показано динаміку отруєння  $\frac{3}{4}$  активної зони після розвалу нейтронного поля.

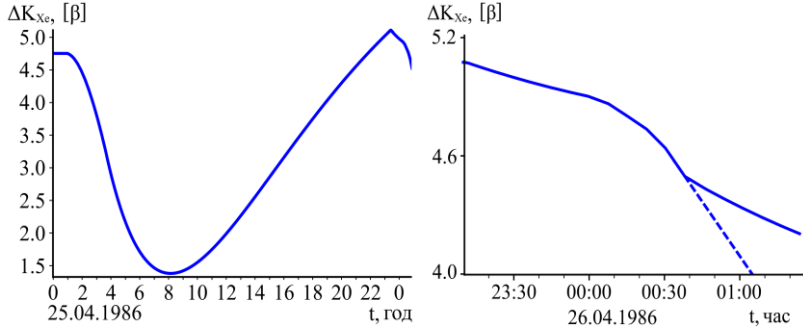


Рис. 2 – Динаміка отруєння реактора

Для верифікації результатів розрахунку було виконано моделювання активної зони РБМК-1000 у програмному коді SCALE 6.

У фізичній моделі в програмному коді SCALE 6 враховано верхній та нижній відбивач. Паливна комірка є гетерогенною структурою з ТВЕЛів у складі ТВЗ, що охолоджуються водою, укладених у цирконієвий канал у графітових блоках. Комірка СУЗ також гетерогенна, включає графітовий блок, цирконієвий канал, а також порожнистий поглинач з карбиду бору циліндричної форми висотою 5м.

Проведено порівняння ефекту реактивності при зміні концентрації  $^{135}\text{Xe}$  зі стаціонарної (при номінальній потужності) до максимальної при зниженні потужності до 1600 МВт. Розрахунок у SCALE показав введення негативної реактивності  $\Delta\rho = -0,008$ , що відповідає  $1,6\beta$  або зменшенню оперативного запасу реактивності (ОЗР) на  $\Delta\rho = \frac{0,008}{0,005-0,13} = 12,3$  стрижнів ручного регулювання. Математична модель показує введення негативної реактивності  $\Delta\rho = -0,011$ , що відповідає  $2,2\beta$  або зменшенню оперативного запасу реактивності (ОЗР) на  $\Delta\rho = \frac{0,011}{0,005-0,13} = 17$  стрижнів ручного регулювання. Ці оцінки практично збігаються з розрахунками інших авторів [4], згідно з якими ОЗР становить 18 стрижнів РР.

## Література

1. Abel J. González Chernobyl — Ten years after Global experts clarify the facts about the 1986 accident and its effects. IAEA BULLETIN, 3/1996, p.2-13
2. Широков С. В. Нестационарні процеси в ядерних реакторах: Навч. Посібник. – К., 2002. – 286 с. – Рос. Мовою.
3. Adamov E.O. Cheikashov Yu.M., Podlazov L.N., Nikitin Yu.M., Stenbok I.A., Novoselsky O.Yu., Ionov A.I., Ponomarev-Stepnoy N.N., Bouriakov E.V., Malkin S.D., Krayushkin A.V., Babaitsev M.N., Checherov K.P., Abagyan A.A, Vasekin V.N., Kisil I.M., Chernobyl accident causes: Overview of studies over the decade [Conference] // Chernobyl accident causes: Overview of studies over the decade. - Viena : IAEA, 1996.
4. Н.В.Карпан «Чернобыль. Месть мирного атома» ИКК «Баланс-Клуб», Днепропетровск, 2006 г.

УДК 338.24

### МОДЕЛЮВАННЯ ОБСЯГІВ ВВП І ВИПУСКУ ЗА УМОВ КРИТИЧНИХ ЗМІН СТРУКТУРИ КІНЦЕВИХ СПОЖИВЧИХ ВИТРАТ

В.В.Кулик

*ДННУ «Академія фінансового управління», Україна*

Внаслідок російсько-української війни за оцінками Світового Банку в 2022р. очікується скорочення ВВП України на 45% [1]. Тому виникає необхідність сценарного моделювання оцінки змін ВВП за різними балансовими моделями, зокрема в рамках головного рівняння національних рахунків (1) та моделі «витрати-випуск» (2) [2]:

$$Y = C + G + I + NetExport, \quad (1)$$

де  $Y$  – кінцевий продукт,  $C$  – особисте (приватне) споживання,  $G$  – державне (колективне) споживання,  $I$  – інвестиції,  $NetExport$  – чистий експорт.

$$X = AX + Y, \quad (2)$$

де  $X$  – випуск,  $A$  – матриця прямих витрат,  $Y$  – кінцевий продукт.

Всі приведені вище дані представлені в таблиці «витрати-випуск», їх можна використати для прогнозу обсягів випуску і ВВП, в т.ч. в галузевому розрізі. Візьмемо за основу таблицю «витрати-випуск» України в основних цінах за 2019р. [3].

Сценарне моделювання проведемо за схемою *прогнозу міжгалузевих зв'язків* [4, с.189-215], що включає розрахунок рівнозначених обсягів випуску в рамках таблиці «витрати-випуск» на основі очікуваних кінцевих витрат. Припустимо, що в умовах військового стану особисте споживання становить 50% від базових значень 2019р., державне споживання зростає на 100%, валові внутрішні інвестиції становлять 30% від базових значень, а експорт – 60% (табл.1). Тоді нові значення і є сценарієм (табл.1), який необхідно підтвердити прогнозом міжгалузевих зв'язків, що уможливило визначити нові значення ВВП та Випуску в моделі Леонтьєва (табл.2).

Спад показників функціонування економіки (випуску і ВВП), зокрема в галузевому розрізі, зумовлений особливістю кінцевих витрат військового часу. На нашу думку, головною причиною їх є зменшення особистих кінцевих витрат та суттєвий спад інвестицій внаслідок невизначеності та руйнування виробничої інфраструктури, зростання державних витрат, що пов'язані із витратами на оборону, соціальний захист громадян, забезпечення логістичних задач .

Таблиця 1.

Можливий сценарій змін елементів кінцевого попиту за умов військового стану

Кінцевий попит за елементами	Базові значення, млн. грн.	Зміна, у %	Нові значення, млн. грн.
Витрати поза домашніми господарствами	83965	70	58776
Особисте споживання (С)	2958119	50	1479060
Державне споживання (G)	746784	200	1493568
Валові внутрішні капіталовкладення (I)	700617	30	210185
Приріст запасів	-108398	100	-108398
Експорт (Export)	1639048	60	983429

Таблиця 2.

Прогноз змін ВВП і випуску згідно приведеного сценарію

ВЕД	Y	X	Y + dY	X + dX	dY/Y %	dX/X %
A	538566	866138	298413	490968	-44,6	-43,3
B,C,D,E	2687385	3033378	1398546	1708123	-48,0	-43,7
F	334015	570979	103000	224069	-69,2	-60,8
G,H,I	1014065	1710674	560991	993728	-44,7	-41,9
J	204411	374510	115288	240933	-43,6	-35,7
K	40002	183208	20671	117079	-48,3	-36,1
L	233990	339956	118599	189779	-49,3	-44,2
M,N	127568	411658	89916	280448	-29,5	-31,9
O,P,Q	735065	780345	1327274	1365324	80,6	75,0
R,S,T	105068	99978	83921	80945	-20,1	-19,0
Всього	6020135	8370824	4116619	5691394	-31,6	-32,0

*Примітка:* (A) Сільське господарство, лісівництво та рибальство; (B,C,D,E) Видобуток корисних копалин, виробництво, постачання електрики, газу, пари та повітряного кондиціонування, водопостачання, каналізація, видалення відходів і рекультивация; (F) Будівництво; (G,H,I) Оптова та роздрібна торгівля, ремонт автотранспортних засобів і мотоциклів, транспортування та зберігання, розміщення та діяльність громадського харчування; (J) Інформація та комунікації; (K) Фінансова та страхова діяльність; (L) Операції з нерухомим майном; (M,N) Професійна, наукова і технічна діяльність, адміністративні та допоміжні послуги; (O,P,Q) Державне управління та оборона, обов'язкове соціальне забезпечення, освіта, охорона здоров'я та соціальні послуги; (R,S,T) Діяльність у сфері мистецтва, розваг, ремонт побутових виробів та інші послуги.

