

можна зробити висновок, що вдосконалений метод є більш захищеним та ефективнішим, ніж початковий метод.

Таким чином, запропонований вдосконалений алгоритм нанесення водяних знаків є більш стійким до низки поширених геометричних атак на тривимірні сітчасті моделі, та показує кращий результат, ніж оригінальний алгоритм пошуку опорних точок для вбудовування водяного знаку.

Обговорення результатів та перспективи подальшого розвитку досліджень

Отримані результати свідчать, що за рахунок заміни першого етапу роботи оригінального алгоритму вбудовування водяних знаків у тривимірні моделі, а саме завдяки впровадженню алгоритму 3D-розпізнавання реберних вершин для пошуку опорних точок, було забезпечено стійкість вдосконаленого алгоритму до геометричних атак, що робить його надійнішим порівняно з початковим методом пошуку опорних точок для вбудовування водяного знаку. Проте подальших досліджень потребує визначення методів адаптації вдосконаленого алгоритму для роботи з динамічними тривимірними моделями, що змінюються з часом.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

У даній роботі досліджено алгоритм вбудовування цифрових водяних знаків для тривимірних моделей, який використовує пошук опорних точок та базується на знаходженні оцінки різкої зміни площі. Визначено недолік роботи першого етапу даного алгоритму, який полягає у тому, що опорні точки не завжди є надійними для вбудовування інформації. Крім того, геометричні атаки на 3D-модель ускладнюють їх пошук та впорядкування. Враховуючи вказані прогалини, було удосконалено досліджуваний алгоритм шляхом впровадження алгоритму 3D-розпізнавання реберних вершин, для знаходження більш стійких опорних точок, покращуючи таким чином стійкість невидимого водяного знаку до геометричних операцій перетворення у тривимірних моделях. Також було розроблено алгоритм, що реалізує вдосконалений метод вбудовування цифрового водяного знаку в тривимірну модель та проведемо тестування запропонованого алгоритму за допомогою виконання різних атак на обрані 3D-моделі. Результати тестування, що включають порівняння з початковим методом та визначення непомітності за допомогою PSNR, свідчать про те, що вдосконалений алгоритм проявляє більшу стійкість до геометричних атак порівняно з початковим методом. А саме, стійкість водяного знаку, вбудованого у складну тривимірну модель, залишається високою при спрощенні сітки до 15%, амплітуді шуму до 0,035% та обрізці моделі на 30%. Таким чином, на основі вдосконаленого алгоритму вбудовування водяних знаків для 3D-моделей було досягнуто підвищення стійкості невидимих цифрових водяних знаків до геометричних операцій перетворення.

Література

1. Su J. K., Eggers J. J., Girod B. Analysis of digital watermarks subjected to optimum linear filtering and additive noise. *Signal Processing*. 2001. Vol. 81, no. 6. P. 1141–1175. URL: [https://doi.org/10.1016/s0165-1684\(01\)00038-x](https://doi.org/10.1016/s0165-1684(01)00038-x)
2. Ashourian M., Enteshari R., Jeonghee Jeon. Digital watermarking of three-dimensional polygonal models in the spherical coordinate system. *Proceedings Computer Graphics International*, 2004., Greece. URL: <https://doi.org/10.1109/cgi.2004.1309270>
3. Robust Watermarking of Polygonal Meshes Based on Vertex Norms Variance Distortion / Y. Ben Amar та ін. *Journal of Global Information Management*. 2017. Vol. 25, no. 4. P. 46–60. URL: <https://doi.org/10.4018/jgim.2017100104>
4. Borah S., Borah B. Watermarking Techniques for Three Dimensional (3D) Mesh Authentication in Spatial Domain. *3D Research*. 2018. Vol. 9, no. 3. URL: <https://doi.org/10.1007/s13319-018-0194-7>
5. Wang X., Zhan Y. A zero-watermarking scheme for three-dimensional mesh models based on multi-features. *Multimedia Tools and Applications*. 2017. Vol. 78, no. 19. P. 27001–27028. URL: <https://doi.org/10.1007/s11042-017-4666-1>
6. Ai Q.S., Liu Q., Zhou Z.D., Yang L., Xie S.Q. A new digital watermarking scheme for 3D triangular mesh models. *Signal Processing*. 2009. Vol. 89, no. 11. – P. 2159–2170. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1016/j.sigpro.2009.04.031>
7. Hubeli A., Gross M. Multiresolution Feature Extraction from Unstructured Meshes. *IEEE Visualization*. 2001. – 8 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/220943458_Multiresolution_Feature_Extraction_from_Unstructured_Meshes

References

1. Su J. K., Eggers J. J., Girod B. Analysis of digital watermarks subjected to optimum linear filtering and additive noise. *Signal Processing*. 2001. Vol. 81, no. 6. P. 1141–1175. URL: [https://doi.org/10.1016/s0165-1684\(01\)00038-x](https://doi.org/10.1016/s0165-1684(01)00038-x)
2. Ashourian M., Enteshari R., Jeonghee Jeon. Digital watermarking of three-dimensional polygonal models in the spherical coordinate system. *Proceedings Computer Graphics International*, 2004., Greece. URL: <https://doi.org/10.1109/cgi.2004.1309270>

3. Robust Watermarking of Polygonal Meshes Based on Vertex Norms Variance Distortion / Y. Ben Amar та ін. *Journal of Global Information Management*. 2017. Vol. 25, no. 4. P. 46–60. URL: <https://doi.org/10.4018/jgim.2017100104>
4. Borah S., Borah B. Watermarking Techniques for Three Dimensional (3D) Mesh Authentication in Spatial Domain. *3D Research*. 2018. Vol. 9, no. 3. URL: <https://doi.org/10.1007/s13319-018-0194-7>
5. Wang X., Zhan Y. A zero-watermarking scheme for three-dimensional mesh models based on multi-features. *Multimedia Tools and Applications*. 2017. Vol. 78, no. 19. P. 27001–27028. URL: <https://doi.org/10.1007/s11042-017-4666-1>
6. Ai Q.S., Liu Q., Zhou Z.D., Yang L., Xie S.Q. A new digital watermarking scheme for 3D triangular mesh models. *Signal Processing*. 2009. Vol. 89, no. 11. – P. 2159–2170. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1016/j.sigpro.2009.04.031>
7. Hubeli A., Gross M. Multiresolution Feature Extraction from Unstructured Meshes. *IEEE Visualization*. 2001. – 8 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/220943458_Multiresolution_Feature_Extraction_from_Unstructured_Meshes

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-34>

УДК 621.373

ЗДОРЕНКО Валерій

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
<https://orcid.org/0000-0001-6508-4290>
alzd123@meta.ua

МАТЯШ Олександр

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
<https://orcid.org/0009-0000-8366-2066>
matasaleksandr97@gmail.com

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ХВИЛЬ В ПОЛІМЕРНОМУ ПОКРИТТІ НА МЕТАЛЕВІЙ ПЛАСТИНЦІ

В роботі проаналізовано та отримано залежності для модулів комплексних коефіцієнтів проходження та відбиття ультразвукових хвиль від двошарового матеріалу – полімерного покриття на металевій пластинці. Розглянуто можливість застосування ультразвукових хвиль для визначення товщини полімерного покриття на металевій пластинці малої товщини. Застосування інформативних параметрів хвиль для контролю товщини полімерного покриття дозволить оперативно визначати зазначений параметр в процесі нанесення плівки на металеву пластинку. Це дозволить вдосконалити технологічний процес нанесення полімерного покриття на металеву основу.

Ключові слова: модулі комплексних коефіцієнтів проходження та відбиття, акустичний опір, полімерне покриття, товщина матеріалу, металева пластинка.

ZDORENKO Valeriy, MATIASH Oleksandr

National Technical University of Ukraine “Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

ANALYSIS OF THE PROPAGATION PROCESS OF ULTRASONIC WAVES IN A POLYMER COATING ON A METAL PLATE

The paper analyzed and obtained dependencies for the modules of the complex coefficients of transmission and reflection of ultrasonic waves from a two-layer material - a polymer coating on a metal plate. The possibility of using ultrasonic waves to determine the thickness of the polymer coating on a thin metal plate is considered. The use of informative parameters of the waves to control the thickness of the polymer coating will allow to quickly determine the specified parameter in the process of applying the film to the metal plate. This will improve the technological process of applying a polymer coating to a metal base.

Today, in many industries, a polymer coating of thin metal products is used to protect the metal base from negative environmental factors that can affect the integrity of the material and destroy it. At the same time, measurement of the thickness of the coating can be carried out by contact and destructive methods, which makes operational control during the technological process of applying a polymer coating on a metal base impossible. This, in turn, means that the quality of such a coating will depend on the given technical parameters of the technological equipment for applying a polymer coating on a metal base without the ability to control and regulate the current value of the application thickness. Therefore, it is necessary to analyze and investigate the possibility of using new methods and means of measuring the thickness of a polymer coating on a metal base to ensure operational control of this parameter in production.

In order to quickly determine the thickness of the polymer coating, it is necessary to take into account that the ultrasonic signal passing through the two-layer material is a superposition of signals. Without a coating, most of the ultrasonic waves pass through the thin metal plate, in which case the total attenuation of the ultrasonic signal will be less than the attenuation of ultrasonic waves in such a material with a polymer coating. Based on the above, it is necessary to determine how different the amplitude of the ultrasonic signal that passed or reflected from the controlled coating material on the metal plate and the material without such coating is different.

Key words: modules of complex transmission and reflection coefficients, acoustic resistance, polymer coating, material thickness, metal plate.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Сьогодні в багатьох галузях промисловості застосовується полімерне покриття металевих виробів малої товщини для забезпечення захисту металевої основи від негативних факторів навколишнього середовища, що можуть впливати на цілісність матеріалу та руйнувати його. При цьому вимірювання товщини покриття можна здійснювати контактними та руйнівними методами, що робить неможливим оперативний контроль в ході технологічного процесу нанесення полімерного покриття [1-3] на металеву основу. Це, в свою чергу, означає, що якість такого покриття буде залежати від заданих технічних параметрів технологічного обладнання для нанесення полімерного покриття на металеву основу без можливості контролювати та регулювати поточне значення товщини нанесення. Тому необхідно проаналізувати та дослідити можливість застосування нових методів та засобів вимірювань товщини

полімерного покриття на металевій основі для забезпечення оперативного контролю цього параметру на виробництві.

Для того, щоб оперативно визначити товщину полімерного покриття, необхідно враховувати, що ультразвуковий сигнал, який проходить крізь двошаровий матеріал представляє собою суперпозицію сигналів [4]. Без покриття більша частина ультразвукових хвиль проходить скрізь металеву пластинку малої товщини, і в такому випадку загальне згасання ультразвукового сигналу буде меншим ніж згасання ультразвукових хвиль в такому матеріалі із полімерним покриттям. Виходячи з наведеного, необхідно визначити наскільки відрізняється амплітуда ультразвукового сигналу, який пройшов або відбився від контрольованого матеріалу покриття на металевій пластинці та матеріалу без такого покриття.

З безконтактних перетворювачів [5-8], які можна використовувати для вимірювання товщини полімерної плівки в процесі виробництва, які є безпечними для людини та простими у налагодженні є ультразвукові перетворювачі. Безконтактні ультразвукові перетворювачі, прилади та системи, які можна використовувати для визначення товщини полімерного покриття матеріалу, є перспективними для отримання інформації про значення товщини покриття в кожній точці контрольованого матеріалу в процесі його виробництва. Це дозволить, у свою чергу, забезпечувати якісні характеристики готової продукції на досить високому рівні та вдосконалити у подальшому технологічне обладнання для різних процесів з нанесення полімерного покриття на металеву поверхню.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є проведення аналізу можливості застосування амплітуди ультразвукових хвиль для вимірювання товщини полімерного покриття на металевій пластинці в процесі виробництва.

Виклад основного матеріалу

Металева пластинка з полімерним покриттям є двошаровим матеріалом з різних складових за щільністю та швидкістю розповсюдження ультразвукових хвиль.

Розглянемо проходження плоскої ультразвукової хвилі скрізь контрольований двошаровий матеріал (рис.1) при її нормальному падінні із середовища (повітря) з акустичним опором Z_1 . Сам матеріал полімерного покриття з товщиною шару h_1 , що має акустичний опір Z_2 , другий шар є матеріалом металевої пластинки з товщиною h_2 , що має акустичний опір Z_3 , останній шар спирається на повітряне середовище з акустичним опором Z_1 .

Амплітудне співвідношення ультразвукової хвилі, яка проходить контрольований матеріал, до ультразвукової хвилі, що падає на нього, можна подати модулем комплексного коефіцієнта проходження крізь двошаровий матеріал металевої пластинки з полімерним покриттям. Такий модуль можна поати для двошарового матеріалу наступним виразом [2, 3]:

$$|W| = \sqrt{\frac{(D(D-C) + F(F-E))^2 + (D \cdot E - C \cdot F)^2}{(D^2 + F^2)^2}}, \quad (1)$$

де

$$C = Z_3 \cdot (Z_2^2 \cdot Z_3 \cdot \operatorname{tg}(K_2 h_1) + Z_2 \cdot Z_3^2 \cdot \operatorname{tg}(K_3 h_2)) - Z_1 \cdot (Z_1 Z_3^2 \cdot \operatorname{tg}(K_2 h_1) + Z_1 Z_2 Z_3 \cdot \operatorname{tg}(K_3 h_2)); \quad (2)$$

$$D = Z_3 \cdot (Z_2^2 \cdot Z_3 \cdot \operatorname{tg}(K_2 h_1) + Z_2 \cdot Z_3^2 \cdot \operatorname{tg}(K_3 h_2)) + Z_1 \cdot (Z_1 Z_3^2 \cdot \operatorname{tg}(K_2 h_1) + Z_1 Z_2 Z_3 \cdot \operatorname{tg}(K_3 h_2));$$

$$E = Z_3 \cdot (Z_1 Z_2 Z_3 - Z_1 Z_3^2 \cdot \operatorname{tg}(K_2 h_1) \operatorname{tg}(K_3 h_2)) - \\ - Z_1 \cdot (Z_2 Z_3^2 - Z_2^2 Z_3 \cdot \operatorname{tg}(K_2 h_1) \operatorname{tg}(K_3 h_2));$$

$$F = Z_3 \cdot (Z_1 Z_2 Z_3 - Z_1 Z_3^2 \cdot \operatorname{tg}(K_2 h_1) \operatorname{tg}(K_3 h_2)) + \\ + Z_1 \cdot (Z_2 Z_3^2 - Z_2^2 Z_3 \cdot \operatorname{tg}(K_2 h_1) \operatorname{tg}(K_3 h_2)),$$

де K_2 – хвильове число полімерного покриття; K_3 – хвильове число матеріалу пластинки.

Амплітудне співвідношення ультразвукової хвилі, яка відбивається від контрольованого матеріалу, до хвилі, яка падає на нього, для ультразвукового сигналу можна подати модулем комплексного коефіцієнта відбиття від двошарового матеріалу металевої пластинки з полімерним покриттям. Такий модуль комплексного коефіцієнту відбиття для двошарового матеріалу відповідно до залежності (1) та враховуючи (2) можна подати наступним виразом:

$$|V| = \sqrt{\frac{(C \cdot D + E \cdot F)^2 + (D \cdot E - C \cdot F)^2}{(D^2 + F^2)^2}}. \quad (3)$$

Використовуючи отримані залежності (1) та (3) можна проаналізувати проходження та відбиття ультразвукових хвиль від двошарового матеріалу.

Отримавши аналітичні залежності для ультразвукових хвиль можна дослідити різні двошарові матеріали на взаємодію з цими хвилями. Через зміну амплітудних співвідношень ультразвукових хвиль можна показати їх взаємодію із самим матеріалом, який може мати різну структуру та складові шари з різними акустичними опорами. Також використовуючи отримані залежності можна проаналізувати проходження ультразвукових хвиль крізь двошаровий матеріал, що дозволить змоделювати роботу вимірювальних каналів безконтактних приладів для матеріалів з різним нанесеним покриттям.

Для моделювання процесу взаємодії ультразвукових хвиль з контрольованим двошаровим матеріалом в MathCAD розглянемо суцільну тонку пластинку металу, яка вкрита полімерним шаром плівки. Розповсюдження у цьому двошаровому матеріалі ультразвукової хвилі можна визначити як суперпозицію складових коливань, що відбиваються і проходять відповідні межі середовищ полімеру, пластинки металу та повітря, що наведено на рис.1.

На рис.2 показано амплітудні співвідношення $|W|$ та $|V|$ ультразвукових хвиль. Ці співвідношення наведені в залежності від товщини матеріалу h для кожного шару. Показаний зріз при $h = 4$ мкм для значень амплітудних співвідношень на рис.2. Модулі комплексних коефіцієнтів проходження хвиль $|W|$ для металевої пластинки з полімерним покриттям показано на рис.3. Вони порівнюються з аналогічним параметром тільки для одного шару металевої пластинки без плівки. Показано зміну амплітудних співвідношень ультразвукових хвиль з акустичним опором першого шару плівки при $Z_2 = 1939360 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, з акустичним опором другого шару металевої пластинки при $Z_3 = 62532000 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, при цьому, акустичний опір повітря $Z_1 = Z_4 = 422 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, частота ультразвукових хвиль дорівнює 75 кГц .

Проаналізуємо процес проходження ультразвукових хвиль крізь двошаровий матеріал в MathCAD. Окремо для порівняння часткового впливу товщин кожного із шарів двошарового матеріалу на згасання амплітуди ультразвукових хвиль побудуємо залежності модулів комплексних коефіцієнтів проходження та відбиття ультразвукових хвиль. Для шару полімерного матеріалу ці залежності модулів будуть більш пологими, якщо порівнювати їх з такими залежностями для пластинки металу, що пов'язано із значною різницею в акустичних опорах цих матеріалів. При певному співвідношенні малих товщин цих матеріалів можна отримати рівномірний розподіл за енергією хвиль, які проходять крізь двошаровий матеріал, та хвиль, що відбиваються від нього.

Також можливий випадок, коли буде відбуватися рівномірний розподіл за енергією хвиль, які взаємодіють із кожним шаром такого матеріалу. Це можна отримати, якщо товщина самої металевої основи буде значно меншою від товщини шару полімерного матеріалу.

Для можливості застосування безконтактного методу вимірювання товщини полімерного покриття на пластинці металу, необхідно спочатку проаналізувати як саме буде змінюватися амплітуда ультразвукових

хвиль при проходженні та відбитті хвиль від кожного із шарів контрольованого матеріалу окремо, при розташуванні їх в повітряному середовищі, а вже потім розглянути комплексну взаємодію двох шарів матеріалу на амплітуду ультразвукових хвиль, які проходять або відбиваються від нього.