вого часу і державного управління та ін. Як результат, найбільший спад ВВП слід очікувати в будівництві, галузях промисловості, в сфері торгівлі. Водночас зростання витрат на державне управління (в т.ч. і оборонні потреби) дає підстави очікувати зростання ВВП в державному секторі. В результаті даного сценарію Випуск в цілому зменшиться на 32%, а ВВП – на 31,6%. Якщо порівнювати даний сценарій із прогнозами, які здійснюють різні експерти та організації [5], то цей сценарій скоріше є оптимістичним.

Верифікація моделі варіантних розрахунків. Модель підтверджена на основі різних часових зрізів ТВВ України, а також із застосуванням спеціальних методів тестування. Наприклад, за умови, що нові значення та базові значення співпадають, тоді маємо нульові прирости ВВП і

випуску за галузями і по економіці загалом; лінійність моделі Леонтьєва проявляється і в тому, що одночасне зростання всіх елементів кінцевого попиту на одну і ту ж величину (відсоток), призводить до зростання ВВП і випуску на цю величину.

Висновки. Аналогічні розрахунки необхідно проводити на більш деталізованих моделях, із залученням висновків експертів щодо найбільш ймовірної зміни структури кінцевий витрат в економіці України в 2022 році. Дану модель можна використовувати для аналізу чутливості – яким чином державні витрати і їх зміна будуть впливати на випуск та ВВП, в т.ч. в галузевому розрізі.

## Література

1. Світовий банк прогнозує спад ВВП України на 45 відсотків. 11 квітня 2022р. URL: <https://www.dw.com/ru/vsemirnyj-bank-prognoziruetsya-padenie-vvp-ukrainy-na-45-procentov/a-61427984>.
2. Менкью, Г. Макроэкономика. М.: МГУ, 1994.
3. Національні рахунки України за 2019 рік. Статистичний збірник, Державна служба статистики України, Київ, 2021.
4. Математическая экономика на персональном компьютере: Пер. с яп. / М.Кубонива, М.Табата, С.Табата, Ю.Хасэбэ; Под ред.М.Кубонива; Под ред. и с предисл. Е.З.Демиденко. М.: Финансы и статистика, 1991. 304 с.
5. Системні ризики є високими, проте контрольованими – підсумки засідання Ради з фінансової стабільності. 13 квітня 2022р. URL: [https://www.mof.gov.ua/uk/news/sistemni\\_riziki\\_ie\\_visokimi\\_prote\\_kontrolovanimi\\_pidsumki\\_zasidannia\\_radi\\_z\\_finansovoi\\_stabilnosti](https://www.mof.gov.ua/uk/news/sistemni_riziki_ie_visokimi_prote_kontrolovanimi_pidsumki_zasidannia_radi_z_finansovoi_stabilnosti).

## ОЦІНКА СИТУАЦІЙНОЇ ОБІЗНАНОСТІ В ПРОЦЕСІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Оксанич І.М., Гречанінов В.Ф., Лопушанський А.В.

*Інститут проблем математичних машин і систем НАН України*

При імітаційному моделюванні процесів управління з реагування на надзвичайні ситуації (НС) в різних областях життєдіяльності людини, включаючи авіацію, управління повітряним рухом, надання медичної допомоги (особливо в складних умовах), військові операції, постає питання оцінки ситуаційної обізнаності (СО) як окремих фахівців (операторів), так і команди загалом.

Тема СО широко вивчається на протязі останніх десятиліть. Серед різних моделей СО найбільш популярною та використовуваною у сфері обробки інформації стала трирівнева модель М. Ендслі (M. Endsley). У відповідності до визначення Ендслі, СО складається з 3-х рівнів: 1-й рівень – сприйняття інформаційних елементів у навколишньому середовищі в межах часу та простору, 2-й рівень - розуміння їх значень, 3-й рівень - проекція (прогноз) їх статусу у недалекому майбутньому [1], причому, кожний наступний рівень спирається на попередній (рис. 1).

Треба зазначити, що на якість визначення СО впливає, перш за все, достовірність та актуальність інформації про досліджувану частину навколишнього середовища (предметну область – ПрО), яка використовується фахівцями. Сюди входить якість джерел надходження та приймачів окремих даних, якість їх перевірки, агрегації, і, у підсумку, перетворення цих даних на інформацію про ПрО, якість програмного забезпечення, яке використовується, та якість роботи мереж, що забезпечують надходження первинних даних. Оскільки структура СО, згідно трирівневої моделі, є ієрархічною, то коли помилка виникає на одному рівні СО, вона призводить до помилок на інших рівнях. В підсумку, СО формується людиною, тому на процеси сприйняття, розуміння та прогнозу того, що має відбутися, буде впливати ментальна модель фахівця (команди), яка визначається його (їх) цілями, завданнями, досвідом, професіоналізмом, здібностями. Зважаючи на це та беручи до уваги значення ментальної моделі, можна припустити, що визначена СО про частину досліджуваної ПрО майже завжди відповідає дійсності тільки у якійсь мірі, і тому виникає питання кількісної оцінки СО. Кі-

лькісна оцінка СО може дозволити знайти уразливі місця у ланцюжках її формування та визначити шляхи покращення СО і провести коригування процесу прийняття рішень (рис. 1).

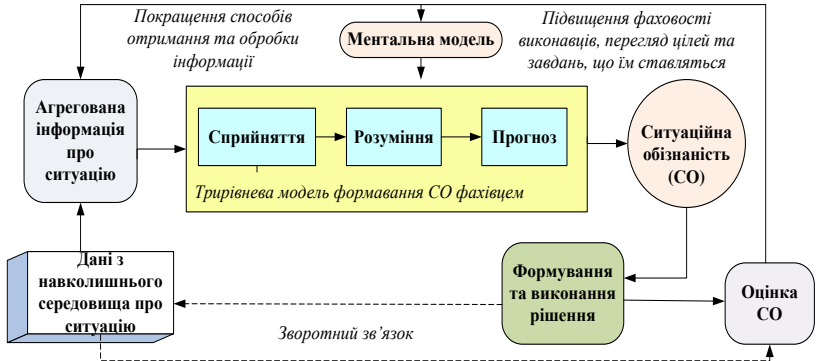


Рисунок 1 - Модель ситуаційної обізнаності в процесі прийняття рішень та її оцінка

У літературі є багато різних методів кількісної оцінки СО [1 - 5]. Вони поєднують в собі поняття таких наукових дисциплін, як ергономіка, когнітивістика, психометрія, математика.

Методи оцінки можна умовно поділити на об'єктивні та суб'єктивні. Основою об'єктивних методів оцінки СО є опитування, яке здійснюється на підготовчих до роботи етапах (наприклад, етапах навчання, або тренувань на симуляторах) при імітаційному моделюванні правдоподібних сценаріїв з метою визначення того, наскільки добре фахівець (оператор) розуміє поточну ситуацію. Суб'єктивні методи (методи самооцінки) базуються на анкетуванні учасників після НС по результатах виконання рішення по її ліквідації. Розглянемо декілька з них.

**Об'єктивні методи.** Найбільш популярним та достовірним (реально перевіреним) об'єктивним методом є метод глобальної оцінки ситуаційної обізнаності SAGAT (Situation Awareness Global Assessment Technique) для виміру індивідуальної СО оператора [1, 2].

SAGAT — це метод заздалегідь розроблених запитів, заснований на техніці «заморожування ситуації» під час переривів у роботі, або онлайн у режимі реального часу і призначений для моделювання роботи людини на симуляторі. Симуляція зупиняється у випадково вибраний час, і учасника (оператора, фахівця) запитують щодо його сприйняття ситуації в цей момент. Запити SAGAT стосуються конкретних

даних або їх критеріїв, та відповідають трьом рівням СО оператора (сприйняття інформації, розуміння її сенсу та проєкція найближчого майбутнього), вони також включають розуміння функціонування і стану системи управління і відповідних характеристик зовнішнього середовища. Запити розробляються у результаті глибокого аналізу когнітивних завдань, який необхідно проводити для кожної області та вимог до СО оператора. Результати відповідей порівнюються з вірними для вибраної ситуації та оцінюються в балах. Метод вимагає комп'ютерного моделювання. Недоліком методу є необхідність перерви роботи оператора та його відволікання на відповіді.