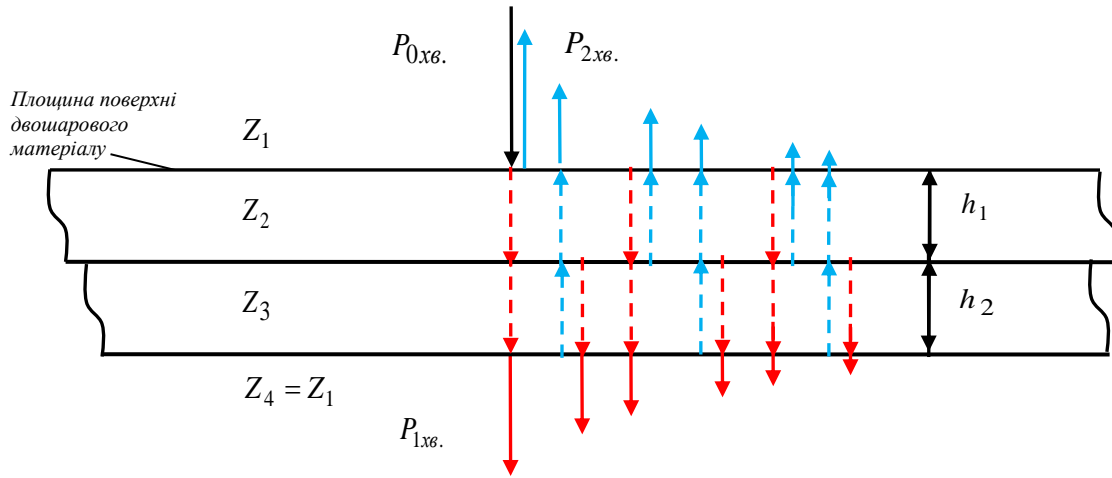


Рис. 1. Проходження ультразвукових хвиль крізь двошаровий матеріал полімерної плівки з товщиною h_1 та металеві пластинки з товщиною h_2 у повітряному середовищі

На рис.4,а показана поверхня, яка побудована за залежністю (1) для модуля комплексного коефіцієнта проходження ультразвукових хвиль від товщин складових шарів матеріалу, а на рис. 4,б наводиться поверхня, яка побудована за залежністю (3) для модуля комплексного коефіцієнта відбиття ультразвукових хвиль від товщин складових шарів матеріалу.

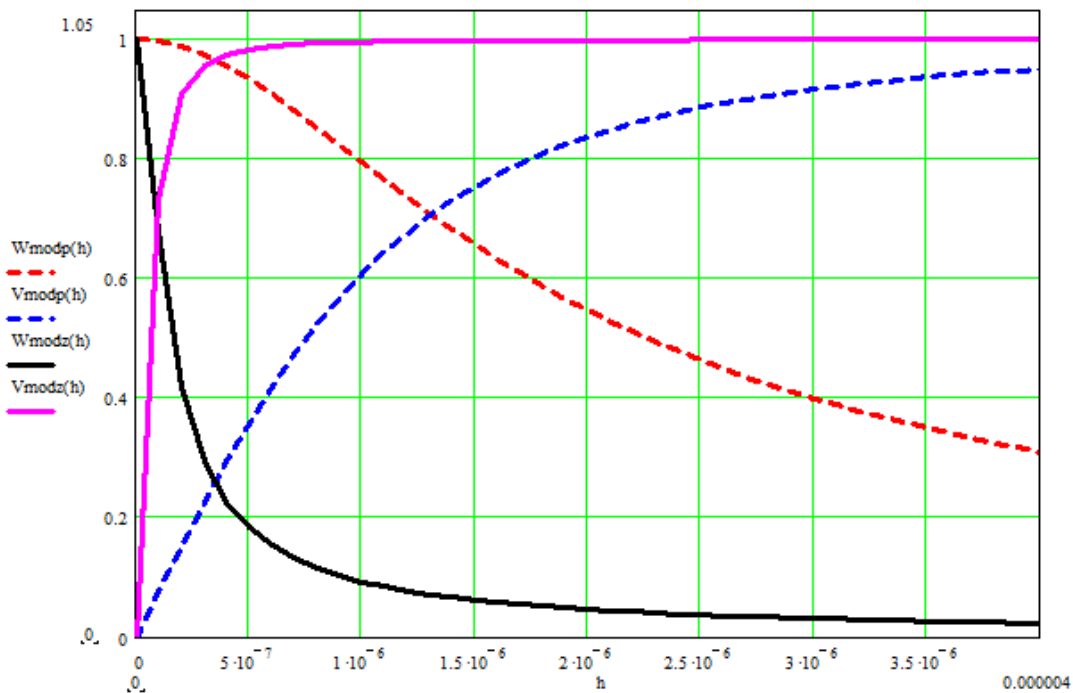


Рис. 2 – Залежності зміни модулів $|W|$, $|V|$ хвиль від товщини h плівки та від товщини h металеві пластинки, окремо розташованих одна від одної в повітряному середовищі (зріз на товщині 4 мкм):

- - - - залежність модуля $|W|$ комплексного коефіцієнта проходження хвиль крізь полімерну плівку в повітрі від товщини h , м;
- - - - залежність модуля $|V|$ комплексного коефіцієнта відбиття хвиль від полімерної плівки в повітряному середовищі від товщини h , м;

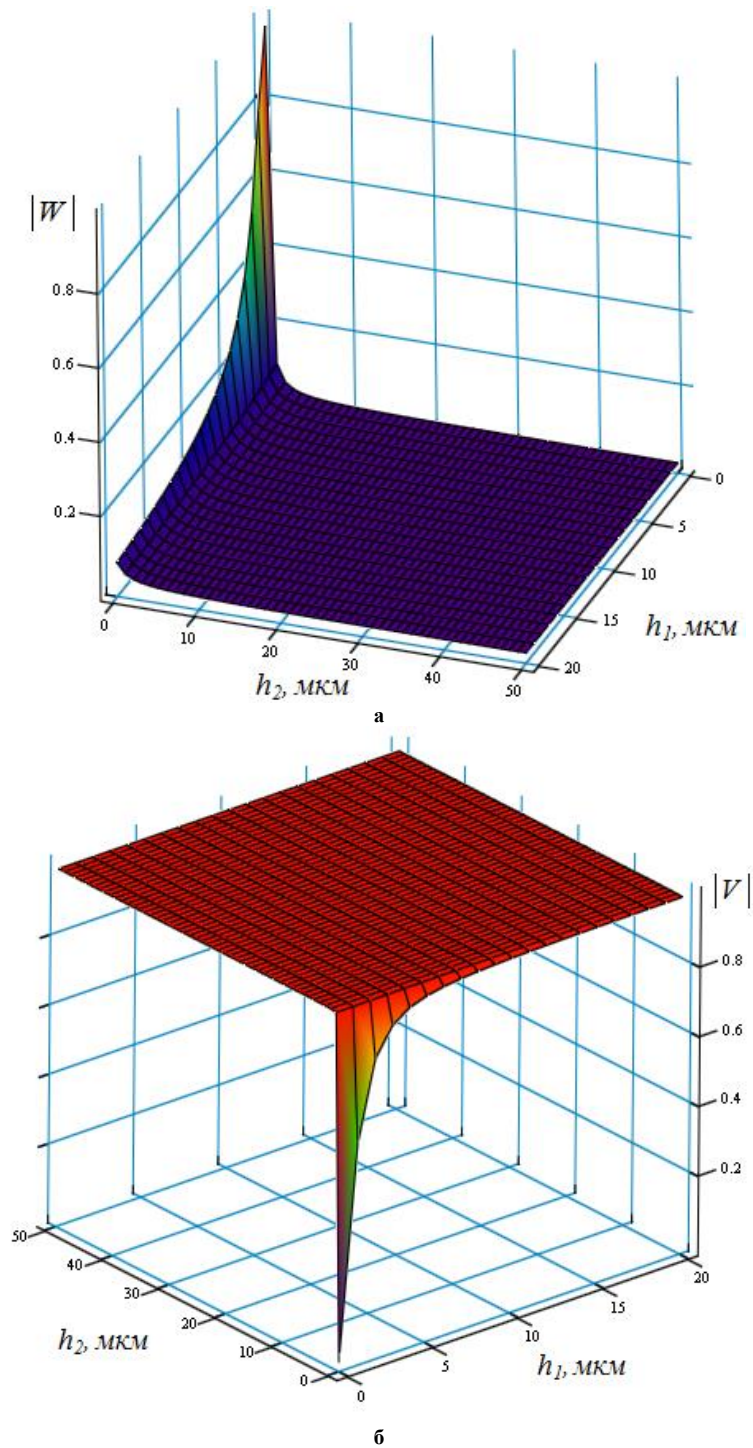


Рис. 4 – Залежності модулів $|W|$, $|V|$ комплексних коефіцієнтів проходження та відбиття ультразвукових хвиль від товщин h_1 , h_2 складових шарів матеріалу металевій пластинки з полімерним покриттям:

а – залежність модуля $|W|$ комплексного коефіцієнта проходження хвиль від товщин шарів полімерної плівки h_1 , мкм та пластинки металу h_2 , мкм;

б – залежність модуля $|V|$ комплексного коефіцієнта відбиття хвиль від товщин шарів полімерної плівки h_1 , мкм та пластинки металу h_2 , мкм

З отриманих графіків та поверхонь можна зробити висновок, що для безконтактного вимірювання товщини полімерного покриття на металевій очнові доцільно застосовувати амплітуду ультразвукових хвиль, які проходять крізь двошаровий матеріал плівки та металу. Це зумовлено аналітичним виразом для

модуля $|W|$ комплексного коефіцієнта проходження в визначених діапазонах товщин двошарового матеріалу.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Проведені дослідження дозволяють проаналізувати, які інформативні параметри ультразвукових хвиль можна застосовувати при вимірюванні товщини полімерного покриття на металевій основі. Знаючи аналітичні вирази для модулів $|W|$ та $|V|$ можна визначити параметр, який доцільно застосовувати для отримання для визначення товщини полімерного покриття на металевій основі.

Література

1. Криночкін Р. В. Пристрій вимірювального контролю товщини металевих і полімерних плівок / Криночкін Р. В., Осадчук О. В. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – № 4. – С. 90-93.
2. Здоренко В.Г. Підвищення достовірності визначення швидкості розповсюдження акустичних коливань в листових матеріалах // Здоренко В.Г., Барилко С.В., Лісовець С.М., Ківа І.Л. - Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Технічні науки. - том 33 (72), №4, 2022. - С. 86 -91.
3. Ультразвуковий безконтактний контроль товщини полімерних плівок / В.С.Єременко, Н.М. Защепкіна, В.Г.Здоренко, С.В.Барилко // Тези ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Датчики, прилади та системи» – 20-24 вересня 2021.- Черкаси. – ЧДТУ. – С.24 -26.
4. Шабатура Ю.В. Дослідження вимірювальних перетворювачів діелектричного покриття металевих поверхонь з часовим представленням інформації / Ю.В. Шабатура, К.В. Овчинников // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Автоматика, вимірювання та керування. №551. – Л., 2006. – С. 63-69
5. Пат. №26546 Україна, МПК G01B 5/00. Спосіб вимірювання товщини діелектричних покриттів на металевих поверхнях / Шабатура Ю.В., Овчинников К.В.; Заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № 2000131736/09; заявл. 18.02.2007; опубл. 25.09.2007, Бюл. № 15. – 4 с.: іл.
6. Шабатура Ю.В. Інформаційно-вимірювальна система для визначення товщини діелектричного покриття на металевій поверхні / Ю.В. Шабатура, М.В. Чорний, К.В. Овчинников // Системи управління, навігації та зв'язку. Випуск 2(10), Київ, 2009 р.- С. 101–106.

References

1. Krynochkin R. V. Prystrii vymiriuvalnogo kontroliu tovshchyny metalevykh i polimernykh plivok / Krynochkin R. V., Osadchuk O. V. // Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. – 2010. – № 4. – S. 90-93.
2. Zdorenko V.H. Pidvyshchennia dostovirnosti vyznachennia shvydkosti rozpovsiudzhennia akustychnykh kolyvan v lystovykh materialakh // Zdorenko V.H., Barylko S.V., Lisovets S.M., Kiva I.L.. - Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu im. V.I. Vernadskoho. Tekhnichni nauky. - tom 33 (72), №4, 2022. - S. 86 -91.
3. Ultrazvukovi bezkontaktni kontrol tovshchyny polimernykh plivok / V.S.Ieremenko, N.M. Zashchepkina, V.H.Zdorenko, S.V.Barylko // Tezy IX Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Datchyky, prylady ta systemy» – 20-24 veresnia 2021.- Cherkasy. – ChDTU. – S.24 -26.
4. Shabatura Yu.V. Doslidzhennia vymiriuvalnykh peretvoriuvachiv dielektrychnoho pokryttia metalevykh poverkhon z chasovym predstavleniam informatsii / Yu.V. Shabatura, K.V. Ovchynnykov // Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika». Avtomatyka, vymiriuvannia ta keruvannia. №551. – L., 2006. – S. 63-69
5. Pat. №26546 Ukraina, MPK G01B 5/00. Sposib vymiriuvannia tovshchyny dielektrychnykh pokryt na metalevykh poverkhniakh / Shabatura Yu.V., Ovchynnykov K.V.; Zaiavnyk ta patentovlasnyk Vinnytskyi natsionalnyi tekhnichniy universytet. – № 2000131736/09; zaiavl. 18.02.2007; opubl. 25.09.2007, Biul. № 15. – 4 s.: il.
6. Shabatura Yu.V. Informatsiino-vymiriuvalna sistema dlia vyznachennia tovshchyny dielektrychnoho pokryttia na metalevii poverkhni / Yu.V. Shabatura, M.V. Chornyi, K.V. Ovchynnykov // Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku. Vypusk 2(10), Kyiv, 2009 r.- S. 101–106.

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-35>

УДК 657

КРАВЧУК Ольга

Хмельницький національний університет
<https://orcid.org/0000-0001-6937-5001>
e-mail:kravchukoa2@gmail.com

СИНЮК Наталія

Хмельницький національний університет
<https://orcid.org/0000-0002-6889-1351>
e-mail: nvs100377@gmail.com

КРАВЧУК Андрій

Хмельницький національний університет
<https://orcid.org/0000-0001-8909-432X>
e-mail: iiiiokiiiiokiiii@gmail.com

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ТРУДОМІСЬКОСТІ ТА ТЕРМІНІВ РОЗРОБКИ ІТ-ПРОЄКТІВ

Стаття зосереджується на теоретичних і практичних аспектах й методах оцінювання трудомісності та термінів розробки ІТ-проектів. Особлива увага приділяється шляхам вибору комбінації підходів щодо ефективного удосконалення методів оцінювання трудомісності та термінів розробки ІТ-проектів. Застосування цих методів демонструється на прикладі конкретного ІТ-проекту, що включає аналіз його ефективності за допомогою специфічних критеріїв. Результати дослідження підтверджують, що застосовуючи різні методи оцінювання трудомісності та термінів розробки ІТ-проектів, можливо значно збільшити шанси на успіх проекту та створити фундамент для майбутніх проектів.

Ключові слова: ІТ-проекти, методи, оцінювання трудомісності, терміни розробки, застосування.

KRAVCHUK Olga, SYNYUK Nataliya, KRAVCHUK Andriy
Khmelnyskyi National University

IMPROVEMENT OF METHODS FOR ESTIMATING THE LABOR INTENSITY AND DEVELOPMENT TIME OF IT PROJECTS

The article focuses on the theoretical and practical aspects and methods of estimating the labor intensity and development time in IT projects. Particular attention is paid to the ways of choosing a combination of approaches to effectively improve the methods of estimating the labor intensity and development time of IT projects. The application of these methods is demonstrated on the example of a specific IT project, including an analysis of its effectiveness using specific criteria. The results of the study confirm that by applying different methods of estimating the complexity and timing of IT project development, it is possible to significantly increase the chances of project success and create a foundation for future projects.

In today's technological world, effective IT project management is critical for businesses to remain competitive. Proper planning, coordination, and execution are essential to ensure successful project outcomes. This article proposes a method for estimating the labor intensity and timing of IT project development.

In the context of IT projects, labor intensity can be understood as the amount of resources that must be spent on certain tasks or the project as a whole. This can include time, money, human resources, technical means and other tangible or intangible assets. The labor intensity of a project can be measured in various metrics, such as the number of working hours, the budget, the number of people involved in the project, the amount of code, the size of the infrastructure, the amount of resources required for testing and support, etc. Estimating labor intensity helps to plan, manage and control the project.

The project development term in the IT industry defines the time required to complete all stages of the project, from start to finish. This term can include such stages as requirements analysis, design, development, testing, implementation and support. The project development deadline is usually determined during the project planning phase and may change during the project depending on various factors, such as changes in requirements, delays in work, or availability of resources.

Keywords: IT projects, methods, assessment of labor intensity, development time, application.

1. Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

У сучасному технологічному світі ефективне управління ІТ-проектами має вирішальне значення для того, щоб підприємства залишалися конкурентоспроможними. Належне планування, координація та виконання є важливими для забезпечення успішних результатів проекту [1]. У цій статті запропонований метод оцінювання трудомісності та термінів розробки ІТ-проекту.

У контексті ІТ-проектів, трудомісність можна розуміти як обсяг ресурсів, які необхідно витратити на виконання певних завдань або проекту в цілому. Це може включати в себе час, гроші, людські ресурси, технічні засоби та інші матеріальні або нематеріальні активи. Трудомісність проекту може бути виміряна в різних метриках, таких як кількість робочих годин, бюджет, кількість людей, які задіяні у проекті, обсяг коду, величина інфраструктури, необхідний обсяг ресурсів для тестування та підтримки тощо. Оцінка трудомісності допомагає здійснювати планування, керування та контроль за проектом [3].

Термін розробки проєкту в ІТ-галузі визначає час, необхідний для завершення всіх етапів проєкту, від початку до кінця. Цей термін може включати в себе такі етапи як аналіз вимог, проєктування, розробка, тестування, впровадження та підтримка. Термін розробки проєкту зазвичай визначається на етапі планування проєкту і може бути змінений в процесі роботи над проєктом залежно від різних факторів, таких як зміни в вимогах, затримки у роботі або доступність ресурсів.

Метою цієї статті є огляд, аналіз та впровадження **методів оцінювання трудомісткості** та термінів розробки в **ІТ-проєктах**. Ми також прагнемо продемонструвати шляхи удосконалення цих методів через комбінацію підходів на прикладі конкретного випадку.

2. Теоретичні аспекти оцінювання трудомісткості в ІТ-проєктах

Оцінювання трудомісткості в ІТ-проєктах є складним процесом, що базується на різноманітних теоретичних підходах [4,7,8]. Розглянемо деякі з них.

Методи функціональної точки (Function Point Analysis). Цей метод базується на оцінці функціональності програмного забезпечення шляхом ідентифікації різних функціональних елементів і їхнього вимірювання відповідно до спеціальних правил. Такий підхід дозволяє створювати оцінки, які не залежать від конкретних технологій та платформ.

Методи оцінки точного часу. Ці методи базуються на розробці докладного розкладу завдань і визначенні часу, потрібного для виконання кожного з них. Один з таких методів - метод PERT (Program Evaluation and Review Technique).

Методи оцінки зусиль. Ці методи спробують оцінити кількість зусиль, необхідних для завершення проєкту. Методи, які використовуються в цій категорії, включають методи Функціональних Точок (Function Point Analysis), методи СОСОМО (Constructive Cost Model) та СОСОМО II.

Експертні методи. Вони базуються на експертному досвіді та оцінках фахівців у галузі. Наприклад, метод Delphi, де група експертів надає прогнози, які потім агрегуються та аналізуються.

Статистичні методи. Вони використовують статистичні моделі для прогнозування трудомісткості на основі історичних даних про подібні проєкти. Наприклад, методи регресійного аналізу або машинного навчання.

Моделі витрат та планування ресурсів. Ці методи включають у себе оцінку фінансових витрат, а також розподіл ресурсів, таких як людські, технічні та матеріальні ресурси.