Метод SAGAT може слугувати основою також і для виміру СО команди фахівців. Особливістю роботи команди є наявність окремих ролей її членів і, відтак, обмежена цими ролями їх особиста СО. Водночас наявність загальної мети команди – виконання поставленої задачі – потребує існування і загальної СО команди. Визначенню кількісної оцінки особистої та загальної СО і зв'язку між ними у військовій групі рятувальників на основі методу SAGAT присвячено дослідження [3]. Дослідження виконуються за допомогою методу імітаційного моделювання під час навчань та дає змогу визначити, як розподіляється СО між учасниками навчань – членами команди і врахувати всі джерела помилок.

Кількісний аналіз ситуаційної обізнаності (Quantitative Analysis of Situation Awareness - QASA) [4] - метод, заснований на теорії виявлення сигналу, який забезпечує отримання окремих кількісних оцінок для фактичної та сприйнятої людиною СО, а також мірою упередженості (мірою сприйняття інформації людиною). Метод потребує дуже ретельного пророблення тестів окремо для кожної ситуації та відноситься до психометричних методів.

**Суб'єктивні оцінки СО** можуть бути отримані з використанням спеціально розроблених психометричних шкал типу шкал Лайкерта для опитувальників, або анкетних досліджень.

Техніка оцінки ситуаційної обізнаності (Situation Awareness Rating Technique - SART) [5] є одним із найстаріших і найчастіше використовуваних суб'єктивних методів самооцінки, який дозволяє отримати суб'єктивну думку учасника про те, наскільки він усвідомив ситуацію під час виконання свого завдання. SART використовує наступні десять параметрів: знайомство з ситуацією; зосередженість уваги; кількість інформації; якість інформації; нестабільність ситуації; концентрація уваги; складність ситуації; мінливість ситуації; збудження та розумові здібності. SART проводиться по результатах виконання рішення після інциденту або випробувань. Учасники суб'єктивно оцінюють кожний

параметр за семибальною шкалою (1 = низький рівень, 7 = високий рівень). Потім оцінки поєднуються для розрахунку загальної кількісної оцінки СО учасника. Найбільшою перевагою SART є його простота та невелика вартість, а недоліком – можлива необ'єктивність відповідей. Тим не менше, SART є широко використовуваним методом, який застосовується в різних областях.

Шкала поведінкової оцінки (Situation Awareness Behavioural Rating Scale - SABARS) — це метод оцінки СО, який використовує спостерігач в умовах польових навчань. Використовується п'ятибальна оціночна шкала [6].

Як резервний захід оцінки СО може використовуватися простий метод оцінки показників ефективності, що передбачає, що ефективне прийняття рішень досягається за рахунок ефективної СО [6].

Не дивлячись на велику кількість методів оцінки СО, які можуть використовуватися (та використовуються) у різних областях життєдіяльності людини, для складних динамічно змінюваних, насичених інформацією та географічно розподілених середовищ типу С4і (Command, Control, Communication, Computing, Intelligence - командування, управління, зв'язок, обробка та розпізнавання даних), де потрібно враховувати індивідуальну, командну та загальну СО, визначення кількісних оцінок СО зостається проблемою. Для вирішення цієї задачі у [6] пропонується застосовувати багатомірний інструментальний підхід, який має включати комбінацію найбільш надійних та достовірних відомих об'єктивних та суб'єктивних методів. Такий підхід зміг би допомогти отримати загальну оцінку СО, яка «вимагатиме одночасної оцінки СО в командному центрі, мобільних підрозділах, а також у польових командирів» [6].

## Література

1. Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37(1), 32-64.
2. Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT). URL: <https://ext.eurocontrol.int/ehp/?q=node/1601>.
3. Saner, L. D., Bolstad, C. A., Gonzalez, C., & Cuevas, H. M. (2009). Measuring and predicting shared situation awareness in teams. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 5(3), 280-308.
4. Edgar GK, Catherwood D, Baker S, Sallis G, Bertels M, Edgar HE, Nikolla D, Buckle S, Goodwin C, Whelan A. (2017). Quantitative Analysis

of Situation Awareness (QASA): modelling and measuring situation awareness using signal detection theory. *Ergonomics*. 61(6), 762-777.

5. Situation Awareness Rating Technique (SART). URL: <https://ext.eurocontrol.int/ehp/?q=node/1608/>.

6. Salmon, P., Stanton, N., Walker, G., Baber, Green D. (2006). Situation awareness measurement: A review of applicability for C4i environments. *Applied Ergonomics*, 37(2), 225-238.

УДК: 004.65

## **АКУСТИЧНИЙ ВІДБИТОК ЯК МЕТОД ЗАПОБІГАННЯ ПЛАГІАТУ**

Андрусенко Б. Г., Трунова О. В.

*Національний університет «Чернігівська політехніка»*

В наш час питання захисту авторського права в сфері мультимедіа є дуже гострим і як ніколи актуальним. На жаль, в реальному житті досить часто виникають випадки, коли окремі особи не дотримуються правил чесної конкуренції. Як наслідок, автори несуть величезні збитки, а головне втрачають натхнення продовжувати розвиватися в тому чи іншому напрямку.

Зауважимо, що якщо системи антиплагіату текстів досягли значного розвитку, то питання порівняння музичних творів з метою виявлення плагіату все ще залишається недостатньо дослідженим. На сьогодні не існує чітких і зрозумілих алгоритмів проведення експертизи щодо плагіату в музиці, не існує робочого застосунку, який би використовувався у напрямку виявлення плагіату, на платній або безоплатній основі для широкого використання.

Існують напрацювання іноземних компаній в напрямку порівняння музичних творів, зокрема розпізнавання музичного твору по його короткому запису (Shazam); видалення відео, в яких використано музичні твори без авторської ліцензії (YouTube) використовують технологію акустичного відбитку.

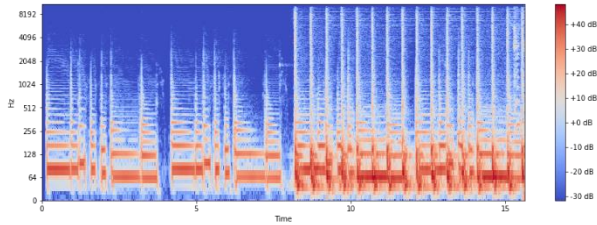
Акустичний відбиток – це компактний підпис на основі вмісту аудіозапису, який підсумовує його фізичні властивості. Технології аудіовідбитків або ідентифікації на основі вмісту (CBID – Content-based identification) визначають відповідні акустичні характеристики частини аудіовмісту та зберігають їх у базі даних. Використовуючи акустичні

відбитки і алгоритми порівняння, можна ідентифікувати різні версії одного запису як ідентичний твір [1].

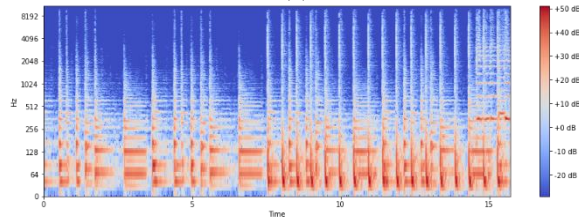
З фізичної точки зору музика – це акустичні хвилі, що передаються через повітря, а звуковий сигнал – його аналогове представлення. Для перетворення сигналу із часової області в частотну використовують трансформацію Фур'є, а саме її дискретне перетворення Discrete Fourier Transform (DFT). Одним із найпопулярніших чисельних алгоритмів для розрахунку DFT є fast Fourier transform (FFT). Найпоширенішим варіантом FFT є алгоритм Кулі-Тьюкі. Це алгоритм, який рекурсивно ділить DFT на безліч менших DFT. У той час як оцінка DFT безпосередньо вимагає  $O(n^2)$  операцій, з методом Кулі-Тьюкі той самий результат обчислюється за допомогою  $O(n \log(n))$  операцій [3].