Аналогічні оцінки. Базуються на аналізі аналогічних проєктів та використанні їхніх результатів для оцінки трудомісткості нового проєкту.

Кожен з цих підходів має свої переваги та недоліки, і вибір конкретного методу може залежати від специфіки проєкту, наявності даних та експертного досвіду команди. Також часто використовується комбінація різних методів для отримання більш точних прогнозів.

3. Шляхи удосконалення методів оцінювання трудомісткості та термінів розробки ІТ-проєктів

Удосконалення методів оцінювання трудомісткості та термінів розробки ІТ-проєктів є важливою задачею, оскільки точні прогнози є ключовим фактором успіху проєкту. Ось деякі можливі шляхи для удосконалення цих методів.

Використання даних з історії проєктів. Аналіз попередніх проєктів може дати важливі уроки та підказки щодо того, як оцінювати трудомісткість нових проєктів. Важливо збирати та аналізувати дані про трудомісткість, часові та бюджетні параметри, а також інші фактори, які впливають на результати проєктів.

Використання експертної оцінки. Залучення досвідчених фахівців для оцінки трудомісткості та термінів проєкту може допомогти врахувати специфічні деталі та складнощі, які можуть бути пропущені іншими методами.

Використання методів планування проєктів. Використання методів планування, таких як методика PERT (Program Evaluation and Review Technique) або метод критичного шляху (Critical Path Method), може допомогти ідентифікувати ключові етапи проєкту та прогнозувати час, необхідний для їх виконання.

Враховування ризиків. У оцінці трудомісткості та термінів проєкту слід враховувати потенційні ризики та їх вплив на процес розробки. Ідентифікація та оцінка ризиків може допомогти створити більш реалістичні прогнози.

Використання програмних інструментів. Використання спеціалізованих програмних інструментів для управління проєктами (наприклад, Microsoft Project, Jira) може допомогти автоматизувати процеси оцінки та планування, що зробить їх більш ефективними та точними.

Стимування оптимістичних оцінок. Важливо уникати заниження або завищення оцінок трудомісткості та термінів проєкту. Краще використовувати консервативні оцінки, які враховують можливі затримки та непередбачені складнощі.

Використання метрик якості коду та продуктивності команди. Включення метрик якості коду, таких як покриття тестами, кількість дефектів тощо, може допомогти у кращому розумінні складності проєкту та, відповідно, у більш точному оцінюванні трудомісткості.

Застосування методів машинного навчання. Машинне навчання може бути використане для аналізу великої кількості даних про проекти та розробку моделей, які можуть передбачати трудомісткість нових проектів на основі їх характеристик та контексту.

Використання Agile методів та ітераційних підходів. Agile методи дозволяють гнучко адаптуватися до змін у ході проекту та враховувати нову інформацію при оцінюванні трудомісткості. Ітераційний підхід дозволяє робити корекції оцінок на кожній ітерації, особливо коли отримано нові дані або змінився контекст проекту.

Залучення експертів та командного досвіду. Експерти в галузі розробки програмного забезпечення можуть надати цінні уявлення та прогнози щодо трудомісткості проекту на основі їхнього досвіду та знань.

Комбінація цих підходів може допомогти покращити оцінювання трудомісткості в IT-проектах і зробити його більш точним та надійним. Отже, важливо постійно аналізувати та вдосконалювати методи оцінювання трудомісткості на основі набутого досвіду та нових відкриттів у галузі управління проектами.

4. Приклади комбінації підходів щодо ефективного удосконалення методів оцінювання трудомісткості та термінів розробки IT-проектів

Зважаючи на складність та унікальність кожного IT-проекту, комбінація різних підходів є ключовою для ефективного удосконалення методів оцінювання трудомісткості та термінів розробки. Ось декілька прикладів комбінованих підходів. Перший метод – це комбінація методу PERT з Agile підходом: використання методу PERT для початкової оцінки трудомісткості проекту на основі розкладу завдань, Впровадження Agile практик, таких як Scrum або Kanban, для гнучкого управління проектом та постійного перегляду та оцінювання прогресу, регулярні ітерації та оцінки спрямовані на корекцію початкових прогнозів, використовуючи дані про прогрес та зміни у вимогах. Другий метод – це використання статистичних методів разом з експертними оцінками: застосування статистичних моделей, таких як регресійний аналіз, для прогнозування трудомісткості на основі історичних даних, залучення експертів для оцінювання особливостей конкретного проекту, які не враховуються статистичними моделями (наприклад, складність технічних вимог або особливості команди). Третій метод – це використання метрик якості коду разом з Agile методами: визначення метрик якості коду, таких як кількість дефектів, покриття тестами, швидкість відновлення тощо, для оцінювання складності розробки та трудомісткості, впровадження Agile методів для постійного контролю та покращення якості коду через ітераційність, зворотний зв'язок та стабільну комунікацію в команді. І четвертий метод – це комбінація методів оцінки зусиль та експертних оцінок з машинним навчанням: використання методів СОСОМО або СОСОМО II для початкової оцінки трудомісткості, використання машинного навчання для аналізу великих обсягів даних про проекти та розробки моделей, які можуть покращити точність оцінок, враховуючи унікальні характеристики проекту. Ці приклади показують, як комбінація різних підходів може допомогти удосконалити оцінювання трудомісткості та термінів розробки в IT-проектах, забезпечуючи більш точні та надійні результати.

5. Впровадження методу оцінювання трудомісткості та термінів розробки IT-проектів

Для дослідження було обрано проект розробки програмного забезпечення в ТОВ «Європейська Регіональна Агенція» [2]. Компанія є регіональним лідером у сфері розробки та інтеграції рішень для управління бізнес-процесами. За останні роки компанія успішно реалізувала багато проектів для вітчизняних та міжнародних клієнтів у сфері фінансів, телекомунікацій, туризму та транспорту. Одним із ключових напрямків діяльності ТОВ «Європейська Регіональна Агенція» є розробка програмного забезпечення для автоматизації бізнес-процесів та управління проектами. Обравши дану компанію для дослідження, ми виходимо з того, що вона володіє значною кількістю досвіду та експертизи у галузі управління IT-проектами. Це дає нам можливість вивчити широкий спектр методологій та підходів до управління проектами, які використовуються на практиці. Крім того, високий рівень професійної кваліфікації її співробітників дозволяє очікувати високу якість виконання проектів, що є важливим для аналізу досвіду компанії.

Вибір цього конкретного проекту був обумовлений декількома факторами. А саме, характером, складністю й викликами та специфікою проекту. Даний проект включає розробку великого масштабного програмного забезпечення, що включає в себе багато складових частин та команд, які працюють над різними модулями системи. Це створює необхідність управління багатьма ресурсами, включаючи людські ресурси, час, технологічні активи та бюджет. Також проект стикається з рядом викликів, включаючи термінові строки, бюджетні обмеження, а також високі вимоги до якості та надійності кінцевого продукту. Впровадження методу оцінювання трудомісткості та термінів розробки IT-проектів в цьому контексті може допомогти вирішити деякі з цих викликів та покращити загальну ефективність управління проектом.

Впроваджуючи методи оцінювання трудомісткості та термінів розробки IT-проектів, ми визначили широкий спектр потенційних ризиків, які могли негативно вплинути на наш проект. Це включає як технічні, так і нетехнічні ризики, що дає нам повне розуміння потенційних проблем, з якими ми могли б зіткнутися.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальшого розвитку у даному напрямі

В даній статті наведені **теоретичні аспекти та методи оцінювання трудомісткості** та термінів розробки в **ІТ-проектах**. А також продемонстровано впровадження та шляхи удосконалення цих методів через комбінацію підходів на прикладі конкретного випадку.

Отже, комбінація різних методів підходів може допомогти покращити оцінювання трудомісткості в ІТ-проектах і зробити його більш точним та надійним.

Важливо зазначити, що фактичні результати та отримані уроки залежали від конкретних обставин ІТ-проекту та проблем, з якими ми зіткнулися. Однак, застосовуючи найкращі методів для оцінювання трудомісткості та термінів розробки, ми змогли значно збільшити свої шанси на успіх проекту та створити фундамент для майбутніх проектів. В майбутньому планується продовжити дослідження в області управління ІТ-проектів.

Література

1. Кравчук О.А. Аналіз та метод застосування найкращих практик для успішного управління ризиками в ІТ-проектах / Ольга Кравчук, Денис Кравчук / Міжнародний науково - технічний журнал «Measuring and computing devices in technological processes». - Хмельницький, ХНУ, №4 (2023). - С. 160–164 DOI:<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2023-76-21>.
2. Кравчук, О. (2023). Метод використання метрик продуктивності для оптимізації процесу управління ІТ-проектами. *Measuring and computing devices in technological processes*, (2), 28–33. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2023-74-4>
3. Ю. Котельникова, О.Кравчук, Д. Касьмін. Менеджмент програмних продуктів в ІТ-компаніях України: роль Product Manager в команді розробників програмного забезпечення / Академічні візії, №19 (2023).
4. Є. Буряк, О.Кравчук, Т. Лобунець. Аналіз сучасних тенденцій автоматизації системи моніторингу результативності менеджменту підприємства / Академічні візії, №17 (2023).
5. <https://seoblog.org.ua/5460/>
6. Микитюк П. П., Брич В. Я., Микитюк Ю. І., Труш І. М. Управління проектами: Підручник. Тернопіль, 2021. – 416 с.
7. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) – Seventh Edition. – Project Management Institute, USA, 2021
8. Martin Olson. Foundations of the scaled Agile Frameworks. Be Agile. Scale Up. Stay Lean. – 2014. – Scaled Agile, Inc.

References

1. Kravchuk OA Analysis and method of applying best practices for successful risk management in IT projects / Olga Kravchuk, Denys Kravchuk / International scientific and technical journal "Measuring and computing devices in technological processes". - Khmelnytskyi, KhNU, №4 (2023). - PP. 160-164 DOI: <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2023-76-21>.
2. Kravchuk, O. (2023). A method for using performance metrics to optimize the IT project management process. *Measuring and computing devices in technological processes*, (2), 28-33. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2023-74-4>
3. Kotelnikova Y., Kravchuk O., Kasmin D.. Software Product Management in IT Companies of Ukraine: the Role of Product Manager in the Software Development Team / Academic Visions, No. 19 (2023).
4. Buryak E., Kravchuk O., Lobunets T.. Analysis of modern trends in the automation of the system for monitoring the effectiveness of enterprise management / Academic Visions, №17 (2023).
5. <https://seoblog.org.ua/5460/>
6. Mykytyuk P.P., Brych V.Y., Mykytyuk Y.I., Trush I.M. Project management: Textbook. Ternopil, 2021. - 416 p.
7. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) - Seventh Edition. - Project Management Institute, USA, 2021
8. Martin Olson. Foundations of the scaled Agile Frameworks. Be Agile. Scale Up. Stay Lean. - 2014. - Scaled Agile, Inc.

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-36>

УДК 504.064.38

СЕБКО Вадим

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

<https://orcid.org/0000-0002-3561-6281>

vadim.sebko@gmail.com

ЗДОРЕНКО Валерій

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0001-6508-4290>

alzd123@meta.ua

ЗАЩЕПКИНА Наталія

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0001-9397-6632>

nanic1604@gmail.com

БАРИЛКО Сергій

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0002-2785-5784>

sergiibarylko347@gmail.com

ЗАБІЯКА Наталія

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

<https://orcid.org/0000-0003-2837-5317>

zabijaka.nata93@gmail.com

ТРИПАРАМЕТРОВИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СТАНУ СТИЧНИХ ВОД ВИРОБНИЦТВА ФРУКТОВИХ СОКІВ

В результаті переробки продовольчої сировини та отримання на виході готової продукції і виробник, і споживач впливають на навколишнє середовище, надаючи тим самим негативний, а часом не поправний вплив. На сьогодні, підприємства харчової та переробної промисловості малої потужності, часто розташовуються в межах міста, саме тому виникає необхідність у дослідженні відповідності показників стічних вод, що скидаються, нормативним документам. При цьому про ефективність природоохоронних заходів, можна судити за результатами реалізації заходів екологічного моніторингу, а також розвитку динаміки екологічної обстановки в районах населених пунктів. В стічних водах виробництва фруктових соків містяться забруднення, які мають органічну основу, а також розбавлені розчини, які включають вуглеводи та білки рослинного походження. Забруднюючі речовини, що містяться в стоках, потрапляючи в штучні і природні водоймища, а також в результаті їх акумуляції в ґрунті, можуть швидко загинувати і погіршувати санітарний стан. При цьому, існуючи інформативні методи визначення параметрів стану стічних вод є достатньо складними для малих підприємств виробництва фруктових соків та відрізняються високою собівартістю. У зв'язку з цим, для вибору метода очищення, виникає необхідність в створенні нових широкомезових методів спільного вимірювального контролю параметрів стану зразків стічних вод харчових та переробних виробництв.

Для підвищення точності вимірювань питомої електричної провідності χ , відносної діелектричної проникності ϵ_r і температури t зразків стічних вод, в роботі досліджено трипараметровий інформативний метод на основі занурюваного параметричного електромагнітного перетворювача ПЗП, який замість осердя застосовує провідний шар стічних вод. Розроблено алгоритми вимірювальних та розрахункових процедур визначення параметрів стічних вод. Наведено основні співвідношення, які описують реалізацію багатопараметрового електромагнітного метода вимірювального контролю χ , ϵ_r і t .

Ключові слова: стічні води, антропогенний вплив, ефективність очищення, водні середовища, вимірювання, забруднюючі речовини, метод контролю, параметри стану, екологічна безпека, якість очищення.

SEBKO Vadim

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

ZDORENKO Valerii, ZASHCHEPKINA Nataliia, BARYLKO Sergii

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

ZABIJAKA Nataliia

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

A THREE-PARAMETER METHOD FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF THE STATE OF FRUIT JUICE PRODUCTION WASTEWATER

As a result of the processing of food raw materials and the production of the final product, both the producer and the consumer have an impact on the environment, which can be negative and sometimes irreparable. Nowadays, small food and processing businesses are often located within urban areas, so it is necessary to check that the effluents discharged comply with the legal requirements. At the same time, the effectiveness of environmental protection measures can be assessed on the basis of the results of environmental monitoring activities and the development of the environmental situation in the settlement areas. Wastewater from fruit juice production contains contaminants of organic origin, as well as dilute solutions containing carbohydrates and proteins of plant origin. Wastewater pollutants can quickly decompose and deteriorate sanitary conditions when they enter artificial and natural water bodies, as well as as a result of their accumulation in the soil. At the same time, the existing informative methods for determining the parameters of the state of wastewater for small fruit juice production enterprises are quite complicated

and characterised by high costs. In this regard, there is a need to develop new wide-band methods for joint measurement control of the state parameters of wastewater samples from food and processing industries in order to select a treatment method.

In order to improve the accuracy of specific electrical conductivity χ measurements, relative permittivity ϵ_r and temperature t of wastewater samples, in this work, a three-parameter informative method based on a submersible parametric electromagnetic transducer SPT, which uses a conductive layer of wastewater instead of a core, is investigated. The algorithms for measuring and calculating procedures for determining the parameters of wastewater are developed. The basic relations describing the implementation of the multi-parameter electromagnetic method of measuring control of χ , ϵ_r , and t are presented.

Key words: wastewater, anthropogenic impact, treatment efficiency, water environment, measurement, waste substances, control method, state parameters, environmental safety, treatment quality.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Сучасний рівень розвитку суспільства, промислового виробництва, екологічний стан навколишнього середовища висувають підвищені вимоги щодо складу стічних вод харчових та переробних виробництв, які скидаються у водні об'єкти та міські каналізаційні колектори [1, 2]. Вибір раціональних методів очищення висококонцентрованих стічних вод обумовлено переважно різноманіттям складу та високими вимогами, які встановлюються щодо якості очищення стічних вод, а саме до відповідних норм скиду у штучні та природні водойми або каналізаційні колектори. В державах ЄС успішний розвиток переробної та харчової промисловості, традиційно пов'язано з напрямом підвищення екологічної безпеки за рахунок комплексного використання якісної сировини, створення маловідходних технологічних процесів виробництва продуктів харчування, підвищення якості очищення за рахунок впровадження інноваційних методів контролю параметрів стану зразків харчової продукції.

Таким чином, виникає важлива наукова та практична проблема, яка полягає в зменшенні антропогенного впливу на навколишнє природне середовище районів населених пунктів у яких розміщуються підприємства харчових та переробних виробництв.

Постановка проблеми і огляд останніх досліджень

На сьогодні, виробництво соків одна з галузей плодоовочевої промисловості, що найбільш швидко розвиваються, як у нашій країні, так і за кордоном. При цьому збільшується не тільки кількість соків, що випускаються, але і їх асортимент. Незважаючи на велику різноманітність соків, їх виготовлення складається з проведення ряду однакових операцій, а саме: зберігання сировини, сортування, калібрування, очищення, миття та реалізації методів контролю фізико-хімічних параметрів фруктових соків [3].

Сучасними кондуктометричними методами [4-7], визначають опір R зразків стічних вод (слабких електролітичних рідин) та за величиною опору або електропровідності χ (на основі реалізації методів непрямих вимірювань) знаходять: рН розчинів кислот та лугів, константу дисоціації, концентрацію C , температуру t , діелектричну проникність ϵ_r , густину досліджуваного розчину ρ .

До переваг кондуктометричних методів слід віднести простоту реалізації, дешевизну методів, можливість дослідження мутних неоднорідних розчинів [4-7]. Слід визначити, що при існуючій різноманітності кондуктометричних методів і пристроїв всі ці методи об'єднує реалізація основних операцій визначення χ в кондуктометричному осередку. При вимірі χ очищеної води, кондуктометричні методи вимірювань часто застосовують у якості еталонних. При істотному зниженні χ розчинів електролітів, а також емульсійних рідин, які утворюються в стічних водах пивоварних виробництв до конструкції кондуктометричного осередку і до електродів виникають досить жорсткі вимоги [4-7]. При цьому, інформативний параметр χ водних розчинів слабких електролітів і емульсійних рідин залежить від температури t і концентрації C різних домішок: сульфатів, хлоридів, азоту, фосфору, молочної, масляної та вугільної кислот (що виникають в результаті загнивання білків) [4-7].

У роботі [8], досліджено електропровідність λ іонів калієвої солі у водному розчині диметилсульфоксиду (ДМСО) у температурному діапазоні [25 – 450°C]. Слід визначити, що отримана в роботі [8] експериментальна залежність $\lambda = f(C)$ є робочою функцією перетворення тільки для системи ДМСО – H_2O , її не можна вважати універсальною для багатьох типів слабких електролітів (до яких у тому числі відносять і стічні води). При цьому досить важко точно виміряти і підтримувати температуру в зазначеному діапазоні, оскільки терморезистори і термопары мають цілий ряд недоліків, пов'язаних з тим, що такі термоперетворювачі вимірюють в загальних випадках t чутливого елемента, а не об'єкта дослідження, оскільки завжди між чутливим елементом перетворювача і контрольованим зразком існує зазор, заповнений повітрям чи діелектриком [8].

На даний період вихрострумові методи та перетворювачі широко використовуються в багатьох галузях науки та виробництва. Зокрема, для виявлення поверхневих та глибинних дефектів у металевих виробках та конструкціях, для контролю товщин покриттів (металевих та діелектричних), для безконтактного визначення магнітних, електричних та геометричних параметрів деталей, а також міцності, твердості, наявності домінуючих домішок у матеріалах, спотворення структури виробів внаслідок впливу різних видів обробок (механічних, термічних і хімічних) [9-13]. Однак в роботах [9-13], не розглянуто можливість

вимірювального контролю фізико-хімічних параметрів електролітичних рідин.

У роботі [14] досліджено двопараметровий інформативний метод сумісного вимірювального контролю питомої електричної провідності χ та температури t зразків пивних стоків кислого походження на основі електромагнітного перетворювача ЕП.

Обмеженнями методу, описаного у роботі [14], є складний алгоритм вимірювальних процедур, і навіть виникнення методичних похибок пов'язані з неточністю опису функцій перетворення. Таким чином, на сьогодні не розроблено прості алгоритми вимірювальних і розрахункових процедур сумісного визначення фізико-хімічних параметрів зразків стічних вод, не наведено данні стосовно контролю параметрів стічних вод занурюваними перетворювачами, які дозволяють контролювати стічні води в великих відстійниках та резервуарах. Слід визначити, що оскільки, основними критеріями при виборі технології очищення стічних вод промислових підприємств є склад води, а саме наявність у ній тих або інших забруднювачів, за чисельними даними питомого електричного опору λ , відносної діелектричної проникності ϵ_r та температури t кислих пивних стоків у відповідності зі встановленими нормативними методиками можна визначити сухий залишок X , загальну лужність Φ та кислотність K , загальну твердість T і водневий показник pH та інші фізико-механічні характеристики зразків стічних вод, які вказані у стандартах на стічні води, все це надає змогу для подальшого вибору сучасних методів очищення стічних вод переробних та харчових виробництв.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є розширення функціональних та технічних можливостей електромагнітного перетворювача стосовно сумісного багатопараметрового вимірювального контролю питомого електричного опору λ , відносної діелектричної проникності ϵ_r і температури t кислих стоків, задля рішення питань пов'язаних з подальшим вибором методу очищення стічних вод.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

- а). Дослідити теорію роботи ПЗП зі зразком кислих стічних вод.
- б). Розробити алгоритми вимірювальних та розрахункових процедур визначення параметрів стану стічних вод.
- в). Навести основні співвідношення, які описують реалізацію багатопараметрового електромагнітного метода контролю параметрів стану стічних вод.

Виклад основного матеріалу

Методика інформативного трипараметрового вимірювального контролю питомого електричного опору λ , відносної діелектричної проникності ϵ_r , температури t кислих стічних вод, полягає у тому, що спочатку, вводять питомі нормовані характеристики ПЗП: нормовану внутрішню індуктивність $L_{ін}$, нормований електричний опір $R_{ін}$ та узагальнений параметр x , які містять інформацію щодо параметрів кислих зразків стічних вод та геометричних параметрах ПЗП. Сутність запропонованого у даній статті методу, полягає у взаємодії зондуючого електромагнітного поля зі стовпом рідини, що контролюється, з подальшою реєстрацією та аналізом змінення фізико-хімічних параметрів осердя ПЗП.

Роботу трипараметрового ПЗП, можна описати наступною системою рівнянь [10-14]:

$$\begin{cases} L_{ін} = F_1(d, x) \\ x = F_2(d, \chi) \\ \lambda = F_3(d, \epsilon_r, t) \end{cases}, \quad (1)$$

де F_1 , F_2 та F_3 – позначення функціональних залежностей, d – діаметр осердя ПЗП; x – узагальнений параметр осердя ПЗП; χ – питома електрична провідність осердя осердя ПЗП; ϵ_r – відносна діелектрична проникність осердя ПЗП; t – температура осердя ПЗП.

При цьому, нормований магнітний потік у рідині G та індуктивність L пов'язані з питомим електричним опором λ , відносною діелектричною проникністю ϵ_r і температурою t кислих стоків, а також діаметром d_n отвору (який дорівнює діаметру рідини d) та довжиною ПЗП l_n .

Узагальнений параметр x_t при різних значеннях температури рідини, знаходять за формулою:

$$x_t = d \sqrt{\mu_0 \cdot \chi_t \cdot \omega}, \quad (2)$$

де μ_0 – магнітна стала, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$; ω – циклічна частота.

З урахуванням результатів робіт [11-14], знаючи константи фізичних величин та геометричні параметри ПЗП, а також значення електричних опорів та індуктивностей обмотки на постійному струмі R та L_0 , з урахуванням компенсації зовнішньої індуктивності L_e , яку обумовлено проходженням паразитного магнітного потоку Φ_1 понад поверхнею рідини (за допомогою компенсуючої ємності $P5025$), вимірюють напругу U на осерді та струм I і значення фазового кута ϕ поміж струмом I та цією ж напругою.

Потокозчеплення ψ_0 обмотки ПЗП до занурювання, визначають за формулою [11-13]:

$$\psi_0 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot W_1^2 \cdot d^2 \cdot \mu_0 \cdot H_0, \quad (3)$$

де W_1 – число витків обмотки ПЗП; d – діаметр обмотки; H_0 – напруженість магнітного поля.

Значення індуктивності L_1 ПЗП до занурювання, тобто при відсутності осердя, знаходять за формулою [9, 10]:

$$\frac{\psi_0}{I} = L_1 \quad (4)$$

Індуктивність обмотки ПЗП L_2 при наявності осердя (після занурювання ПЗП у ємність з рідиною), визначають:

$$L_2 = \mu_0 \frac{\pi \cdot d^2 \cdot W_1^2}{4 \cdot l_{\text{п}}}, \quad (5)$$

де $l_{\text{п}}$ – довжина перетворювача.

Потокозчеплення ψ_2 у самому осерді ПЗП, знаходять за формулою [9, 10]:

$$|\psi_{2\text{н}}| = \frac{1}{\omega L} \sqrt{\left(\frac{U_{\text{п}}}{I} \sin \varphi_1 - \omega L(1 - \eta)\right)^2 + \left(\frac{U_{\text{п}}}{I} \cos \varphi_1 - R\right)^2} \quad (6)$$

Значення фазового кута зсуву φ_2 поміж магнітними потоками Φ_0 і Φ_2 зразка кислого стока, знаходять за формулою:

$$|\text{tg} \varphi_2| = \frac{\frac{U_{\text{п}}}{I} \cos \varphi_1 - R}{\frac{U_{\text{п}}}{I} \sin \varphi_1 - \omega L \left(\frac{U_{\text{п}}}{I} \sin \varphi_1 - \omega L(1 - \eta)\right)} \quad (7)$$

За градуальною залежністю $\varphi_{2\text{т}} = f(L_{\text{в}})$ (див. табл.1), знаходять внутрішню індуктивність $L_{\text{в}}$ і за залежністю $\chi = f(L_{\text{вт}})$ (при відомому χ див. табл.1), визначають нормовану внутрішню індуктивність $L_{\text{вт}}$. Нормована внутрішня індуктивність $L_{\text{вт}}$ та узагальнений магнітний параметр χ містять інформацію щодо питомої електричної провідності χ_t , температури t і відносної діелектричної проникності ϵ_r зразка кислого стока.

Таблиця №1

Залежність фазового кута зсуву $\varphi_{2\text{т}}$ від внутрішньої індуктивності зразка стічних вод $L_{\text{в}}$

χ_t	$\varphi_{2\text{т}}, \text{град}$	$L_{\text{вт}}$	$L_{\text{в}} \cdot 10^{-7}, \text{Гн}$
0,9604	6,53	0,9978	0,2495
0,9771	6,79	0,9976	0,2494
0,9929	6,98	0,9975	0,2493
1,0086	7,19	0,9970	0,2492
1,0241	7,42	0,9967	0,2491
1,0401	7,62	0,9961	0,2490
1,0543	7,8	0,9957	0,2489
1,0694	8,05	0,9950	0,2487
1,0830	8,25	0,9944	0,2486
1,0972	8,46	0,9936	0,2484
1,1127	8,69	0,9928	0,2482

Питому електричну провідність χ зразка кислого стока, знаходять за формулою:

$$\chi_t = \frac{L_{\text{вт}} \cdot l}{L_{\text{вт}} \cdot d_{\text{п}}^2 \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot f_t} \quad (8)$$

Температуру t стовпчика води, який заповнює наскрізний отвір, визначають:

$$t = \frac{1 + \alpha \cdot t_1}{\alpha} \left(\frac{L_{\text{вн}} \cdot l}{4\pi^2 \cdot d_{\text{п}}^2 \cdot L_{\text{вт}} \cdot f_t \cdot \chi_1} - 1 \right) + t_1 \quad (9)$$

Значення відносної діелектричної проникності $\epsilon_{\text{ст}}$, знаходять з виразу:

$$\epsilon_{\text{ст}} = \frac{\omega}{4 \cdot \pi \cdot \chi \cdot \epsilon_0 \cdot 10^{-8}} \quad (10)$$

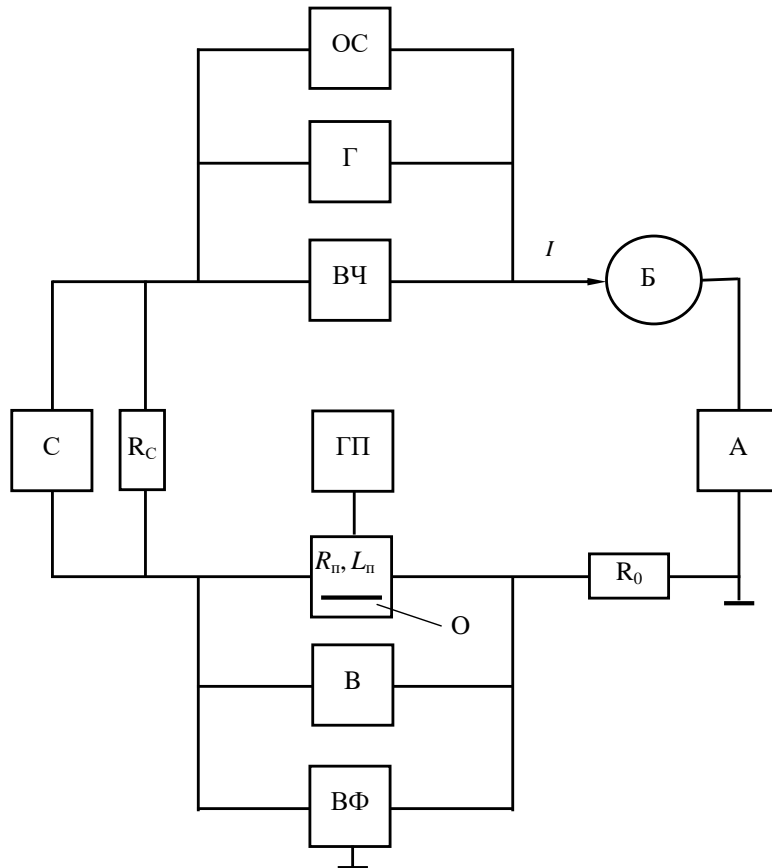


Рис. 1. Схема ПЗП для сумісного вимірювального трипараметрового контролю зразка стічних вод виробництва фруктових соків

На рис.1 наведено схему ПЗП, який занурюється у ємність зі стічною водою. Схема містить електромагнітний ПЗП; Г – генератор; ВЧ – вимірювач частоти електромагнітного поля; ОС – осцилограф; Б – баретер (стабілізатор струму) для підтримання постійного значення струму ПЗП та магнітного потоку у осерді (стовпчику рідини, що заповнює наскрізний отвір ПЗП); А – вимірювач струму обмотки I; P5025 – компенсуюча ємність; О – осердя ПЗП у вигляді послідовно увімкнутих індуктивності та опору перетворювача $R_{\text{п}}$ і $L_{\text{п}}$; R_0 – зразковий опір; В – вимірювач напруги $U_{\text{п}}$; ВФ – вимірювач фазового кута зсуву; С – самопис; R_c – опір самопису; ГП – гріючий пристрій для змінення температури осердя.

До переваг наведеної схеми ПЗП слід віднести те, що ПЗП містить одну обмотку, яка виконує одночасно три функції: вимірювальну, намагнічувальну та функцію нагрівання зразка (для імітації виробничих процесів).

В табл.2, наведено результати визначення компонентів сигналів трипараметрового ПЗП.

Таким чином, у статті досліджено можливість застосування теорії роботи занурюваного вихрострумовевого перетворювача ПЗП до вимірювального трипараметрового контролю параметрів стану стічних вод виробництва фруктових соків.

Таблиця №2

Результати визначення компонентів сигналів трипараметрового ПЗП та зразка стічних вод
 $f = 19,8 \text{ МГц}; t = [16 \dots 33^\circ\text{C}], I = 60,1 \text{ мА}; E_0 = 298\text{-мВ}; E_1 = 15,40\text{-мВ}$

$t, ^\circ\text{C}$	$E_{2r} \cdot 10^{-3}, ^\circ\text{В}$	$E_{3r} \cdot 10^{-3}, ^\circ\text{В}$	Φ_0	A_t	G_t	ε_t	$\Phi_{2r}, \text{град}$	$\chi_t \cdot 10^{-1}, \text{См/м}$
16,27	299,51	305,04	-5,8403	0,9257	0,9906	72,59	-6,0798	15,01
17,11	299,02	305,9	-6,0304	0,9383	0,9899	71,78	-6,2840	15,70
18,33	298,88	305,53	-6,2191	0,9565	0,9893	71,03	-6,4824	16,05
20,59	298,29	304,51	-6,4126	0,9715	0,9886	69,29	-6,6831	16,74
21,10	298,16	303,93	-6,3980	0,9700	0,9882	68,14	-6,7063	16,09
23,44	297,25	302,94	-6,6955	0,9938	0,9876	67,64	-6,9850	17,63
26,31	297,49	301,74	-6,8922	1,0080	0,9869	65,96	-7,1812	17,95
30,09	297,77	200,44	-7,0795	1,0225	0,9862	60,31	-7,3834	18,70
31,76	296,52	300,23	-7,2744	1,0366	0,9854	56,82	-7,5829	19,16
33,01	296,23	299,89	-7,4671	1,0505	0,9846	51,99	-7,7816	19,69

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

В рамках дослідження важливої наукової і практичної проблеми, яка полягає у зменшенні антропогенного впливу на навколишнє природне середовище районів населених пунктів у яких розміщуються підприємства виробництва фруктових соків, досліджено розширення функціональних та технічних можливостей електромагнітного перетворювача при реалізації інформативного методу сумісного багатопараметрового контролю питомого електричного опору λ , відносної діелектричної проникності ε_r і температури t зразків кислих стоків. Задача розв'язується шляхом застосування занурюваного параметричного електромагнітного перетворювача (ПЗП), який замість осердя використовує стовп рідини, що заповнює круглий наскрізний отвір ПЗП в результаті занурювання. Таким чином, внаслідок занурювання ПЗП у різноманітні виробничі ємності з нагрітою водою, отвір ПЗП заповнюється стовпом рідини, яка має певну температуру, тобто у даному випадку стовп рідини з виробничої ємності, який заповнює радіальний отвір ПЗП є одночасно і осердям і зразком стічних вод, характеристики якого підлягають вимірюванням. Розроблено алгоритми вимірювальних та розрахункових процедур визначення параметрів стічних вод при реалізації трипараметрового методу на основі ПЗП. Наведено основні співвідношення, які описують реалізацію трипараметрового електромагнітного методу. Отримано результати вимірювального контролю питомого електричного опору λ , відносної діелектричної проникності ε_r і температури t кислого зразка стічних вод виробництва фруктових соків.

Література

1. International Organization for Standardization (ISO). ISO 22000: 2005: Food Safety Management Systems – Requirements for any organization in the food chain, ISO, Geneva, 2005.
2. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. (ISO 14001:2015, IDT). [Чинний від 2015-12-21]. Київ, 2016. 37 с. (Вимоги та настанови щодо застосування).
3. Тележенко Л.М. Вплив попередньої обробки плодів та додатків на окиснювальні властивості соків з м'якоттю / Л.М. Тележенко, І.В. Пилипенко // ОДАХТ. Наук. праці. Вип. 22.– Одеса, 2001.– С. 51–55.
4. Мідик І.М. Оцінка якості продукції овочівництва за електричними характеристиками. Технологічний аудит та резерви виробництва. Харків. № 3/2(29), 2016. С. 30–35.
5. Брицун В. М., Останіна Н. В. Особливості кондуктометричного контролю якості дистильованої води для фармакопейних потреб. Фармакологія та лікарська токсикологія, № 2 (58)/2018. С. 97–103.
6. Міхалєва М. С. Результати експериментальних досліджень модельних водних розчинів новим електричним імпедансним методом // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія Автоматика, вимірювання та керування, 2010. № 665. С. 169–173.
7. Яцишин А.В., Попов О.О., Артемчук В.О. Методи вимірювання параметрів навколишнього природного середовища. Харків. Вісник НТУ «ХП», 2014. №40 (1083). С. 130–137.
8. Plowas I., Swiergiel J., Jadzyn J. Electrical conductivity in dimethyl sulfoxide + potassium iodide solutions at different concentrations and temperatures, Journal of Chemical & Engineering Data 59/8 (2014), p. 2360-2366.
9. Хандецький В.С., Бабак В.П. Обробка сигналів. Київ: «Либідь», 1999. 495 с.
10. Середюк О.Є., Барна О.Б., Криницький О.С. Електричний, магнітний та електромагнітний види неруйнівного контролю в нафтовій галузі: навчальний посібник. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. 348с.
11. Тетерко А.Я. Фазовий спосіб вихрострумового контролю із відлаштуванням від нелінійного впливу зазору / А. Я. Тетерко, В. М. Учанин, В. І. Гутник, О. А. Тетерко // Матер. 17 Міжнар. наук.-техн.

конф. “Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів”. Львів: Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка НАН України, 2012. С. 23–24.

12. Тетерко А.Я. Метод формування інформаційного сигналу та підвищення точності вихорострумowego контролю питомої електричної провідності матеріалу із виключенням впливу зазору / А. Я. Тетерко, Г. Г. Луценко, В. І. Гутник, О. А. Тетерко // Відбір і обробка інформації. Львів, 2016. Вип. 43 (119). С.5–11.

13. Маєвський С.М. Фазовимірювальні системи неруйнівного контролю [Електронний ресурс]: навчальний посібник. КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані (1 файл: 3,46 Мбайт). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 288 с.

14. Пироженко Є.В. Себко В.В., Здоренко В.Г. Бабенко В.М., Горбунова О.В. Сумісний вимірювальний контроль фізико-хімічних параметрів зразка пивних стоків. Інтегровані технології та енергозбереження. Харків: НТУ “ХПІ”, 2020. №4. С. 34 – 47.