Однак через нелокальний характер функції трансформації Фур'є інформація про частоту завжди усереднюється по всій часовій області. Раптові зміни та локальні варіації сигналу, такі як початок і кінець подій, не можуть бути добре виявлені. Локальні явища сигналу стають глобальними явищами в перетворенні Фур'є і, навпаки, невеликі зміни у фазі перетворення Фур'є можуть мати значний вплив у часовій області [2]. Для усунення цього недоліку використовують віконну трансформацію Short-time Fourier transform (STFT). У результаті чого отримують представлення функції  $X(n, k)$ , що визначає  $k$ -й (частотний) коефіцієнт Фур'є для  $n$ -го періоду часу, де  $n \in \mathbb{Z}$ , і  $k \in [0, K]$ , де  $K = \frac{N}{2}$  – індекс частоти Найквіста [2].

На даному етапі вже можна виконувати аналіз музичних творів та робити висновки щодо відсотку їх індивідуальності (рис. 1).



(a)



(б)

Рисунок 1 – Спектрограми музичного твору  
The White Stripes - Seven Nation Army ((a) – оригінал,  
(б) – кавер-версія)

Проте порівняння спектрограм вимагає значних затрат продуктивності і є неефективним для зберігання. Використання акустичного відбитку значно спрощує процес порівняння.

Для його створення необхідно виділити точки особливості на спектрограмі, базуючись на інтенсивності спектру (спектральні піки). Таким чином, зберігаються лише найхарактерніші значення для цього твору. Кожен пік визначається двома значеннями: частотою і моментом часу.

STFT-представлення сигналу зводиться до розрідженого набору частотно-часових точок. З цією метою використовується стратегія пікового вибору, яка ідентифікує часо-частотні точки, які мають більшу величину, ніж усі сусідні в околі відповідних точок.

Нехай  $\tau > 0$  і  $\kappa > 0$  – параметри, що визначають розмір околу в часовому та частотному напрямку відповідно. Тоді якщо для  $\forall(n, k) \in ([n_0 - \tau, n_0 + \tau] \times [k_0 - \kappa, k_0 + \kappa])$  і  $(n, k) \in (Z \times [\overline{0, K}])$ , виконується умова:

$$|X(n_0, k_0)| > |X(n, k)|,$$

то за вершину вибирається точка  $(n_0, k_0)$  [4].

Головними перевагами використання спектральних піків є їх стійкість навіть до серйозних погіршень сигналу, зменшення розміру да-

них та їх компактне представлення, підкреслення унікальних характеристик сигналу.

Акустичний відбиток складається з отриманих спектральних піків. Кожен відбиток представляє масив значень. Поелементно порівнюючи ці значення можна сформулювати висновок про схожість композицій.

Для врахування випадку, коли порівняльні дані не синхронізовані за часовою шкалою, використовують зсуви масивів даних відносно один одного. При різних значеннях зсуву будуть варіюватися і значення збігів.

Використання точок особливостей при порівнянні композицій між собою не вимагає значної продуктивності, однак при збільшенні кількості композицій порівняння значно збільшується складність пошуку. Для вирішення даної проблеми використовують хеш-функції [5], за допомогою яких можна створити ідентифікатор для бази даних.

В ідеальних умовах хеш-значення буде унікальним для кожного аргументу, що зменшує складність пошуку до  $O(1)$ . Однак, зазвичай, виникають колізії – збіг значення хеш-функції при різних аргументах, в такому випадку необхідно поелементно порівнювати масив аргументів однакових хешів із шуканим значенням.

Існує багато варіантів визначення хеш-функції на спектрограмі. Найчастіше такі хеші базуються на Евклідовій відстані між точками особливості. Використовуючи даний метод, під хеш-значенням можна записати як пари точок, так і «сузір'я». Поєднуючи декілька точок, створюються відбитки, які мають вищу ентропію, і, тому, містять більше інформації [6].

Також існують чисельні способи покращення акустичного відбитку: застосування фільтрів для підкреслення певних особливостей або, навпаки, фільтрація шумів; модифікація коефіцієнту часового спотворення для випадків, коли композиції змінені за часом виконання; модифікація стратегій визначення точок особливостей відбитку; дослідження ефективності тієї чи іншої хеш-функції; розподіл гармонічних та перкусійних сигналів тощо.

Таким чином на основі алгоритму акустичного відбитку можлива ідентифікація досліджуваних аудіокомпозицій або їх частин, виявлення типових особливостей, співставлення послідовностей характерних частин та багато інших задач, які є актуальними в наш час.

## Література

1. Pedro Cano, Eloi Batlle, Emilia Gómez. Audio fingerprinting: concepts and applications. Computational Intelligence for Modelling and Prediction. 2005. Pp. 233-245. URL: [https://www.researchgate.net/publication/225574479\\_Audio\\_Fingerprinting\\_Concepts\\_And\\_Applications](https://www.researchgate.net/publication/225574479_Audio_Fingerprinting_Concepts_And_Applications)
2. Meinard Müller. Fundamentals of Music Processing. Erlangen: Springer International Publishing Switzerland, 2015. P. 509. URL: <https://www.springerprofessional.de/en/fundamentals-of-music-processing/2507072>
3. Fast Fourier transform. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Fast\\_Fourier\\_transform](https://en.wikipedia.org/wiki/Fast_Fourier_transform)
4. Audio Identification. URL: [https://www.audiolabs-erlangen.de/resources/MIR/FMP/C7/C7S1\\_AudioIdentification.html](https://www.audiolabs-erlangen.de/resources/MIR/FMP/C7/C7S1_AudioIdentification.html)
5. Cryptography Hash functions. URL: [https://www.tutorialspoint.com/cryptography/cryptography\\_hash\\_functions.htm](https://www.tutorialspoint.com/cryptography/cryptography_hash_functions.htm)
6. Audio Fingerprinting with Python and Numpy. URL: <https://willdrev.com/fingerprinting-and-audio-recognition-with-python/>

УДК 004.08

## РОЗУМІННЯ ВАРІАЦІЙНИХ АВТОКОДУВАЛЬНИКІВ – VARIATIONAL AUTOENCODERS (VAEs)

Івашенко Р. С.

*Національний університет «Чернігівська політехніка», Україна*

За останні кілька років генеративні моделі, засновані на глибинному навчанні, викликають все більший інтерес завдяки деяким дивовижним вдосконаленням в цій галузі. Спираючись на величезну кількість даних, добре розроблену мережеву архітектуру та інтелектуальну техніку навчання, глибинні генеративні моделі показали високу здатність створювати дуже реалістичні фрагменти різного роду контенту, наприклад зображення, тексти та звуки. Серед цих глибинних генеративних моделей виділяються дві основні родини, які заслуговують на особливу увагу: генеративні змагальні мережі (GAN) і варіаційні автокодувальники (VAE).

### **Архітектура автокодувальників**

Архітектура автокодувальників заснована на трьох компонентах:

1. *кодувальник (encoder)* – модуль, який стискає вхідні дані train-validate-test набору у закодоване представлення, яке зазвичай на кілька порядків менше, ніж вхідні дані;

2. *вузьке місце* або «*горло пляшки*» (*bottleneck*) – модуль, який містить стислі представлення знань і тому є найважливішою частиною мережі;

3. *декодувальник (decoder)* – модуль, який допомагає мережі «розпаковувати» представлення знань і реконструювати дані з їхньої закодованої форми. Потім результат порівнюється з базовою правдою.

Архітектура в цілому має вигляд, представлений на рисунку 1.

### **Зв'язок між кодувальником, вузьким місцем і декодувальником**

*Кодувальник* – це набір згорткових блоків, за якими йдуть модулі об'єднання, які стискають вхідні дані моделі в компактну секцію, яка називається вузьким місцем. За вузьким місцем слідує декодувальник, який складається з серії модулів підвищення дискретизації, щоб повернути стиснуту функцію у форму зображення. У випадку простих автокодувальників очікується, що вихідний сигнал буде таким же, як і вхідний, зі знизеним шумом. Однак для варіаційних автокодувальників це абсолютно нове зображення, сформоване з інформації про модель, яка була надана як вхідна інформація.