References

1. International Organization for Standardization (ISO). ISO 22000: 2005: Food Safety Management Systems – Requirements for any organization in the food chain. ISO, Geneva, 2005.
2. DSTU ISO 14001:2015. Systemy ekolohichnoho upravlinnia. (ISO 14001:2015, IDT). [Chynnyi vid 2015-12-21]. Kyiv, 2016. 37 s. (Vymohy ta nastanovy shchodo zastosuvannya).
3. Telezhenko L.M. Vplyv poperednoi obrobky plodiv ta dodativ na oksyniuvalni vlastyvoli sokiv z miakottiu / L.M. Telezhenko, I.V. Pylypenko // ODAKht. Nauk. pratsi. Vyp. 22.– Odesa, 2001.– P. 51–55.
4. Mityk I.M. Otsinka yakosti produktsii ovochivnytstva za elektrychnymy kharakterystykamy. Tekhnolohichni audyt ta rezervy vyrobnytstva. Kharkiv. № 3/2(29), 2016. P. 30–35.
5. Brytsun V. M., Ostanina N. V. Osoblyvosti konduktometrychnoho kontroliu yakosti dystylovanoï vody dlia farmakopeinykh potreb. Farmakolohiia ta likarska toksykolohiia, № 2 (58)/2018. P. 97–103.
6. Mikhalieva M. S. Rezultaty eksperymentalnykh doslidzhen modelnykh vodnykh rozchyniv novym elektrychnym impedansnym metodom // Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika». Seriya Avtomatyka, vymiriuvannya ta keruvannya, 2010. № 665. P. 169–173.
7. Iatsyshyn A.V., Popov O.O., Artemchuk V.O. Metody vymiriuvannya parametriv navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha. Kharkiv. Visnyk NTU “KhPI”, 2014. №40 (1083). P. 130–137.
8. Plowas I., Swiergiel J., Jadzyn J. Electrical conductivity in dimethyl sulfoxide + potassium iodide solutions at different concentrations and temperatures, Journal of Chemical & Engineering Data 59/8 (2014), p. 2360-2366.
9. Khandetskyi V.S., Babak V.P. Obrobka syhnaliv. Kyiv: «Lybid», 1999. 495 p.
10. Serediuk O.Ie., Barna O.B., Krynytskyi O.S. Elektrychni, mahnitnyi ta elektromahnitnyi vydy neruivnogo kontroliu v naftovii haluzi: navchalnyi posibnyk. Ivano-Frankivsk: IFNTUNH, 2017. 348 p.
11. Teterko A.Ia. Fazovyi sposib vykhrostrumowego kontroliu iz vidlashtuvanniam vid neliniinoho vplyvu zazoru / A. Ya. Teterko, V. M. Uchanin, V. I. Hutnyk, O. A. Teterko // Mater. 17 Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. “Elektromahnitni ta akustychni metody neruivnogo kontroliu materialiv ta vyrobiv”. Lviv: Fiz.-mekh. in-t im. H. V. Karpenka NAN Ukrainy, 2012. S. 23–24.
12. Teterko A.Ia. Metod formuvannya informatsiinoho syhnalu ta pidvyshchennia tochnosti vykhrostrumowego kontroliu pytomoi elektrychnoi providnosti materialu iz vykliuchenniam vplyvu zazoru / A. Ya. Teterko, H. H. Lutsenko, V. I. Hutnyk, O. A. Teterko // Vidbir i obrobka informatsii. Lviv, 2016. Vyp. 43 (119). P.5–11.
13. Maievskiy S.M. Fazovymiriuvalni systemy neruivnogo kontroliu [Elektronnyi resurs]: navchalnyi posibnyk. KPI im. Ihoria Sikorskoho. Elektronni tekstovi dani (1 fail: 3,46 Mbait). Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2018. 288 p.
14. Pyrozhenko Ye.V. Sebko V.V., Zdorenko V.H. Babenko V.M., Horbunova O.V. Sumisnyi vymiriuvalni kontrol fizyko-khimichnykh parametriv zrazka pyvnykh stokiv. Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia. Kharkiv: NTU “KhPI”, 2020. №4. P. 34 – 47.

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-37>

УДК 615

РОМАНЧУКЕВИЧ Олег

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0009-0006-9097-3536>

e-mail: oleh.i.romanchukevych@lpnu.ua

ІВАНИШИН Алла

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-3302-7889>

e-mail: alla.v.hunkalo@lpnu.ua

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

У статті розглянуто питання управління ризиками, наведено етапи оцінювання ризиків та запропоновано методику управління ризиками вимірювального обладнання, що може використовуватися в будь-якій галузі промисловості для забезпечення стабільної точності вимірювання та запобігання виникнення невідповідностей, вчасного і ефективного реагування на небажані ситуації. Визначено та наведено характерні ризики для вимірювального обладнання. Наведено заходи щодо запобігання ризикам вимірювального обладнання на прикладі застосування методу Poka-Yoke.

Ключові слова: вимірювальне обладнання, невідповідності, ризики, точність вимірювань, виробничий процес.

ROMANCHUKEVYCH Oleg, IVANISHYN Alla

Lviv Polytechnic National University

DEVELOPMENT OF MEASURING EQUIPMENT RISK MANAGEMENT METHODOLOGY

Measuring equipment is an integral part of the production process, which must ensure the accuracy and reliability of measurements. However, there are risks of inconsistencies that can affect the operation of the equipment, can negatively affect their accuracy, stability and reliability, and, accordingly, the quality of products and the safety of production processes. Therefore, it is necessary to detect such inconsistencies in a timely manner, assess the level of risks and take risk management measures. Taking this into account, the development of the risk management methodology of measuring equipment is relevant.

Failure of measuring equipment can lead to inaccurate measurements, violations of standards and even serious accidents. In addition, insufficient personnel qualification and lack of careful maintenance can also lead to inconsistencies in the measurement process.

The article considers the issue of risk management, gives the stages of risk assessment and proposes a method of risk management of measuring equipment that can be used in any industry to ensure stable measurement accuracy and prevent inconsistencies, timely and effective response to undesirable situations. Specific risks for measuring equipment are defined and given. Measures to prevent the risks of measuring equipment are presented using the Poka-Yoke method as an example.

Key words: measuring equipment, inconsistencies, risks, measurement accuracy, production process.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Вимірювальне обладнання є невід'ємною складовою виробничого процесу, яке повинне забезпечувати точність та надійність вимірювань. Проте, виникають ризики невідповідностей, які можуть вплинути на роботу обладнання, можуть негативно позначитися на їх точності, стабільності та надійності, а відповідно і на якості продукції та безпеці процесів виробництва. Тому потрібно вчасно виявляти такі невідповідності, оцінювати рівень ризиків та вживати заходи щодо управління ризиками. Зважаючи на це, актуальною є розробка методики управління ризиками вимірювального обладнання.

Несправність вимірювального обладнання може призвести до неточних вимірювань, порушення вимог стандартів та навіть серйозних аварій. Крім того, недостатня кваліфікація персоналу та відсутність ретельного технічного обслуговування можуть також призвести до невідповідностей у вимірювальному процесі.

Формулювання цілей статті

Мета цієї статті полягає у виділенні етапів та формування методики управління ризиками вимірювального обладнання.

Методика управління ризиками вимірювального обладнання

Ризик – це вплив невизначеності [1]. Також ризик визначають, як рішення або інші дії, наслідком яких можуть бути як позитивні, так і негативні результати під впливом непередбачуваних змін у внутрішньому і зовнішньому середовищі організації [2].

Оцінка та управління ризиками є частиною управлінського процесу, а також має фундаментальне значення для управління організацією (підприємством) на всіх рівнях [3-6]. Існує серія міжнародних стандартів, які визначають основні принципи та методи оцінювання ризиків [1, 7-8]. Зокрема, ISO 31000:2018 [1] – стандарт, який містить принципи управління ризиками, EN IEC 31010:2019 [8] – містить більше 40 методів оцінювання ризиків. Ці стандарти доцільно використовувати організаціям для поліпшення планування діяльності і прийняття ефективних рішень.

Якщо ризик неминучий, особливо важливим стає його аналіз, оцінка, вибір методів вимірювання та визначення можливостей подальшого управління. У результаті аналізу ризику отримують уявлення про можливі ризикові події, ймовірність їхнього настання та наслідки. Після порівняння отриманих значень ризиків з гранично допустимими розробляється стратегія управління ризиком, на основі якої пропонуються заходи з запобігання або зменшення ризику. [9].

З точки зору ризик-орієнтованого підходу до управління якістю головним ризиком при використанні вимірювального обладнання є перевищення допустимої похибки або необхідного рівня невизначеності під час його калібрування [10].

Можна виділити також деякі характерні ризики вимірювального обладнання, зокрема:

Некаліброване обладнання: Вимірювальне обладнання, яке не проходить регулярне калібрування, може давати неточні результати вимірювань, що призводить до невірних рішень або погіршення якості виробів.

Неправильне використання обладнання: Некоректне використання вимірювального обладнання, наприклад, неправильне встановлення або налаштування, може призвести до значних помилок у вимірюваннях.

Пошкодження або знос обладнання: Фізичне пошкодження або знос вимірювального обладнання може призвести до зміни його характеристик і, отже, до неточних результатів вимірювань.

Відмова обладнання: Відмова вимірювального обладнання в неправильний момент може призвести до втрати даних або інших негативних наслідків, особливо якщо це обладнання використовується в критичних ситуаціях.

Недостатня тривалість служби батареї (там де застосовується): В багатьох випадках вимірювальне обладнання працює від батарей живлення. Недостатня тривалість їх роботи може призвести до втрати зв'язку під час вимірювання або навіть до втрати даних.

Несанкціонований доступ: Несанкціонований доступ до вимірювального обладнання, зокрема до програмного забезпечення, може призвести до небезпеки зміни параметрів вимірювань або навіть до порушення безпеки даних.

Для кожного вимірювального обладнання визначаються свої характерні ризики та здійснюється їх оцінка. При цьому варто враховувати вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання з урахуванням ДСТУ ISO 10012:2005 [11].

Визначення високих ризиків та запровадження методики управління ризиками вимірювального обладнання дасть змогу організації (підприємству) забезпечити безперебійну роботу обладнання, підвищити його довговічність та точність, а також зменшити ймовірність виникнення критичних (небажаних) ситуацій. Основні етапи методики відображені на рис. 1.

Аналіз та ідентифікація ризиків вимірювального обладнання

Аналіз та ідентифікація ризиків є ключовим етапом в управлінні ризиками вимірювального обладнання. Цей процес полягає у визначенні потенційних загроз і негативних подій, які можуть виникнути під час експлуатації вимірювального обладнання, та оцінці їхнього впливу на виробничий процес. Для ефективного аналізу і ідентифікації ризиків варто дотримуватися кількох основних кроків:

Створення команди ідентифікації ризиків: Формування команди, яка буде відповідальною за аналіз і ідентифікацію ризиків. У цю команду можуть входити представники технічного персоналу, менеджери з безпеки, які мають досвід роботи з вимірювальним обладнанням, та інші зацікавлені сторони.

Ідентифікація потенційних ризиків: Спільно з командою проводяться сесії мозкового штурму та аналіз виробничих процесів для виявлення можливих загроз. Ризики можуть включати технічні проблеми, такі як знос або несправність обладнання, а також людські фактори, наприклад, неправильне використання обладнання або недостатня кваліфікація персоналу.

Класифікація ризиків: Оцінка і класифікація ідентифікованих ризиків за їхньою серйозністю та ймовірністю виникнення. Ризики можуть бути класифіковані за допомогою матриці ймовірності-впливу, де ризики ранжуються залежно від їхнього потенційного впливу та ймовірності виникнення [9].

Документування і аналіз ризиків: Опис і документація всіх ідентифікованих ризиків у спеціальному реєстрі ризиків. Проведення аналізу кожного ризику для визначення його потенційного впливу на виробничий процес та розробка стратегій управління цими ризиками.

Оцінка ризиків: Проведення оцінки ризиків для визначення їхнього потенційного впливу на виробничий процес та розробка стратегій управління ними. Оцінка ризиків допомагає визначити, які ризики потребують найбільшої уваги та які заходи можуть бути вжиті для їх управління.

Перевірка та оновлення реєстру ризиків: Регулярна перевірка та оновлення реєстру ризиків для включення нових загроз або зміни в оцінці існуючих. Цей процес допомагає підтримувати актуальність та ефективність системи управління ризиками.

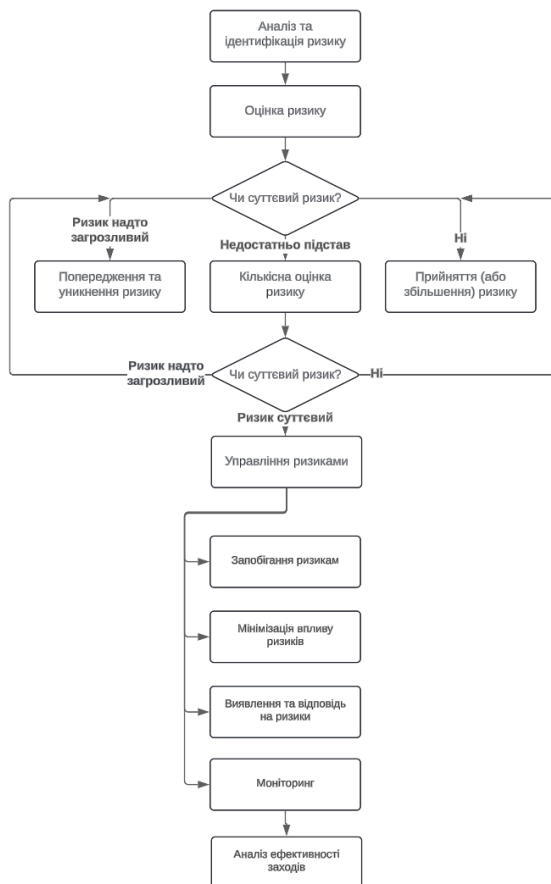


Рис. 1. Етапи управління ризиками вимірювального обладнання

Аналіз ризиків потрібно проводити, враховуючи такі чинники, як:

- ймовірність виникнення подій та їхніх наслідків;
- характер і масштаби можливих наслідків;
- складність та взаємозв'язок компонентів;
- часові фактори;
- ефективність існуючих засобів контролю;
- чутливість та надійність.

На аналіз ризиків можуть впливати розбіжність думок, упередження, сприйняття ризику та судження. Також важливими є якість використовуваної інформації, допущення та виключення, обмеження методів та способів їх реалізації. Ці фактори слід ретельно вивчати, документувати і повідомляти особам, які приймають рішення.

Аналіз та ідентифікація ризиків є першим кроком у розробці ефективної системи управління ризиками вимірювального обладнання. Правильне проведення цього етапу дозволяє вчасно виявляти потенційні загрози та розробляти стратегії їх управління, що сприяє забезпеченню безпеки, надійності та ефективності виробничого процесу.

Оцінка ризиків

Визначення ймовірності та впливу: Після ідентифікації ризиків важливо визначити ймовірність їхнього виникнення та потенційний вплив на виробничий процес. Це дозволяє визначити, які ризики потребують найбільшої уваги та які можуть бути ігноровані.

Оцінка ризиків: Проведення кількісної або якісної оцінки кожного ідентифікованого ризику з урахуванням його ймовірності та потенційного впливу. Це допомагає визначити рівень загрози, яку вони становлять для виробничого процесу.

Ранжування ризиків: Після оцінки кожного ризику їх можна ранжувати в порядку пріоритету від найбільш до менш значущих. Це допомагає визначити, на які ризики слід звернути першочергову увагу при розробці стратегій управління [12].

Управління ризиками

Запобігання ризикам: Розробка та впровадження заходів, спрямованих на зменшення ймовірності виникнення ризиків. Це може включати в себе регулярне технічне обслуговування, навчання персоналу, покращення процедур безпеки та інші профілактичні заходи.

Мінімізація впливу ризиків: Розробка стратегій для зменшення впливу виникнення ризиків на виробничий процес в разі їхнього реалізації. Це може включати в себе резервування ресурсів, створення альтернативних планів дій та інші заходи.

Виявлення та відповідь на ризики: Розробка процедур та планів дій для виявлення та відповіді на ризики в разі їхнього виникнення. Це може включати в себе плани екстреного реагування, комунікаційні стратегії та інші заходи для забезпечення ефективного управління ризиками у випадку їхнього реалізації.

Моніторинг та перегляд: Постійний моніторинг стану ризиків та ефективності вжитих заходів управління. Регулярний перегляд та оновлення стратегій управління ризиками на основі нової інформації та змін у виробничому середовищі.

Розробка заходів щодо запобігання ризикам

Одним із способів управління ризиками є запобігання їх виникнення (якщо це можливо).

Розглянемо розробку заходів щодо запобігання ризикам обладнання на конкретному прикладі. Пропозиції щодо заходів, розроблені в межах певних напрямків автомобілебудування (VDA), спочатку спрямовані на високі значення рейтингу ризику (RPN) та дефекти з високим ступенем важливості.

Команда працює відповідно до наступних пріоритетів:

Переробка проекту процесу або продукту: першочергове завдання – усунення дефекту шляхом змін у проекті процесу або продукту. При розробці заходів перевага надається методам попередження помилок (Рока-ґоке)[13].

Методи попередження помилок, також відомі як Рока-ґоке, є підходом до забезпечення якості, який спрямований на запобігання можливим помилкам або дефектам ще до їх виникнення. Термін "Рока-ґоке" походить з японської мови і означає "захист від помилок" або "запобігання помилкам".

Основна мета Рока-ґоке полягає в тому, щоб зробити процес або систему такими, що вони запобігають помилкам або роблять їх майже неможливими. Це досягається шляхом інтеграції спеціальних механізмів або пристроїв, які можуть:

- *Виявляти помилки:* Система виявлення дозволяє швидко визначати, коли відбувається помилка, і негайно вживати заходів для виправлення.

- *Запобігати помилкам:* Пристрої або механізми, що запобігають можливості виникнення помилок, такі як блокування дій, що можуть призвести до помилок, або використання стандартних інструментів і шаблонів.

- *Попереджувати оператора:* Системи оповіщення, такі як звукові або візуальні сигнали, які попереджають оператора про можливі помилки, даючи йому змогу виправити ситуацію.

Прикладами застосування Рока-ґоке є:

- Використання інструментів з фіксаторами або ключами, які підходять лише до одного типу виробу або процесу.

- Впровадження сенсорів для контролю правильності виконання певних дій у процесі виробництва.

- Використання маркування або кольорів для ідентифікації деталей або компонентів, які мають бути з'єднані.

Рока-ґоке сприяє підвищенню якості продукції та ефективності процесу, оскільки допомагає запобігти помилкам на ранніх етапах виробництва, зменшуючи тим самим ризик дефектів і пов'язані з ними витрати.

Підвищення надійності: Запроваджуються відповідні заходи для підвищення надійності процесу або продукту, щоб зменшити ймовірність виникнення можливих дефектів.

Покращення ефективності виявлення дефектів: Цей напрямок передбачає підвищення ефективності виявлення дефектів без необхідності впровадження додаткових перевірок.

Для подальшого вдосконалення процесу або продукту та запобігання дефектам команда використовує статистичні дані з внутрішнього моніторингу та відгуки клієнтів. Також береться до уваги досвід роботи з аналогічними процесами або продуктами.

Щодо запропонованих заходів для кожної причини дефекту буде розроблено прогноз ефективності шляхом оцінки окремих показників та рейтингу ризику (RPN) у формі аналізу видів і наслідків відмов (FMEA) "Стан після корекції" (ця оцінка дає уявлення про очікуваний остаточний вплив заходів).

Запропоновані заходи керівник групи аналізу видів і наслідків відмов передає на затвердження керівнику виробничого підрозділу. У випадку заходів, що потребують значних фінансових ресурсів, вони подаються на затвердження керівництву. Затверджені заходи керівник групи передає керівнику проекту, який оформляє їх у вигляді завдань у протоколі засідання проектною командою.

Аналіз ефективності заходів щодо управління ризиками

Проведення регулярних аналізів дозволяє оцінити ефективність вжитих заходів управління ризиками та вносити корективи у стратегії, якщо це необхідно. Це допомагає підтримувати вимірювальне обладнання на високому рівні ефективності та безпеки.

Недоліки в поточних підходах до управління ризиками вимірювального обладнання можуть виникати з різних причин і вимагають уваги для подальшого вдосконалення системи. Деякі з найбільш поширених недоліків включають:

Недостатня ідентифікація ризиків: Часто виробничі підприємства не вдаються до достатньої ідентифікації потенційних ризиків, оскільки вони не враховують всі можливі сценарії або не звертають увагу на менш очевидні загрози.

Недостатній аналіз ризиків: Після ідентифікації ризиків не завжди проводиться належний аналіз їхнього потенційного впливу та ймовірності виникнення. Це може призвести до недооцінки серйозності певних ризиків або недооцінки їхнього впливу на виробничий процес.

Відсутність системного підходу: Часто управління ризиками вимірювального обладнання відбувається декількома окремими процедурами, а не як система. Відсутність інтеграції між різними аспектами управління ризиками може призвести до неефективності та дублювання зусиль.

Недостатнє залучення персоналу: Управління ризиками часто відбувається на рівні керівництва або спеціалізованих відділів, але недостатньо залучає персонал, що працює з вимірювальним обладнанням щоденно. Їхні знання та досвід можуть бути ключовими у виявленні потенційних ризиків та розробці ефективних стратегій управління.

Пропозиції щодо покращення ефективності управління ризиками вимірювального обладнання

Для забезпечення ефективного управління ризиками вимірювального обладнання слід забезпечити:

підвищення свідомості та навчання персоналу: Забезпечення навчання персоналу з питань управління ризиками, включаючи ідентифікацію, аналіз та управління ризиками, що пов'язані з вимірювальним обладнанням;

застосування інтегрованих підходів: Розвиток і впровадження інтегрованих систем управління ризиками, які охоплюють всі аспекти вимірювального процесу та взаємодіють між собою [14];

посилення комунікації та залучення персоналу: Створення механізмів для активної комунікації та залучення персоналу до процесу управління ризиками, зокрема шляхом отримання зворотного зв'язку та збору ідей щодо ідентифікації й оцінювання ризиків;

використання сучасних технологій: Використання сучасних технологій, таких як автоматизовані системи моніторингу та аналізу даних, для підвищення ефективності управління ризиками та попередження виникнення проблем.

Загальна мета цих пропозицій полягає в тому, щоб покращити ефективність системи управління ризиками вимірювального обладнання, забезпечивши надійність, безпеку та ефективність виробничих процесів.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Вимірювальне обладнання відіграє критичну роль у багатьох галузях науки, промисловості та технологій, забезпечуючи точні та надійні дані для прийняття рішень і проведення досліджень.

У даній статті запропонована методика управління ризиками вимірювального обладнання, спрямована на ефективне виявлення, аналізування та управління потенційними загрозами в роботі обладнання. Основна мета методики полягала в забезпеченні безперебійної роботи вимірювального обладнання та мінімізації ризиків, пов'язаних з його експлуатацією. Методика може бути застосовною для організацій чи підприємств будь-якої сфери діяльності, де використовується вимірювальне обладнання.

Перевагою розробленої методики є комплексний підхід, який враховує не лише технічні аспекти, а й організаційні та управлінські заходи. Це дозволяє забезпечити ефективне управління ризиками на всіх етапах використання вимірювального обладнання, включаючи проектування, виробництво, експлуатацію та технічне обслуговування.

Дослідження також показало, що систематичне впровадження розробленої методики може значно підвищити рівень безпеки виробничих процесів, знизити витрати на ремонт та збільшити тривалість безвідмовної роботи вимірювального обладнання.

Незважаючи на ці переваги, слід враховувати, що жодна методика управління ризиками не є універсальною. Тому рекомендується постійно оновлювати та вдосконалювати методику відповідно до змін у технологіях та вимогах безпеки.

Література

1. ДСТУ ISO 31000:2018 Менеджмент ризиків. Принципи та настанови (ISO 31000:2018, IDT)
2. Гуменюк В.Я., Міщук Г.Ю. Управління ризиками: Навч. посіб. – Рівне.: НУВГП, 2009, 8-10 с.
3. Іванишин А.В. Ризик-орієнтований підхід до управління якістю продукції Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Прикладні науково-технічні дослідження». - Івано-Франківськ.- 2021.- С. 282-283.
4. Іванишин А.В. Управління ризиками на підприємствах Збірник тез доповідей V Міжнародна науково-практична конференція „Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи”. – Львів, 2021. – С. 107.
5. Гунькало А. В. Застосування методів управління ризиками в діяльності організацій.- Збірник тез доповідей Міжнародної конференції метрологів МКМ'2019 (XXIII міжнародний семінар метрологів МСМ'2019) До 100-річчя кафедри ІВТ”.- С.36
6. Гунькало А. В. Управління ризиками у закладах вищої освіти Збірник тез доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції „Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи”. – Львів, 2019. – С. 35.
7. ISO Guide 73:2009 Керування ризиком. Словник термінів
8. EN IEC 31010:2019 Управління ризиками. Методи оцінювання ризиків
9. В.В. Березуцький, М.І. Адаменко Небезпечні виробничі ризики та надійність. 177с.
10. Аналіз вимог до обладнання та методик за ISO/IEC 17025:2017 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2019/may/16619/011.pdf>
11. ДСТУ ISO 10012:2005 Системи керування вимірюванням. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання (ISO 10012:2003, IDT)
12. Н. В. Караєва Еколого-економічний ризик-менеджмент: методи оцінювання ризиків 14с.
13. Методи ощадливого виробництва, які слід враховувати [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ukraine-oss.com/7-pryncypiv-instrumentiv-i-metodiv-oshhadlyvogo-vyrobnyctva-yaki-slid-vrahovuvaty/>
14. Шульга, В.І. Міщенко, Л.Л. Анісімова Інтегрована система управління ризиками банку : монографія. – Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2018. 77с.
15. Н. П. Шульга, В.І. Міщенко, Л.Л. Анісімова Інтегрована система управління ризиками банку : монографія. – Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2018. 77с.

References

1. DSTU ISO 31000:2018 Menedzhment ryzykiv. Pryntsypy ta nastanovy (ISO 31000:2018, IDT)
2. Humeniuk V.Ia., Mishchuk H.Iu. Upravlinnia ryzykamy: Navch. posib. – Rivne.: NUVHP, 2009, 8-10 p.
3. Ivanyshyn A.V. Ryzyk-orientovanyi pidkhyd do upravlinnia yakistiu produktsii Materialy V Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii «Prykladni naukovo-tekhniczni doslidzhennia». - Ivano-Frankivsk.- 2021.- S. 282-283.
4. Ivanyshyn A.V. Upravlinnia ryzykamy na pidpriemstvakh Zbirnyk tez dopovidei V Mizhnarodna naukovopraktychna konferentsiia „Upravlinnia yakistiu v osviti ta promyslovosti: dosvid, problemy ta perspektyvy”. – Lviv, 2021. – S. 107.
5. Hunkalo A. V. Zastosuvannia metodiv upravlinnia ryzykamy v diialnosti orhanizatsii.- Zbirnyk tez dopovidei Mizhnarodnoi konferentsii metrolohiv MKM2019 (XKhIII mizhnarodnyi seminar metrolohiv MSM2019) Do 100-richehia kafedry IVT”.- S.36
6. Hunkalo A. V. Upravlinnia ryzykamy u zakladakh vyshchoi osvity Zbirnyk tez dopovidei IV Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii „Upravlinnia yakistiu v osviti ta promyslovosti: dosvid, problemy ta perspektyvy”. – Lviv, 2019. – S. 35.
7. ISO Guide 73:2009 Keruvannia ryzykom. Slovyk terminiv
8. EN IEC 31010:2019 Upravlinnia ryzykamy. Metody otsiniuvannia ryzykiv
9. V.V. Berезutskiy, M.I. Adamenko Nebezpechni vyrobnychi ryzyky ta nadiinist. 177с.
10. Analiz vymoh do obladnannia ta metodyk za ISO/IEC 17025:2017 [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2019/may/16619/011.pdf>
11. DSTU ISO 10012:2005 Systemy keruvannia vymiriuvanniam. Vymohy do protsesiv vymiriuvannia ta vymiriuvannoho obladnannia (ISO 10012:2003, IDT)
12. N. V. Karaieva Ekoloho-ekonomichniy ryzyk-menedzhment: metody otsiniuvannia ryzykiv 14с.
13. Metody oshhadlyvoho vyrobnyctva, yaki slid vrahovuvaty [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://ukraine-oss.com/7-pryncypiv-instrumentiv-i-metodiv-oshhadlyvogo-vyrobnyctva-yaki-slid-vrahovuvaty/>
14. Shulha, V.I. Mishchenko, L.L. Anisimova Intehrovana systema upravlinnia ryzykamy banku : monohrafiia. – Kyiv. nats. torh.-ekon. un-t, 2018. 77p.
15. N. P. Shulha, V.I. Mishchenko, L.L. Anisimova Intehrovana systema upravlinnia ryzykamy banku : monohrafiia. – Kyiv. nats. torh.-ekon. un-t, 2018. 77p.

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-38>

УДК 004.94:655

КУДРЯШОВА Альона

Українська академія друкарства

<https://orcid.org/0000-0002-0496-1381>

e-mail: kudriashovaaliona@gmail.com

ДОМОРАД Олег

Українська академія друкарства

e-mail: olehdomuad@gmail.com

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ АЛЬТЕРНАТИВИ ВИКОНАННЯ ПІСЛЯДРУКАРСЬКИХ ПРОЦЕСІВ

У роботі запроєктовано альтернативні варіанти виконання післядрукарських процесів та здійснено вибір оптимального за методом на основі лінійного згортання критеріїв, який полягає у виокремленні максимального значення функцій корисності.

Виокремлено фактори множини Парето — найпріоритетніші фактори впливу на якість виконання післядрукарських процесів. Запроєктовано три альтернативи. Побудовано таблицю оцінювання альтернатив за мірами важливості виокремлених факторів. Сформовано матрицю попарних порівнянь вагових значень факторів. Обчислено функції корисності кожної запроєктованої альтернативи за факторами множини Парето. Визначено найкращу альтернативу за максимальним значенням функції корисності.

Ключові слова: післядрукарські процеси, фактор впливу, альтернатива, оцінка корисності, множина Парето.

KUDRIASHOVA Alona, DOMORAD Oleg

Ukrainian Academy of Printing

DETERMINATION OF THE OPTIMAL ALTERNATIVE POST-PRINTING PROCESSES

According to the analysis of trends in the publishing and printing industry and review of literary sources, the implementation of modern information technologies in printing activity allows for predictive evaluation of both separately defined procedures and finished book products under certain conditions and with certain parameters. This approach helps to improve the quality of the final product, ensuring the quality of technological stages. There is also a significant reduction in the time required to make management decisions, to choose equipment or settings, and the cost of production is reduced. The effectiveness and quality of publishing and printing processes are influenced by certain requirements, criteria, parameters — factors chosen by the method of expert evaluation. However, the measure of effectiveness of each factor is not the same. It is advisable to design alternatives for the course of post-printing processes, taking into account various measures of the influence of isolated factors and to determine the optimal option using the method of linear collapse of criteria. At the same time, it is sufficient to use only factors with the highest level of priority, which is determined by the Pareto principle.

The paper presents alternative options for performing post-printing processes are designed and the optimal one is selected according to the method based on linear convolution of criteria, which consists in extracting the maximum value of utility functions.

The factors of the Pareto set are singled out — the most priority factors influencing the quality of post-printing processes. Three alternatives have been designed. A table for evaluating alternatives based on the importance of selected factors has been constructed. Matrices of pairwise comparisons of factor weight values were formed. Normalization of the main eigenvector of the matrix of pairwise comparisons was carried out using the program "Simulation modeling by the method of binary comparisons". The utility function of each designed alternative was calculated by the factors of the Pareto set. The reliability check was carried out according to the maximum value of the main eigenvector, consistency index, consistency ratio. The best alternative based on the maximum value of the utility function is determined.

Keywords: post-press processes, impact factor, alternative, utility assessment, Pareto set.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Згідно аналізу тенденцій видавничо-поліграфічної галузі та огляду літературних джерел, впровадження сучасних інформаційних технологій у поліграфічну діяльність дозволяє здійснювати прогностичне оцінювання як окремо визначених процедур, так і готової книжкової продукції за певних умов та при певних параметрах. Такий підхід сприяє покращенню якості кінцевого продукту, забезпечуючи якість виконання технологічних етапів. Також відбувається суттєве зменшення часу на прийняття управлінських рішень, на вибір обладнання чи налаштувань, скорочується вартість виготовлення. На ефективність та якість виконання видавничо-поліграфічних процесів впливають певні вимоги, критерії, параметри — фактори, що обираються за методом експертного оцінювання. Однак, міра ефективності кожного фактора є неоднаковою. Доцільно здійснити проєктування альтернатив перебігу післядрукарських процесів, враховуючи різні міри впливу виокремлених факторів та визначити оптимальний варіант за методом лінійного згортання критеріїв.

При цьому достатнім є використання лише факторів із найвищим рівнем пріоритетності, що обумовлено принципом Парето.

Аналіз досліджень та публікацій

Публікації присвячені дослідженню альтернатив щодо редакційно-видавничого опрацювання поліграфічної продукції, зокрема проектування [1, 2] та композиційного оформлення книжкових видань [3], друкування накладів [4, 5], проектування післядрукарських процесів [6]. Однак, недостатньо уваги приділено завершальному та надзвичайно важливому етапу книговидавання — виконанню післядрукарських процесів.

Виклад основного матеріалу

Важливим етапом будь-якого технологічного процесу є прогнозування імовірних альтернатив виконання і міри впливу ключових факторів. Передбачувана гнучкість процесу уможливорює прийняття швидких управлінських рішень, що здійснює позитивний вплив на тривалість виготовлення та кінцеву якість поліграфічної продукції. Синтезована семантична мережа є підставою для побудови матриці попарних порівнянь, опрацювання якої приводить до отримання умовних вагових значень, що визначають числові пріоритети факторів — міри важливості їх на технологічний процес. Далі — розрахунок та визначення оптимального (серед альтернативних) варіанту реалізації досліджуваного процесу [1–3].

Багатокритеріальна оптимізація функцій $r(x) = (r_1(x), \dots, r_n(x))$ на множині B полягає у виокремленні максимального значення функцій корисності $r_i(x) \rightarrow \max_{x \in B}$, $i = 1, n$. Відповідно, за методом лінійного згортання критеріїв об'єднання часткових цільових функціоналів r_1, \dots, r_n здійснюється за формулою [1]:

$$R(w, x) = \sum_{i=1}^n w_i r_i(x) \rightarrow \max_{x \in D}; w \notin W, \quad (1)$$
$$W = \left\{ w = (w_1, \dots, w_n)^T; w_j > 0; \sum_{i=1}^n w_i = 1 \right\},$$

де w_i — вагові значення факторів множини Парето.

Функція корисності для незалежних за корисністю та перевагою факторів має вид:

$$U(x) = \sum_{i=1}^n w_i u_i(y_i), \quad (2)$$

де $U(x)$ — багатокритеріальна функція корисності ($0 \leq U(x) \leq 1$) певної альтернативи x ; w_i — встановлене вагове значення i -го критерію, причому $0 < w_i < 1$, $\sum_{i=1}^n w_i = 1$; $u_i(y_i)$ — функція корисності i -го критерію ($0 \leq u_i(y_i) \leq 1$); y_i — значення альтернативи x за i -м критерієм [1, 4].

Основою багатокритеріального вибору оптимальної альтернативи під час прийняття рішення є такі припущення: множина альтернатив є скінченною множиною елементів $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, які можна перелічити; оцінювання відбувається за визначеною кількістю критеріїв m або за функціями корисності r_i , $r_i : X \rightarrow Y (i = 1, m)$; рішення приймається на основі вагових значень факторів [4].

Для розв'язання поставленої задачі виконаємо наступні дії:

1. Утворимо множину Парето, що міститиме лише фактори із найвищим пріоритетом.

Нехай це будуть фактори R_1 — проєкт (180 у. о.); R_2 — виготовлення зошитів (119 у. о.); R_3 — комплектування (77 у. о.); R_4 — скріплення (49,5 у. о.). Фактори з суттєво нижчою пріоритетністю відкидаються [7].

2. Задамо три альтернативні варіанти виконання післядрукарських процесів, позначивши їх A, B, C . Побудуємо таблицю оцінювання альтернатив за мірами важливості виокремлених факторів. При цьому, комбінації значень альтернатив не повинні перевищувати 100 % для кожного фактора. Представимо можливі варіанти комбінацій у табл. 1 [4–6].

Таблиця 1

Значення часток факторів виконання післядрукарських процесів

Фактор	Міра ефективності фактора виконання післядрукарських процесів в запроєктованих альтернативах									
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
R_1	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
R_2	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
R_3	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
R_4	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%

Таблиця 2

Оцінювання альтернативних варіантів виконання післядрукарських процесів

Назви факторів	Вагові значення факторів, у. о.	Оцінювання альтернатив за факторами		
		A	B	C
Проект (R_1)	180	40	40	20
Виготовлення зошитів (R_2)	119	30	50	20
Комплектування (R_3)	77	60	30	10
Скріплення (R_4)	49,5	20	30	50

3. За допомогою табл. 2 сформуємо матрицю попарних порівнянь ваг факторів [37, 69, 73, 74].

Таблиця 3

Матриця попарних порівнянь факторів множини Парето

	R_1	R_2	R_3	R_4
R_1	1	3	4	5
R_2	1/3	1	3	4
R_3	1/4	1/3	1	3
R_4	1/5	1/4	1/3	1

4. Здійснимо нормалізацію головного власного вектора матриці попарних порівнянь. Унаслідок нормалізації отримаємо остаточні вагові значення факторів:

$$w_1 = 0,53; w_2 = 0,27; w_3 = 0,13; w_4 = 0,07.$$

5. Перевіримо адекватність розв'язку задачі за такими параметрами: максимальним значенням головного власного вектора МПП λ_{\max} , індексом узгодженості IU та відношенням узгодженості RU [5–7].

Індекс узгодженості IU слугує оцінкою одержаного рішення та визначається за формулою:

$$IU = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}.$$

Еталонне значення індексу RI обирається з табл. 4, залежно від кількості аналізованих факторів, та використовується для порівняння з отриманими значеннями. При цьому, результати є задовільними, якщо значення індексу узгодженості IU , отримане внаслідок обрахунків, не перевищує 10% від еталонного значення індексу RI . Тобто, виконання нерівності $IU < 0,1 \times RI$ підтверджує адекватність розв'язку задачі.

У наведеній нижче таблиці порядок матриці вказується у першому рядку і відповідає кількості аналізованих факторів (об'єктів). У другому рядку подане еталонне значення випадкового індексу.

Таблиця 4

Значення випадкового індексу для матриць різного порядку

Кількість об'єктів	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Еталонне значення індексу	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,54	1,56	1,57

Відношення узгодженості використовується для додаткового оцінювання результатів та обчислюється за таким виразом: $RU = IU/RI$. Результати попарних порівнянь вважаються задовільними, якщо $RU \leq 0,1$. В такому випадку рівень збіжності процесу є достатнім, а оцінка узгодженості експертних суджень — належною.