Найважливіша частина нейронної мережі, і за іронією долі найменша, – *вузьке місце*. Вузьке місце існує, щоб обмежити потік інформації до декодувальника від кодувальника, таким чином дозволяючи проходити лише найважливішій інформації. Оскільки вузьке місце сконструйовано таким чином, щоб у ньому було захоплено максимум інформації, якою володіє зображення, можна сказати, що вузьке місце допомагає сформувати знання-репрезентацію вхідних даних. Таким чином, структура кодувальника-декодувальника допомагає отримати максимум із зображення у формі даних і встановити корисні кореляції між різними входами в мережі.

*Декодувальник* – це набір блоків підвищення дискретизації та згортки, який реконструює вихід вузького місця. Оскільки вхідні дані для *декодувальника* є стислим представленням знань, декодувальник виконує роль «розпаковувача» і створює зображення з його прихованих атрибутів.

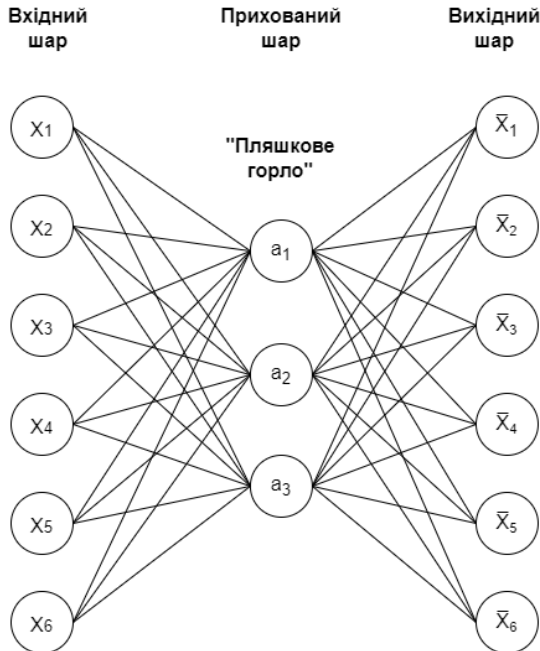


Рисунок 1 – Архітектура автокодувальника

### Тренування автокодувальника

Перед навчанням автокодувальника необхідно встановити 4 гіперпараметри:

- *Розмір коду.* Розмір коду або розмір вузького місця є найважливішим гіперпараметром, який використовується для налаштування автокодувальника. Розмір вузького місця визначає, наскільки дані потрібно стиснути.

- *Кількість шарів.* Як і в усіх нейронних мережах, важливим гіперпараметром для налаштування автокодувальників є глибина кодувальника та декодувальника. У той час як більша глибина збільшує складність моделі, менша глибина швидше обробляється.

- *Кількість вузлів на шар.* Кількість вузлів на шар визначає ваги, які ми використовуємо для кожного шару. Як правило, кількість вузлів зменшується з кожним наступним шаром в автокодувальнику, оскільки вхідні дані для кожного з цих шарів стають меншими на шарах.

– *Втрати при реконструкції.* Функція втрат, яку ми використовуємо для навчання автокодувальника, сильно залежить від типу вхідних і вихідних даних, до яких ми хочемо адаптувати автокодувальник. Якщо ми працюємо з даними зображення, найпопулярнішими функціями втрат для реконструкції є MSE Loss і L1 Loss. Якщо входи та виходи знаходяться в діапазоні  $[0,1]$ , як у MNIST, також можна використовувати бінарну перехресну ентропію як втрати при реконструкції.

### **Типи автокодувальників**

Ідея автокодувальників для нейронних мереж не нова. Перші додатки датуються 1980-ми роками. Концепція автокодувальника, яка спочатку використовувалася для зменшення розмірності та вивчення функцій, розвивалася протягом багатьох років і зараз широко використовується для вивчення генеративних моделей даних. З наявних автокодувальників найпопулярнішими на сьогодні є п'ятеро:

- понижувальні;
- розріджені;
- стягувальні;
- знешумлювальні;
- варіаційні.

*Понижувальні автокодувальники* є одним із найпростіших типів автокодувальників. Понижувальний автокодувальник приймає зображення та намагається передбачити те саме зображення як вихід, таким чином реконструюючи зображення зі стиснутої області вузького місця.

Понижувальні автокодувальники насправді не контролюються, оскільки вони не приймають жодної міток, цільова та вхідна інформація однакові. Основним використанням подібних автокодувальників є створення прихованого простору або вузького місця, яке утворює стиснуту заміну вхідних даних і може бути легко розпаковано назад за допомогою мережі, коли це необхідно.

*Розріджені автокодувальники* подібні до понижувальних тим, що використовують те саме зображення як вхідні дані та базову правду. Проте засоби, за допомогою яких регулюється кодування інформації, істотно відрізняються. У той час як понижувальні автокодувальники регулюються та налаштовуються шляхом регулювання розміру вузького місця, розріджений автокодувальник регулюється зміною кількості вузлів на кожному прихованому рівні.

Оскільки неможливо спроектувати нейронну мережу, яка має гнучку кількість вузлів на прихованих шарах, розріджені автокодувальники працюють, штрафуючи активацію деяких нейронів у прихованих шарах. Іншими словами, функція втрат має член, який обчислює кількість

нейронів, які були активовані, і забезпечує штраф, який прямо пропорційний цьому. Цей штраф, який називається функцією розрідженості, не дає нейронній мережі активувати більше нейронів і служить *регуляризатором (regularizer)*.

У той час як типові регуляризатори працюють, створюючи штраф за розміром ваг у вузлах, регуляризатор розрідженості працює, створюючи штраф за кількістю активованих вузлів.

Ця форма регуляризації дозволяє мережі мати вузли в прихованих шарах, призначені для пошуку певних особливостей у зображеннях під час навчання та розглядання проблеми регуляризації як проблеми, окремої від проблеми прихованого простору. Таким чином, можна встановити приховану розмірність простору у вузькому місці, не турбуючись про регуляризацію.

Є два основних способи, якими член регуляризатора розрідженості може бути включений у функцію втрат.

1.  $L1$ -втрата – додавання величини регуляризатора розрідженості, як і для загальних регуляризаторів (1):

$$L = |x - \bar{x}| + \lambda \sum_i |a_i^{(h)}|, \quad (1)$$

де  $h$  представляє прихований шар,  $a$  – активацію.

2.  $KL$ -розбіжність: у цьому випадку розглядають активації над набором зразків одночасно, а не підсумовуючи їх, як у методі  $L1$ -втрати. Також обмежують середню активацію кожного нейрона в цій колекції.

$$L = |x - \bar{x}| + \sum_j KL(p||\bar{p}), \quad (2)$$

де  $\bar{p} = \frac{1}{m} \sum_i [a^{(k)}(x)]$ ,  $j$  – конкретний нейрон для шару  $h$  та колекції  $m$  зразків, кожен з яких позначається як  $x$ .

Подібно до інших, *стягувальні автокодувальники* виконують завдання вивчення представлення зображення, пропускаючи його через вузьке місце та реконструюючи його в декодувальнику. Він також має термін регуляризації для запобігання засвоєнню мережею функції ідентифікації та відображення вхідних даних у вихідні дані.

Стягувальні автокодувальники працюють на основі того, що подібні вхідні дані повинні мати схоже кодування та подібне представлення прихованого простору. Це означає, що прихований простір не повинен змінюватися на величезну величину для незначних варіацій у вхідних даних.

Щоб навчити модель, яка працює разом з цим обмеженням, потрібно переконатися, що похідні активації прихованого шару малі по відношенню до вхідних даних (3):

$$k = \delta h / \delta x, \quad (3)$$

де  $h$  – прихований шар,  $x$  – вхідні дані.

Важливо зауважити, що у функції втрат (утвореної з норми похідних і втрат від реконструкції) виникає протиріччя умов.

У той час як втрата реконструкції вимагає, щоб модель виявила відмінності між двома вхідними даними та спостерігала варіації даних, норма Фробеніуса похідних говорить, що модель повинна мати можливість ігнорувати варіації вхідних даних.

Поєднання цих двох суперечливих умов в одну функцію втрат дає змогу навчити мережу, де приховані рівні тепер охоплюють лише найважливішу інформацію. Ця інформація необхідна для розділення зображень та ігнорування інформації, яка є недискримінаційною за своєю природою, а отже, не важливою.