Згідно обчислень критерії нормалізації знаходяться у нормальних межах, що підтверджує узгодженість експертних суджень та достатній рівень збіжності [1, 3, 4]:

$$\lambda_{\max} = 4,181; IU = 0,06; RU = 0,067.$$

Перевіримо правильність розв'язку задачі шляхом виконання нерівностей $IU < 0,1 \times RI$ та $RU \leq 0,1$, де RI — випадковий індекс для матриці 4-го порядку (табл. 4), $RI = 0,9$.

Нерівності $0,06 < 0,1 \times 0,9$ та $0,067 \leq 0,1$ є правильними.

6. Визначимо функції корисності кожної запроєктованої альтернативи за факторами множини Парето. Для цього побудуємо матриці попарних порівнянь [2–4]. Внаслідок опрацювання кожної матриці, отримуємо значення функцій корисності альтернатив за відповідними факторами [5]:

- $R_1: u_{11}, u_{12}, u_{13}$;
- $R_2: u_{21}, u_{22}, u_{23}$;
- $R_3: u_{31}, u_{32}, u_{33}$;
- $R_4: u_{41}, u_{42}, u_{43}$.

Перевірка достовірності здійснюється за максимальним значенням головного власного вектора, індексом узгодженості, відношенням узгодженості [5].

R_1	A	B	C
A	1	1	4
B	1	1	4
C	1/4	1/4	1

Критерії нормалізації: $\lambda_{\max} = 3; IU = 0; RU = 0$.

Корисність альтернатив за фактором $R_1: u_{11} = 0,444; u_{12} = 0,444; u_{13} = 0,111$.

Аналогічно для інших факторів множини Парето:

R_2	A	B	C
A	1	1/4	3
B	4	1	5
C	1/3	1/5	1

Критерії нормалізації: $\lambda_{\max} = 3,086; IU = 0,043; RU = 0,074$.

Корисність альтернатив за фактором $R_2: u_{21} = 0,225; u_{22} = 0,673; u_{23} = 0,1$.

R_3	A	B	C
A	1	5	7
B	1/5	1	4
C	1/7	1/4	1

Критерії нормалізації: $\lambda_{\max} = 3,124; IU = 0,062; RU = 0,107$.

Корисність альтернатив за фактором $R_3: u_{31} = 0,722; u_{32} = 0,204; u_{33} = 0,072$.

R_4	A	B	C
A	1	1/3	1/5
B	3	1	1/4
C	5	4	1

Критерії нормалізації: $\lambda_{\max} = 3,086; IU = 0,043; RU = 0,074$.

Корисність альтернатив за фактором $R_4: u_{41} = 0,1; u_{42} = 0,225; u_{43} = 0,673$.

5. Обчислення багатокритеріальних оцінок корисності для запроєктованих альтернативних варіантів [4–7].

Підставимо у формулу 2 такі значення: $n = 4$; $u_i(y_i) = u_{ij}$ — корисність j -ї альтернативи ($j = 1, 2, 3$) за i -м фактором ($i = 1, \dots, 4$). У результаті отримуємо:

$$U_j = \sum_{i=1}^4 w_i u_{ij}; j = 1, 2, 3, \quad (3)$$

де U_j — багатофакторна оцінка корисності.

Згідно 3 сформуємо такі відношення:

$$\begin{aligned} U_1 &= w_1 \times u_{11} + w_2 \times u_{21} + w_3 \times u_{31} + w_4 \times u_{41}; \\ U_2 &= w_1 \times u_{12} + w_2 \times u_{22} + w_3 \times u_{32} + w_4 \times u_{42}; \\ U_3 &= w_1 \times u_{13} + w_2 \times u_{23} + w_3 \times u_{33} + w_4 \times u_{43}; \end{aligned} \quad (4)$$

Найкращій альтернативі виконання аналізованого процесу належить найбільше значення U_j , ($i = 1, 2, 3$) [3].

Підставивши відповідні числові значення у формулу 4, отримуємо такі відношення:

$$U_1 = 0,53 \times 0,444 + 0,27 \times 0,225 + 0,13 \times 0,722 + 0,07 \times 0,1 = 0,397;$$

$$U_2 = 0,53 \times 0,444 + 0,27 \times 0,673 + 0,13 \times 0,204 + 0,07 \times 0,225 = 0,459;$$

$$U_3 = 0,53 \times 0,111 + 0,27 \times 0,1 + 0,13 \times 0,072 + 0,07 \times 0,673 = 0,142.$$

Оцінка корисності U_2 має максимальне значення. Отже, альтернатива B є оптимальною для досліджуваного процесу.

Висновки з даного дослідження

і перспективи подальшого розвитку у даному напрямі

У статті виокремлено множину Парето, що складається з найбільш пріоритетних факторів впливу на якість виконання післядрукарських процесів: R_1 — проєкт (180 у. о.); R_2 — виготовлення зошитів (119 у. о.); R_3 — комплектування (77 у. о.); R_4 — скріплення (49,5 у. о.). Здійснено оцінювання та порівняння трьох запроєктованих альтернатив за факторами множини Парето. Визначимо багатокритеріальні оцінки корисності. Оцінка корисності $U_2 = 0,459$ є максимальною, отже найкращою є альтернатива B . При цьому визначальна роль належить фактору R_2 — виготовлення зошитів.

Перспективи подальшого розвитку в цьому напрямі полягають у розробленні інформаційної технології формування та прогностичного оцінювання якості виконання післядрукарського опрацювання книжкових видань.

Література

1. Сеньківський В. М., Кудряшова А. В. Багатофакторний вибір альтернативних варіантів проєктування видання на основі лінійного згортання критеріїв. *Наукові записки [Української академії друкарства]*. 2017. № 1 (54). С. 45–51.
2. Сеньківський В. М., Кудряшова А. В. Багатофакторний вибір альтернативних варіантів проєктування видання на основі нечіткого відношення переваги. *Поліграфія і видавнича справа*. 2017. № 1 (73). С. 80–86.
3. Піх І. В., Кудряшова А. В. Багатофакторний вибір альтернативних варіантів композиційного оформлення видання на основі лінійного згортання критеріїв. *Наукові записки [Української академії друкарства]*. 2017. № 2 (55). С. 41–46.
4. Сеньківський В. М., Мельников О. В., Кохан В. Ф. Багатофакторний вибір альтернативних варіантів флексографічного друку на основі нечіткого відношення переваги. *Наукові записки [Української академії друкарства]*. 2012. № 3. С. 120–126.
5. Репета В. Б., Гургалі Н. С., Сеньківський В. М. Вибір альтернативи процесу вузькорулонного УФ-флексографічного друку. *Квалілогія книги*. 2012. № 2. С. 62–65.
6. Кудряшова А. В. Багатофакторний вибір альтернативних варіантів проєктування післядрукарських процесів на основі лінійного згортання критеріїв. *Поліграфія і видавнича справа*. 2019. № 2 (78). С. 45–50.
7. Сеньківський В. М., Кудряшова А. В. Моделі інформаційної технології проєктування післядрукарських процесів: Монографія. Львів: УАД, 2022. 204 с.

References

1. Senkivskyy V. M., Kudriashova A. V. Multifactorial selection of alternative edition design options based on linear collapse of criteria. *Scientific Papers* [Ukrainian Academy of Printing]. 2017. No. 1 (54). P. 45–51.
2. Senkivskyy V. M., Kudriashova A. V. Multifactorial selection of alternative options for the design of the edition based on the fuzzy relation of weight. *Printing and Publishing*. 2017. No. 1 (73). P. 80–86.
3. Pikh I. V., Kudriashova A. V. Multifactorial selection of alternative variants of the composition design of the publication based on linear collapse of criteria. *Scientific Papers* [Ukrainian Academy of Printing]. 2017. No. 2 (55). P. 41–46.
4. Senkivskyy V. M., Melnikov O. V., Kokhan V. F. Multifactorial selection of alternative options for flexographic printing based on a fuzzy preference relation. *Scientific Papers* [Ukrainian Academy of Printing]. 2012. No. 3. P. 120–126.
5. Repeta V. B., Gurhal N. S., Senkivskyy V. M. Selection of an alternative to the process of narrow-roll UV flexographic printing. *Book Qualilogy*. 2012. No. 2. P. 62–65.
6. Kudriashova A. V. Multifactorial selection of alternative design options for post-press processes based on linear convolution of criteria. *Printing and Publishing*. 2019. No. 2 (78). P. 45–50.
7. Senkivskyy V. M., Kudriashova A. V. Models of information technology for designing post-press processes: Monograph. Lviv: UAP, 2022. 204 p.

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-39>

УДК 005.21:005.8:004.8.

ЛИСЕНКО Сергій

Хмельницький національний університет
<https://orcid.org/0000-0001-7243-8747>

КАЧУР Артем

Хмельницький національний університет
<https://orcid.org/0000-0002-4658-2056>

ТЕХНОЛОГІЯ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ: ОПТИМІЗАЦІЯ АРХІТЕКТУРИ СИСТЕМ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

В роботі досліджено виклики, що виникають при розробці та застосуванні технологій віртуальної реальності (VR). Незважаючи на революційний потенціал VR у різних галузях, його повноцінній реалізації перешкоджають технічні, фінансові та етичні бар'єри. Існують технічні проблеми, пов'язані з розробкою високоякісного апаратного та програмного забезпечення, безперешкодною інтеграцією з існуючою інфраструктурою та потребою в значних обчислювальних ресурсах. Фінансові обмеження виникають через високу вартість виробництва та обслуговування, що обмежує доступність. З етичної точки зору, занурення у віртуальну реальність створює потенціал для звикання, антисоціальної поведінки та порушення конфіденційності даних. У статті також обговорюються компромісні рішення, складність, технологічні обмеження, спільна оптимізація апаратного та програмного забезпечення, перспективність, тестування та валідація, пов'язані з розробкою віртуальної реальності. Крім того, представлено огляд рішень цих задач, запропонованих у сучасній науковій літературі. Стаття підкреслює необхідність подальших досліджень, інновацій та вдосконалення для подолання цих перешкод і розкриття трансформаційного потенціалу технології віртуальної реальності.

Ключові слова: віртуальна реальність, технологічні виклики, компромісні рішення, рішення для VR, оптимізація віртуальної реальності, спільна оптимізація, економічна ефективність.

LYSENKO Sergii, KACHUR Artem

Khmelnitskyi National University

VR TECHNOLOGY: OPTIMIZATION OF VR SYSTEM ARCHITECTURE

This paper explores the challenges faced in the development and application of virtual reality (VR) technologies. Despite the revolutionary potential of VR in various industries, its full realization is hampered by technical, financial, and ethical barriers. There are technical challenges related to the development of high-quality hardware and software, seamless integration with existing infrastructure, and the need for significant computing resources. Financial constraints arise from the high cost of production and maintenance, which limits accessibility. From an ethical perspective, immersive virtual reality creates the potential for addiction, anti-social behavior, and data privacy violations. The article also discusses the trade-offs, complexity, technological limitations, joint optimization of hardware and software, future proofing, testing, and validation associated with virtual reality development. In addition, an overview of solutions to these problems proposed in the current scientific literature is presented. VR has already made significant strides in revolutionizing industries such as gaming, education, healthcare, and architecture. To overcome the technical hurdles, continued investment in research and development is crucial, with an emphasis on creating more efficient and affordable hardware and software solutions. Additionally, collaboration across industries and experts is essential for seamless integration into existing infrastructure and addressing the need for substantial computing resources. On the financial front, innovative business models and funding strategies can help make VR more accessible to a broader audience. Ethical concerns should be met with proactive measures, including the development of responsible use guidelines and robust data protection mechanisms.

Keywords: virtual reality, technological challenges, trade-off solutions, VR solutions, virtual reality optimization, co-optimization, cost-effectiveness.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Розвиток цифрової ери спричинив хвилю трансформаційних технологій, серед яких посідає суттєве місце віртуальна реальність (VR). Віртуальна реальність, яка об'єднує фізичний і цифровий світи, робить успіхи в таких галузях, як освіта, охорона здоров'я, розваги та навчання, обіцяючи змінити те, як ми вчимося, лікуємося, граємо і працюємо [1]. Однак реалізація повного потенціалу технології пов'язана з проблемами, що охоплюють технічну, фінансову та етичну сфери.

З технічної точки зору, розробка апаратного та програмного забезпечення для першокласного VR-досвіду створює перешкоди, включаючи час автономної роботи, комфорт, точність відстеження та вимоги до обробки [2-5]. Безперешкодна інтеграція з існуючими системами та навантаження на ІТ-ресурси є додатковими проблемами [6-7]. З фінансової точки зору, високі виробничі витрати призводять до зростання вартості кінцевих продуктів, тоді як постійне технічне обслуговування і швидкий розвиток технологій додають проблем [8-9]. Етичні дилеми виникають через потенційну залежність, антисоціальну поведінку та конфіденційність даних [10-13].

Поширення технологій віртуальної реальності створює необхідність вирішення цих задач. Подолання апаратних і програмних задач, вирішення питань економічної ефективності та врахування

етичних аспектів є важливими для розкриття трансформаційного потенціалу віртуальної реальності [1]. Цей шлях вимагає постійних інновацій та вдосконалення, оскільки ми працюємо над тим, щоб використати можливості технології віртуальної реальності.

Основна мета та завдання цієї статті – розглянути та підкреслити нагальну потребу в комплексному підході до оптимізації взаємодії апаратного та програмного забезпечення систем VR. Спираючись на вичерпну літературу, автори прагнуть підкреслити важливість збалансованої стратегії оптимізації, яка охоплює затримку, енергоспоживання, стабільність апаратного забезпечення, користувацький досвід, портативність та ефективність розробки. Цим дослідженням ми прагнемо підкреслити необхідність міждисциплінарної співпраці, яка об'єднує комп'ютерну архітектуру, взаємодію людини з комп'ютером, програмну інженерію та когнітивну науку, що, зрештою, сприятиме трансформаційному прогресу для ширшого впровадження та еволюції систем віртуальної реальності.

2 Ключові аспекти оптимізації архітектури систем віртуальної реальності

Оптимізація апаратного забезпечення VR – це процес вдосконалення компонентів системи віртуальної реальності для підвищення продуктивності, ефективності та якості роботи користувачів. Це передбачає комплексну стратегію, яка налаштовує та адаптує апаратні можливості відповідно до високих вимог додатків віртуальної реальності, забезпечуючи при цьому безперебійний досвід для користувачів. У цій статті ми розглянемо складне завдання оптимізації апаратного забезпечення VR, проаналізуємо його виклики та потенційні рішення.

Оптимізація архітектури віртуальної реальності (VR) має на меті покращити такі ключові характеристики, як продуктивність, енергоефективність та економічність. Вона включає в себе різні методології, від алгоритмічного дизайну до оцінки системи, але залишається складною через багатоцільові виклики. Покращення одного аспекту може вплинути на інші, що посилюється динамічною природою додатків віртуальної реальності та взаємодією між апаратним і програмним забезпеченням. Ця сфера вимагає міждисциплінарних досліджень, що поєднують комп'ютерні науки, інженерію та людинно-машинну взаємодію для подолання перешкод оптимізації.

1. **Компромісні рішення:** Оптимізація апаратного забезпечення передбачає збалансування таких цілей, як потужність, ефективність, використання пам'яті, вартість і надійність. Управління цими компромісами залежить від застосування, бюджету та обмежень. Такі методи, як DVFS (динамічне масштабування напруги і частоти) і фреймворки на основі машинного навчання [14]-[15], оптимізують компроміси між потужністю і продуктивністю.

2. **Складність:** оптимізація апаратного забезпечення враховує взаємозалежності компонентів. Такі технології, як SSCN (розріджена згорткова мережа підмножин) для VR, AR та автономного водіння кидають виклик існуючим прискорювачам. Прискорювач на основі ПЛІС, що використовує такі стратегії, як видалення нулів [16], вирішує проблеми нерегулярних операцій SSCN.

3. **Технологічні обмеження:** Транзистори, що зменшуються, створюють такі проблеми, як втрати сигналу, питома потужність та перегрів. НСІ (інжекція носіїв заряду) і самонагрівання впливають на логічні схеми і мікроскопічні польові транзистори [17]-[18].

4. **Апаратно-програмна оптимізація:** Оптимізація продуктивності передбачає збалансування взаємодії апаратного та програмного забезпечення. Апаратне забезпечення повинно ефективно виконувати інструкції програмного забезпечення, а програмне забезпечення повинно використовувати можливості апаратного забезпечення [19].

5. **Перспектива:** Передбачити майбутні потреби, збалансувавши специфіку та загальність, є складним завданням. Відновлення технічних засобів продовжує термін служби електроніки [20].

6. **Тестування та валідація:** Ретельне тестування і методи програмно-апаратного моделювання (HIL) [21]-[22] забезпечують правильне функціонування.

7. **Економічна ефективність:** Оптимізація апаратного забезпечення повинна порівнювати переваги з виробничими витратами [23]. Генетичні алгоритми оптимізують зниження витрат у розподільчих мережах.

У світлі складності та багатогранності задач, описаних в оптимізації апаратного забезпечення VR, стає очевидним, що цілісний і міждисциплінарний підхід має вирішальне значення. Складна взаємодія між апаратним і програмним забезпеченням у поєднанні з притаманними їй компромісами і технологічними обмеженнями підкреслює величезну складність цієї галузі. Крім того, динамічний характер VR-додатків і нагальна потреба в перспективних рішеннях ще більше підкреслюють критичну природу цієї сфери. Тому існує нагальна потреба в спеціальних наукових дослідженнях, спрямованих на розробку рішень, які б комплексно вирішували ці задачі оптимізації. Такі зусилля не лише підвищать загальну продуктивність і ефективність систем віртуальної реальності, але й забезпечать довговічність, адаптивність і економічну ефективність цих імерсивних технологій.

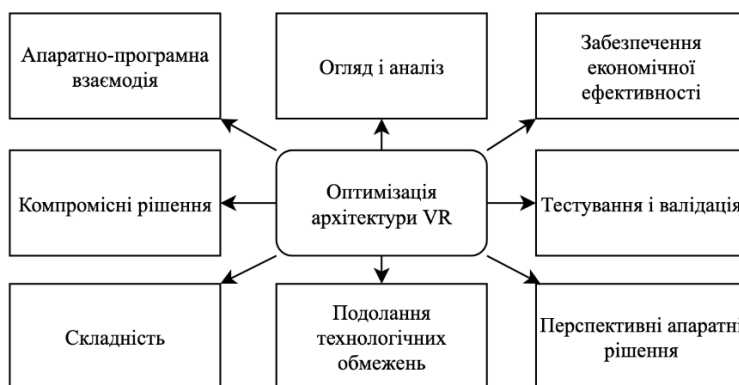


Рис. 1. «Дорожня карта» оптимізації архітектури VR

3 Сучасний стан

У даній статті автори приділяють увагу аспекту спільної оптимізації апаратного та програмного забезпечення в архітектурі віртуальної реальності (VR). Цей аспект важливий через зв'язок між апаратною та програмною частинами. Спільна оптимізація дозволяє досягти оптимальної продуктивності системи. Однак збалансувати апаратуру загального призначення та вимоги вузькоспеціалізованих програмних систем може бути складно. Співпраця між розробниками апаратного та програмного забезпечення допомагає вирішувати задачі та оптимізувати систему. Цей підхід має потенціал для створення більш ефективних VR систем.

У статті [19] представлено технологію візуальної інерційної одометрії (VIO) для AR/VR та інших застосувань. Вона використовує оптимізований прискорювач VIO, що покращує продуктивність та зменшує споживання енергії. Цей прискорювач дозволяє отримати високу якість VIO та знизити споживання енергії.