Функцію загальних втрат можна математично виразити як:

$$L = |x - \bar{x}| + \lambda \sum_i |\nabla_x a_i^{(h)}(x)|^2, \quad (4)$$

де  $h$  – прихований шар, для якого розраховується градієнт та представлений відносно вхідних даних  $x$  як  $\nabla_x a_i^{(h)}(x)$ .

*Знешумлювальні або шумопоглинаючі автокодувальники.* Як впливає з назви, ці кодувальники видаляють шум із зображення. На відміну від розглянутих вище автокодувальників, це перший у своєму роді, який не має вхідного зображення як основної правди.

У автоматичних кодувальниках із шумом подають зашумлену версію зображення, куди шум додано за допомогою цифрових змін. Зображення із шумом подається на архітектуру кодувальника-декодувальника, а вихід порівнюється з основним істинним зображенням.

Автоматичний кодувальник усуває шум, вивчаючи представлення вхідного сигналу, де шум можна легко відфільтрувати. Хоча видалення шуму безпосередньо із зображення здається складним, автокодувальник виконує це шляхом відображення вхідних даних у різновид нижчої розмірності (як у понижувальних автокодувальниках), де фільтрація шуму стає набагато легшою.

По суті, шумопоглинаючі автокодувальники працюють за допомогою нелінійного зменшення розмірності. Функція втрат, як правило, використовується в цих типах мереж, це втрати  $L2$  або  $L1$ .

Стандартні та *варіаційні автокодувальники* навчаються представляти вхідні дані лише в стисnutій формі, що називається латентним простором або вузьким місцем.

Таким чином, латентний простір, утворений після навчання моделі, не обов'язково є безперервним і, по суті, може бути нелегким для інтерполяції. Потім латентні атрибути вибираються зі сформованого латентного розподілу та подаються в декодувальник, реконструюючи вхідні дані. Мотивацію вираження прихованих атрибутів як розподілу ймовірностей можна дуже легко зрозуміти за допомогою статистичних виразів. Це працює наступним чином.

Потрібно визначити характеристики латентного вектора  $z$ , який реконструює вихідні дані за певних вхідних даних. По суті, ми хочемо вивчити характеристики латентного вектора за певного виходу  $x[p(z|x)]$ .

Хоча математично оцінити розподіл стає неможливо, набагато простішим і легшим варіантом є створення параметризованої моделі, яка може оцінити розподіл. Він робить це шляхом мінімізації розбіжності  $KL$  між оригінальним розподілом і параметризованим.

Виражаючи параметризований розподіл як  $q$ , можна зробити висновок про можливі приховані атрибути, які використовуються в реконструкції зображення.

Припускаючи, що *a priori*  $z$  є багатовимірною моделлю Гауса, можна побудувати параметризований розподіл як такий, що містить два параметри: середнє значення та дисперсію. Відповідний розподіл потім дискретизується та подається в декодувальник, який потім переходить до реконструкції вхідних даних із точок вибірки. Хоча теоретично це здається легким, це стає неможливим, оскільки зворотнє поширення не може бути визначено для процесу випадкової вибірки, що виконується перед подачею даних у декодувальник.

Щоб подолати цю перешкоду, використовують трюк перепараметризації – вміло визначений спосіб обійти процес вибірки з нейронної мережі. Таким чином, варіаційний автокодувальник дозволяє вивчати плавне представлення латентного стану вхідних даних.

Щоб навчити VAE, використовують дві функції втрат: втрату при реконструкції та розбіжність  $KL$ . У той час як втрати при реконструкції дозволяють розподілу правильно описувати вхідні дані, зосереджуючись лише на мінімізації втрат при реконструкції, мережа вивчає дуже вузькі розподіли – схожі на дискретні латентні атрибути. Втрата розбіжності  $KL$  заважає мережі вивчати вузькі розподіли та намагається наблизити розподіл до одиничного нормального розподілу.

Узагальнену функцію втрат можна виразити як (5):

$$L = |x - \bar{x}| + \beta \sum_i KL(q_j(z|x)||N(0,1)), \quad (5)$$

де  $N$  – одиничний нормальний розподіл,  $\beta$  – ваговий коефіцієнт.

Основне використання варіаційних автокодувальників можна побачити в генеративному моделюванні. Вибірка з навченого латентного розподілу та передача результату в декодувальник може призвести до генерації даних у автокодувальнику.

### Список використаних джерел

1. Sparse autoencoder [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://web.stanford.edu/class/cs294a/sparseAutoencoder\\_2011new.pdf](https://web.stanford.edu/class/cs294a/sparseAutoencoder_2011new.pdf).
2. Extracting and Composing Robust Features with Denoising Autoencoders [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.cs.toronto.edu/~larocheh/publications/icml-2008-denoising-autoencoders.pdf>.
3. Contractive Auto-Encoders: Explicit Invariance During Feature Extraction [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.icml-2011.org/papers/455\\_icmlpaper.pdf](http://www.icml-2011.org/papers/455_icmlpaper.pdf).
4. What Regularized Auto-Encoders Learn from the Data-Generating Distribution [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://jmlr.csail.mit.edu/papers/volume15/alain14a/alain14a.pdf>.
5. Applied Deep Learning - Part 3: Autoencoders [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://towardsdatascience.com/applied-deep-learning-part-3-autoencoders-1c083af4d798>.

УДК 004.89

## ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ УСПІШНОСТІ STARTUP-ПРОЕКТІВ

Мамчуровський В.С., Прищепя Д.О., Щасна А. П.,  
Трунова О.В., Дорош М. С.

*Національний університет «Чернігівська політехніка», Україна*

На сьогоднішній день створення startup-проектів є одним з «найгарачіших» трендів світової економіки [1]. Стартапери витрачають багато часу, зусиль та коштів заради реалізації власної ідеї, однак, як правило, вони не досягають очікуваних результатів. Саме тому проведен-

ня аналізу, виявлення «більових точок» startup-проекту, підбір рекомендацій для його успішного впровадження та подальшого розвитку є надзвичайно актуальною і непростою проблемою, яку розв'язує запропонована в рамках даної роботи інформаційна система підтримки прийняття рішень щодо успішності startup-проектів.

Система повинна бути реалізована з дотриманням вимог загальних стандартів, а також мати можливість подальшої підтримки та розвитку. Запропонована модель інформаційної системи буде здійснювати підтримку процесів управління startup-проекту з позиції постійного його аналізу та своєчасного внесення змін до проектної документації, а також прийняття рішень щодо продовження реалізації проекту та переходу на наступний етап його життєвого циклу.

Для виконання основного функціоналу системи була використана нейро-нечітка модель інформаційної технології комплексної оцінки рівня успішності startup-проектів [2]. Модель складається з наступних підсистем, які можуть забезпечити оцінку успішності startup-проекту та пошук подібних за обраними критеріями проектів: підсистема обробки даних, підсистема нейро-нечіткої оцінки startup-проекту, підсистема підбору стратегій розвитку startup-проекту, а також пошуку успішних startup-проектів.

Для представлення основного процесу інформаційної системи, яка буде забезпечувати реалізацію моделі, розроблено концептуальну модель у нотації IDEF0 (рис. 1).

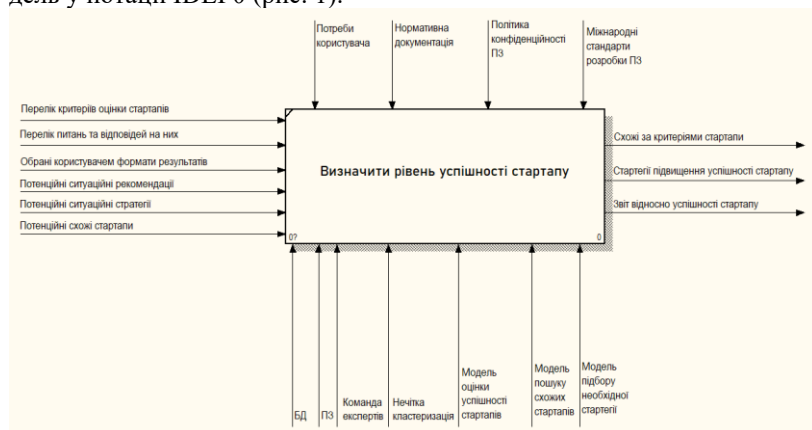


Рисунок 1 – Концептуальна модель системи у нотації IDEF0

В результаті декомпозиції загальної задачі «Визначити рівень успішності startup-проекту» процес включає наступні основні роботи:

наповнити систему вхідною інформацією; згенерувати анкети; провести анкетування; оцінити рівень успішності startup-проекту за кожним з обраних користувачем критерієм; оцінити загальний рівень успішності startup-проектів; створити звіт відносно успішності startup-проекту, підібрати схожі бізнес-ідеї та сформуванати індивідуальну стратегію досягнення успіху.

Грунтуючись на виділених процесах декомпозиції системи розроблено прототип інтерфейсу майбутнього сервісу. Прототип дозволяє до розробки дизайну зрозуміти, яка саме інформація повинна бути на кожній сторінці. Це дозволяє приділити увагу тому, для чого саме потрібна кожна сторінка.

Гіпотеза для створення прототипу полягає у тому, що користувачі повинні інтуїтивно зрозуміти інтерфейс сервісу та без додаткового технічного супроводу працювати в системі. На основі цього обрали основні критерії для створення прототипу: інтуїтивно-зрозумілий інтерфейс, послідовність, доступність, грамотне комбінування кольорів та шрифтів, баланс усіх елементів на сторінці та правильне розставлення акцентів. Першу сторінку наповнено чек-боксами, що відповідають критеріям для аналізу, за яким далі оцінюється рівень успішності startup-проекту (рис. 2).

HOME ABOUT

### Estimate your startup by some clicks

- Vitality of idea(4)
  - Novelty of the idea
  - Satisfaction of social needs
  - Correspondence to the spirit of the times
  - Practical expediency
- Investment attractiveness of the idea(3)
  - Type of idea
  - Commercial attractiveness
  - Field of application
- Competitiveness of the idea(3)

Next

Рисунок 2 – Зовнішній вигляд сторінки вибору критеріїв для аналізу

Питання анкети створено у вигляді слайдеру, який в якості значень використовує відповіді у вигляді відсотків (рис. 3).



Рисунок 3 – Зовнішній вигляд питання створеної анкети

Створений прототип сторінки, що відображає звіт відносно успішності оцінки startup-проектів наповнено діаграмами, які є ефективним способом передачі інформації та дозволяють користувачу зрозуміти аналіз без інтерпретації великої кількості тексту (рис. 4).

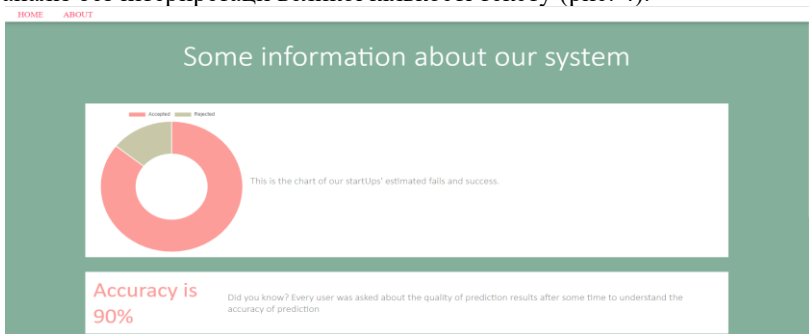


Рисунок 4 – Зовнішній вигляд сторінки статистики системи

Розроблено прототип нейро-нечіткої мережі на мові програмування R. Для даного етапу розробки вдалось досягти значення середньоквадратичної похибки (RSE) 4.65, а симетрична середня абсолютна похибка (SMAPE) складає 0.08 [3].

Основним завданням розробки є створення ІС підтримки прийняття рішень щодо успішності startup-проектів, яка реалізує можливість проведення аналізу startup-проекту в реальному часі з подальшим наданням результатів на основі отриманих даних. З результатів тренування прототипу інтерфейсу, який був розроблений на основі запропонованої моделі, була доведена гіпотеза інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу. Результати тренування прототипу нейро-нечіткої мережі на реальних startup-проектах довели, що такий підхід має високу наближеність до реальних значень, але зрозуміло, що зі збільшенням кількості реальних даних, одержаних у результаті опитування та накопичення досвіду з реалізації через підтримку взаємодії з користувачами системи, точність оцінки буде збільшуватися.

Таким чином, запропонована інформаційна система цілком задовольняє потреби користувачів і може бути використана для оцінки реальних startup-проектів. Зважаючи на актуальність та адекватність результатів роботи запропонованої моделі на прикладі прототипу, подальші дослідження будуть пов'язані з повною програмною реалізацією моделі та її тестуванням.

## Література

3. The Role of Startups in Economic Prosperity of Developing Countries [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sentientso.com/the-role-of-startups-in-economic-prosperity-of-developing-countries/>.

4. Мамчуровський В., Павлюк В., Прищепя Д., Трунова О., Дорош М. Нейро-нечітка модель інформаційної технології комплексної оцінки рівня успішності startup-проектів. Технічні науки та технології. 2021. № 4(26). С. 87-96.

5. Chicco, D., Warrens, M. J., & Jurman, G. (2021). The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation. Peerj computer science, 7, [e623]. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.6>.

УДК 004.942:621.039.7

## МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ЗАБРУДНЕННЯ ТЕРИТОРІЇ ПРОММАЙДАНЧИКА ЧАЕС ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ARCGIS

Д.О.Хоменко<sup>1,2</sup>, Є. А.Меньшенін.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Кірова, 36а,  
Чорнобиль, 07270, Україна

<sup>2</sup> Інститут проблем математичних машин та систем НАН України,  
пр-т Академіка Глушкова, 42, Київ, 03187, Україна

В роботі розглянута сучасна радіаційна обстановка та виконано моделювання прогнозу оцінки радіаційного стану (через 100 років) на проммайданчику ЧАЕС за допомогою програмного пакету Surfer [1].

Для виконання моделювання прогнозової оцінки радіаційного стану проммайданчика ЧАЕС були використані значення потужності дози (ПД) та поверхневого забруднення (ПЗ) радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$ .

В основу виконання розрахунку ПЗ були закладені дані станом на 2011 рік [2], які були перераховані на 2020 рік та. Перерахунок величин поверхневого забруднення радіонуклідами на 2020 та 2120 роки виконувались з врахуванням періоду піврозпаду та виводу з експлуатації низки об'єктів на території проммайданчика ЧАЕС, виходячи з терміну проектної експлуатації.

На рисунку 1 наведена картограма сучасного стану ПД на майданчику ЧАЕС з об'єктами, які враховувались при порівнянні радіаційного стану на 2020 та 2120 роки.

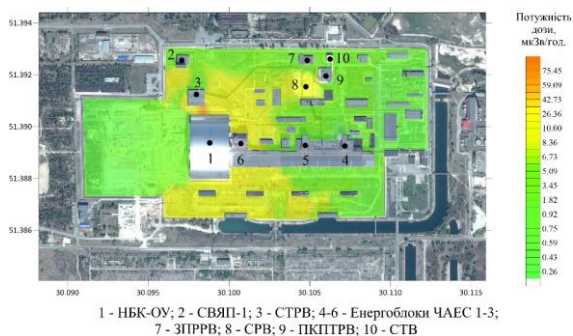


Рисунок 1 – Значення ПД на майданчику ЧАЕС та об'єкти які формують радіаційний фон

При виконанні моделювання прогнозової оцінки радіаційних параметрів проммайданчика ЧАЕС величини ПД не враховувалися, так як неможливо передбачити зміну гамма-поля протягом 100 років. Це пов'язано із дезактивацією території проммайданчика, виведенням з експлуатації низки об'єктів та можливого створенням нових об'єктів інфраструктури по поводженню з радіоактивними вхідними (РАВ) [3] (при вилученні паливовмісних матеріалів та радіоактивних відходів з об'єкта «Укриття»). Все це в комплексі буде призводити до різновекторної зміни гамма- поля.

Моделювання прогнозової оцінки радіаційного стану ПЗ станом на 2120 рік виконане з врахуванням виведених з експлуатації проммайданчиків ядерних установок та об'єктів по поводженню з РАВ, час природнього розпаду цих елементів та врахуванням випадіння радіонуклідів при експлуатаційних викидах на поверхню землі.

Для виконання моделювання параметри радіаційного стану об'єкту «Укриття» (ОУ) станом на 2120 рік, прийняті консервативно. Прийнято, що ОУ відповідає параметрам приповерхневого сховища [3]:

Після отримання всіх вихідних даних за допомогою програмного пакету Surfer побудовано картосхеми ПЗ радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$ . Отримані картосхеми ПЗ радіонуклідами  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  на 2020 та 2120 роки наведено на рисунках 2 – 5.

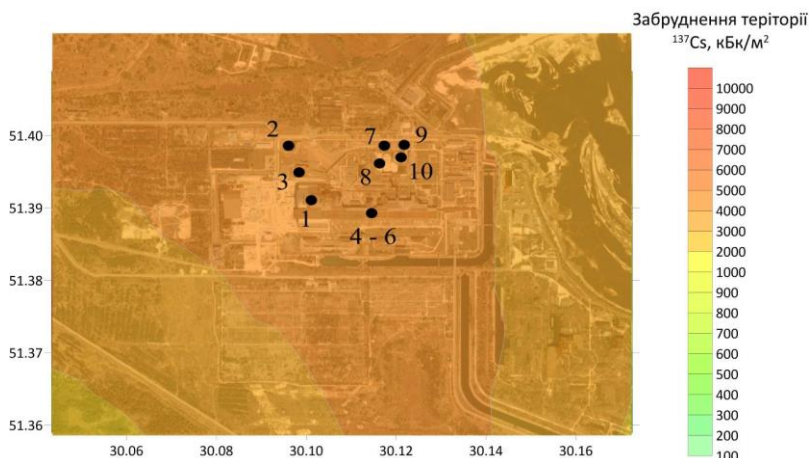


Рисунок 2 – Картосхема ПЗ радіонуклідом  $^{137}\text{Cs}$  станом на 2020 рік

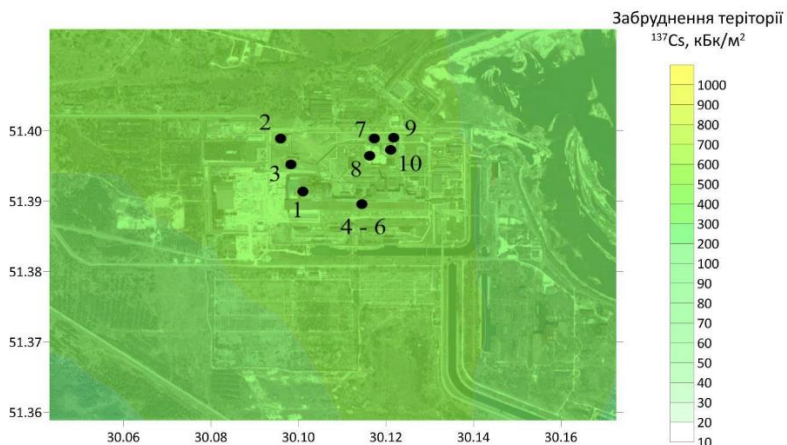


Рисунок 3 – Картосхема ПЗ радіонуклідом  $^{137}\text{Cs}$  станом на 2120 рік

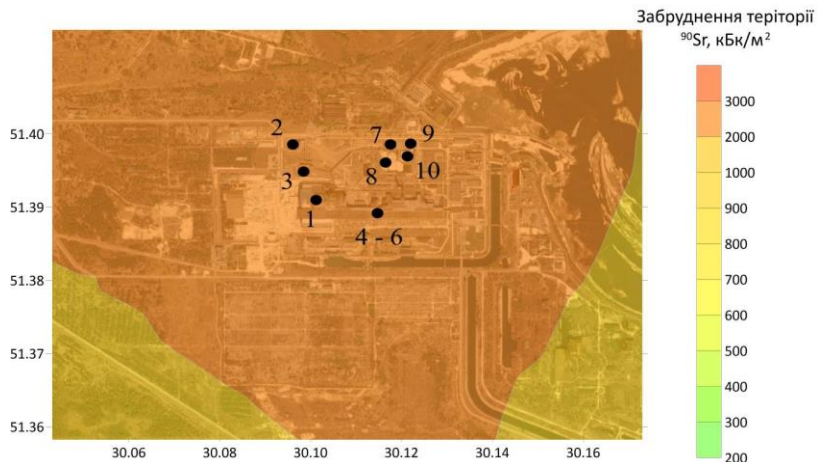


Рисунок 4 – Картохема ПЗ радіонуклідом  $^{90}\text{Sr}$  станом на 2020 рік

Після обробки та аналізу отриманих результатів моделювання прогностичної оцінки радіаційного стану отримали зменшення активності радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  більше ніж у 15 разів.

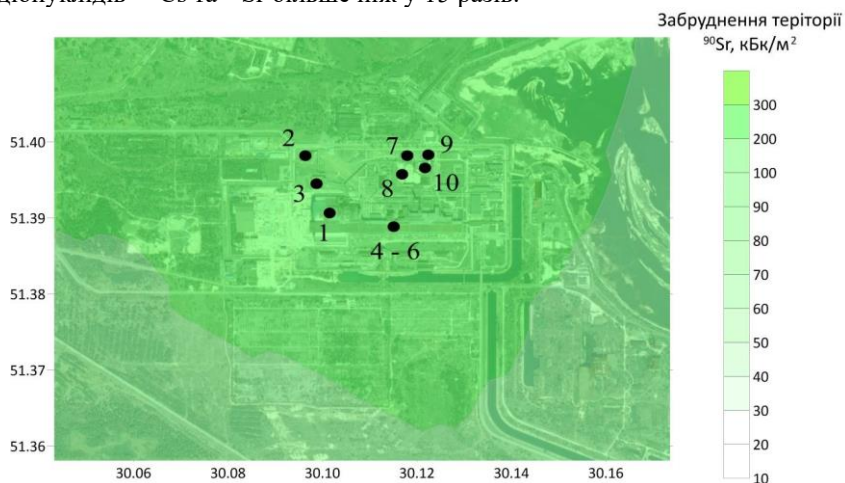


Рисунок 5 – Картохема ПЗ радіонуклідом  $^{90}\text{Sr}$  станом на 2120 рік

Враховуючи зняття з експлуатації ЯУ та об'єктів поводження з РАВ та консервативність розрахунку, можна зробити висновок, що

вплив радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  на формування радіаційного стану буде незначний.

Також існує потенційна можливість зміни радіаційного стану під час розвитку об'єктів інфраструктури по поводженню з РАВ та ПВМ у майбутньому. Враховуючи велику невизначеність майбутніх об'єктів інфраструктури, при розрахунку це не враховувалось.

## **Література**

1. <https://www.goldensoftware.com/products/surfer>
2. Звіт про НДР: Комплексна оцінка сукупних впливів на навколишнє середовище радіаційно-небезпечних об'єктів Чорнобильської зони відчуження.-Чорнобиль, ІПБ АЕС, 2020.
3. Закон України «Про Загальнодержавну програму зняття з експлуатації Чорнобильської АЕС та перетворення об'єкта "Укриття" на екологічно безпечну систему».-Відомості ВР України, 2009 р., № 24, ст. 300; 2012 р., № 23, ст. 231; 2018 р., № 47, ст.376.
4. «Стратегія перетворення об'єкта «Укриття»» (2002).

**НАУКОВЕ ВИДАННЯ**

**МАТЕМАТИЧНЕ ТА ІМІТАЦІЙНЕ  
МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ  
МОДС 2022**

**СІМНАДЦЯТА МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ**  
(14 – 16 листопада 2022 р., Україна, м. Чернігів)

Тези доповідей

Казимир В.В., д.т.н., професор, НУ "Чернігівська політехніка"  
Білоус І.В., к.т.н., доцент, НУ "Чернігівська політехніка"  
Хропаций О.М., аспірант, НУ "Чернігівська політехніка"  
Войцеховська М.М., д.ф., НУ "Чернігівська політехніка"

Об'єм даних 2.92 Мб. Зам. № 3/23.

Національний університет "Чернігівська політехніка"  
14035, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до Державного реєстру видавців,  
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції  
серія ДК № 4802 від 01.12.2014 р.