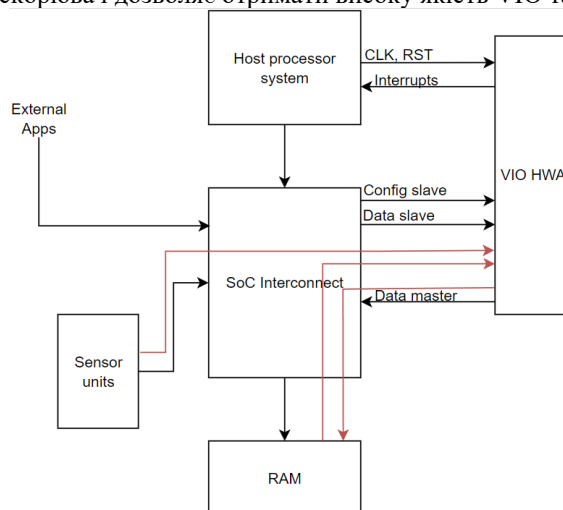


Рис. 2. Інтеграція VIO на вбудованій системі на кристалі [19]

Стаття [36] демонструє розподілену архітектуру обчислення на сенсорах для AR/VR окулярів. Вона пропонує оптимізацію зниження споживання енергії та покращення затримки та конфіденційності. Однак ця стаття обмежується лише споживанням енергії.

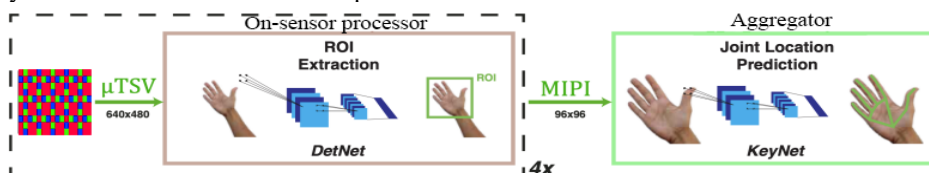


Рис. 3. Приклад оптимального розподілу робочого навантаження під час відслідковування руху рук на архітектурі розподілених обчислень на сенсорах [36]

У дослідженні [37] автори представляють прототип мобільної системи на кристалі (SoC), спеціально розробленої для енергоефективного відслідковування погляду з використанням моделі Codec Avatar. Створена за технологією 7 нм, тестовий чіп включає акселератор нейронної мережі, масив MAC на 1024 елемента, 2 МБ SRAM на чіпі та 32-бітний RISC-V CPU. Цей тестовий чіп вбудовується в мобільну VR-

гарнітуру для запуску додатку Codec Avatar, демонструючи процес розробки, який охоплює інтеграцію на рівні системи, налаштування моделі та прискорення на рівні схеми для вимог кращих мобільних AR/VR SoC. Завдяки оптимізації моделі та прискоренню на рівні схеми, прототип SoC досягає 30 кадрів на секунду з низьким споживанням енергії та компактним форм-фактором. Тестовий чіп споживає 22,7 мВт потужності, обробляючи весь модель CNN за 16,5 мс, що призводить до енергоефективного результату 375 μ Дж/кадр/око в межах 2,56 mm^2 площі кремнію. Функціональна схема представлена на рис. 4.

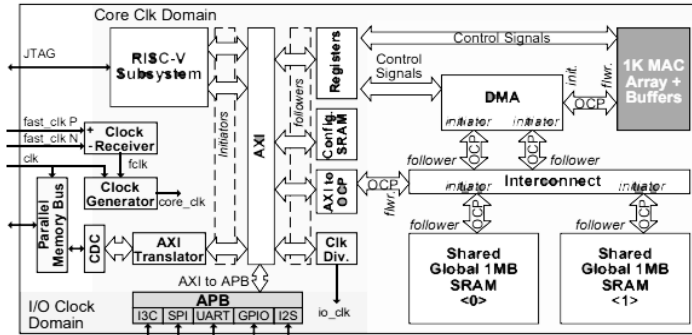


Рис. 4. Тестова мікросхема прискорювача DNN: функціональна схема [37]

Незважаючи на суттєві досягнення, продемонстровані у [37], воно в основному зосереджене на споживанні енергії, ігноруючи інші можливі виклики, що можна відзначити як його основний недолік.

У статті [38] розроблено доступну VR-платформу під назвою Dune, яка підвищує взаємодію та інтегрується з популярними САПР. Архітектура програмного забезпечення Dune представлена на рис. 5. Цей проект вимагає високопродуктивних пристроїв для роботи зі складністю, а також зосереджується на вартісних рішеннях для промислового використання. Унікальною особливістю є точне відстеження рухів, досягнуте за допомогою комбінації глибинної камери та WiiRemote. У розглянутій роботі розробка VR-платформи Dune зосереджується на покращенні взаємодії та сумісності з відомими САПР. Незважаючи на досягнення ініціативи, особливо в плані відстеження рухів, очевидно, що стаття в основному зосереджена на зручності використання для кінцевих користувачів та зручності розробки. Ця обмежена спрямованість може ігнорувати інші важливі аспекти проектування та оптимізації системи віртуальної реальності. Отже, однією з основних обмежень цієї статті є її обмежена увага лише до цих двох факторів.

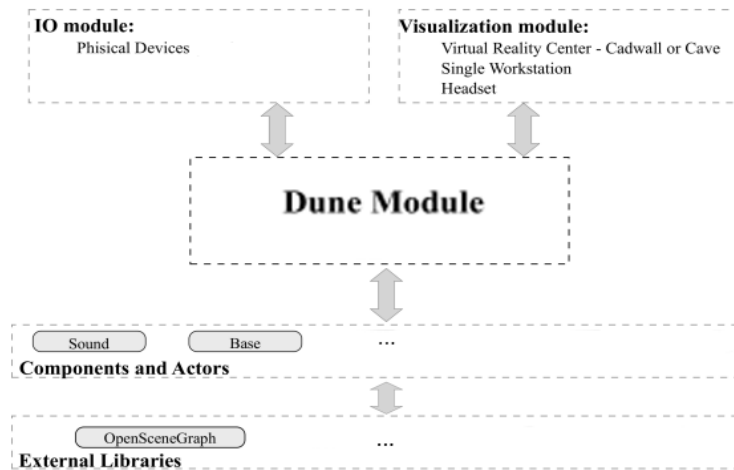


Рис. 5. Архітектура ПЗ Dune [38]

У статті [39] представлено систему EVR: комплексну систему для енергоефективної обробки VR-відео. EVR спрямована на головне затримування продуктивності VR - проекційну трансформацію (PT) – і використовує дві основні стратегії оптимізації. Семантично-орієнтоване потокове відтворення (SAS) в хмарі зменшує виконання PT на пристроях VR шляхом попереднього рендерингу 360° кадрів, використовуючи невикористану семантичну інформацію. Апаратно-прискорене відтворення (HAR) на клієнтських пристроях додатково зменшує споживання енергії завдяки спеціалізованому апаратному прискоренню PT. Прототип EVR, розміщений на платформі Amazon AWS та на платі NVIDIA Jetson TX2 з FPGA Xilinx Zynq-7000, досягає значних результатів. EVR скорочує використання енергії при рендерингу VR до 58%, що виражається в потенційній 42% економії енергії для пристроїв VR. Розширена апаратна архітектура представлена на рис. 6.

Дослідження, представлене в статті [39], пропонує інноваційний підхід до обробки VR-відео, зосереджуючись виключно на споживанні енергії через систему EVR. Незважаючи на досягнення значних енергозбережень, виключне спрямування на споживання енергії може бути розглянуто як його основне обмеження, можливо, ігноруючи інші важливі виклики оптимізації VR.

Дослідження [40] спрямоване на створення енергоефективного рішення для існуючого алгоритму оцінки позиції рук, що використовує глибинну камеру. Автори використовують стиснення глибокої нейронної мережі за допомогою технік динамічної квантизації на різних рівнях, досягаючи значного стиснення при збереженні точності. Розроблена спеціалізована апаратна архітектура. Автори вибрали ПЛІС як платформу через її енергоефективність та переносимість. Рішення, реалізоване на FPGA Xilinx UltraScale+ MPSoC, перевершує оригінальну реалізацію на NVIDIA GeForce GTX 1070, в 4,2 рази по швидкості і 577,3 рази по енергоефективності. Процес розробки представлений на рис. 7.

Дослідження [40] презентує суттєві досягнення в енергоефективності та продуктивності для алгоритмів оцінки позиції рук за допомогою технік динамічної квантизації та апаратної архітектури на основі FPGA. Проте його основне обмеження полягає в відсутності урахування стабільності апаратного забезпечення та зручності розробки, що може обмежити його загальну застосовність і впровадження в різних сценаріях.

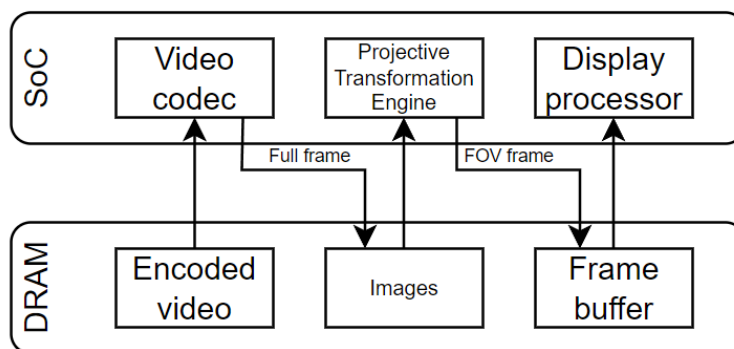


Рис. 6. Розширена апаратна архітектура [39]

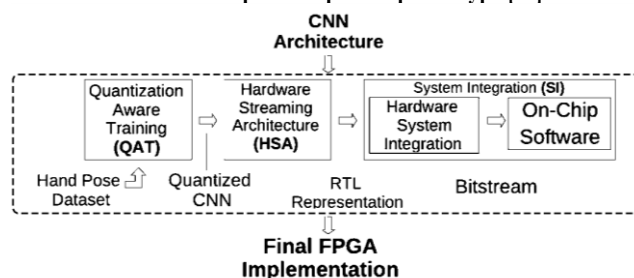


Рис. 7. Огляд процесу розробки [40]

Новий співпроцесор, завдяки своєму високопродуктивному та енергоефективному дизайну, відповідає вимогам вимогливих обчислювальних завдань і сприяє впровадженню гетерогенних систем для високопродуктивних обчислень. Проте, зі зростанням масштабу системи і інтеграцією нових співпроцесорів програмування таких систем стає складним завданням. Для вирішення цього питання у статті [41] пропонується абстрактний підхід до покращення паралельної програмуваності. Вона вводить структуровану систему прототипу паралельного програмування, здатну використовувати різні рівні неявного паралелізму. Структура спільної мережі програмування представлена на рис. 8.

У статті [41] пропонується підхід до вирішення задачі програмування в високопродуктивних гетерогенних системах. Однак цей підхід зосереджується переважно на полегшенні розробки через структуроване паралельне програмування і, здається, не звертає належної уваги на аспекти, такі як затримка, споживана потужність та стабільність апаратного забезпечення. Ця вибіркова увага може бути його основним обмеженням, що, можливо, залишає без уваги кілька критичних аспектів оптимізації системи.

Стаття [42] вирішує задачі досягнення високої якості в додатках віртуальної реальності (VR) з використанням потокового відео 360° через високі вимоги до затримки і пропускної спроможності мережі. У статті пропонується рішення, яке використовує потокове відео 360° з плитками та потужності кешування обчислювальних ресурсів на мобільних кордонних обчисленнях (MEC) для передбачення поля зору (FoV) в гарнітурі та доставки необхідних плиток. За допомогою кешування з передбаченням плиток в MEC можливо заощадити пропускну спроможність і підтримувати кілька користувачів. Автори визначають модель для вибору плиток, кешування та покриття FoV і пропонують евристичний алгоритм для її вирішення (рис. 9).

Порівняння з існуючими політиками кешування, такими як «Останній використаний» (LRU) та «Найрідше використаний» (LFU), показує, що запропонований підхід покращує покриття FoV на 30% і зменшує витрати на кешування на 25%.

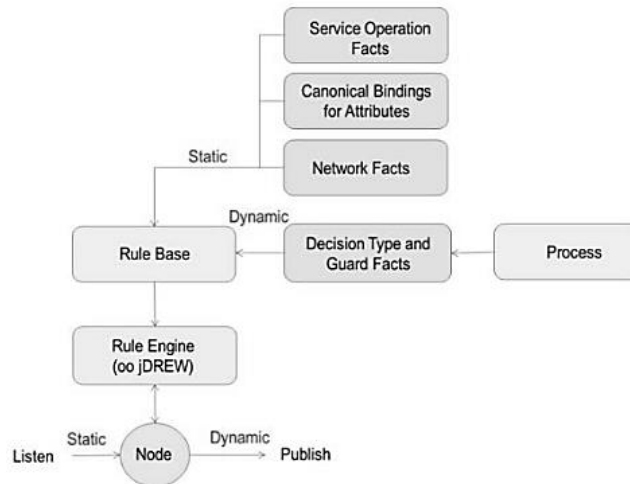


Рис. 8. Загальна структура колабораційної мережі програмування [41]

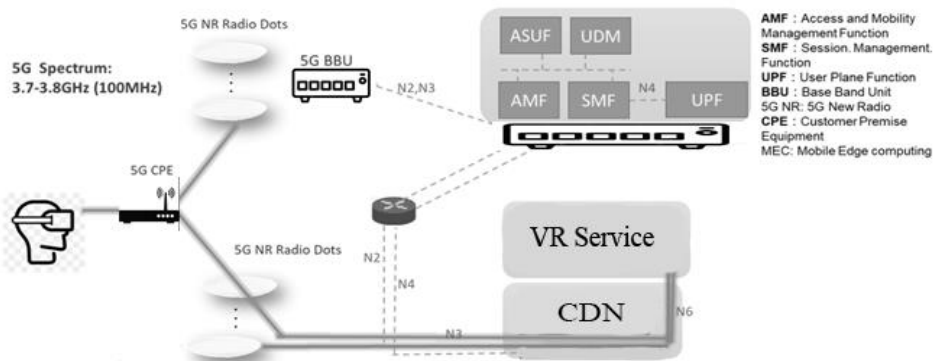


Рис. 9. Мережа 5G та мобільні кордонні обчислення [42]

Дослідження, яке описано в [42], ефективно вирішує задачі затримки та зручності використання кінцевими користувачами в застосунках VR з потоковим відео 360°. Проте важливо зауважити, що його фокус залишається обмеженим цими аспектами. Критичні аспекти, такі як споживана потужність, стабільність апаратного забезпечення та інші важливі питання, залишаються поза увагою. Цей вибірковий підхід є основним обмеженням статті і вказує на потребу подальшого дослідження та розробки комплексного рішення.

Стаття, позначена як [43], пропонує дослідження з метою підвищення ефективності доступу до інформації та інтерактивного досвіду в системі віртуальної реальності (VR), зниження когнітивного навантаження користувачів та оптимізації ефективності розробників у створенні VR системи. Було запропоновано метод, названий оптимізацією ресурсів сценарію завдань на основі методу функціонального розгортання і згорткових нейронних мереж (QFD-CNN). Цей метод аналізує характеристики багатоканальних інформаційних ресурсів у системі VR, будує кореляційну матрицю характеристик ресурсів сценарію системи VR, використовує АНР-QFD і матрицю оцінки для визначення пріоритетів характеристик ресурсів системи VR, проводить експеримент на користувачах з вимірюванням когнітивного навантаження, збирає дані вхідного і вихідного набору CNN і створює систему CNN для передбачення когнітивного навантаження та задоволеності користувачів у взаємодії людина-комп'ютер у системі VR. Потім цей метод був застосований до інтерфейсу інформації завдань системи VR у розумному місті. Результати показують, що модель АНР-QFD, заснована на когнітивному навантаженні, і мережа прогнозування CNN є ефективними, як вказує значення коефіцієнта CR менше 0,1 і середньоквадратична помилка (MSE) 0,004247. Порівняння традиційного процесу проектування і оптимізованого методу, запропонованого в дослідженні, показало, що останній призводить до меншого когнітивного навантаження і кращого досвіду виконання завдань для користувача, що свідчить про те, що оптимізаційний метод може служити посиланням для побудови систем віртуальної реальності. Схема теоретичного каркасу представлена на рис. 10.

Дослідження надає цінні уявлення щодо підвищення ефективності доступу до інформації та інтерактивного досвіду у системі VR, зокрема з фокусом на затримках і зручності використання для кінцевих користувачів та розробки. Однак помітним обмеженням цього дослідження є виключення важливих аспектів, таких як споживана потужність, стабільність апаратного забезпечення та інші суттєві компоненти оптимізації VR систем. Це пропуск вказує на потенційні напрями для подальших комплексних досліджень з метою гolistичного вирішення задач систем віртуальної реальності.

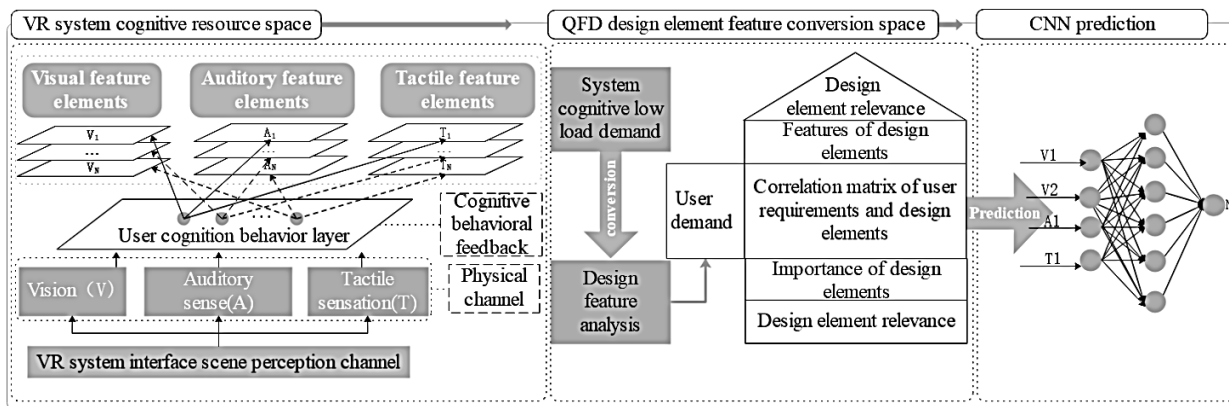


Рис. 10. Теоретичний фреймворк [43]

У статті [44] розглядаються виклики бездротової передачі віртуальної реальності, включаючи передачу контенту великих об'ємів, вимоги до якості обслуговування та обмежену пропускну здатність мобільних мереж. Автори пропонують схему обміну контентом на основі мультимедійного зв'язку 5G пристрій-пристрій (D2D), що дозволяє сусіднім користувачам VR створювати мультимедійні кластери та обмінюватися контентом VR за допомогою режиму D2D, використовуючи ресурси каналу передачі даних звичайних користувачів VR. Пропозиція включає двоетапну схему, яка включає в себе розрахунок оптимальної потужності передачі для кожного пристрою користувача VR на основі геометричної відстані та перетворення розподілу каналу в задачу вирішення біпартитного графу оптимально за допомогою угорського алгоритму. Модель системи мультимедійних кластерів D2D VR представлена на рис. 11. Результати моделювання показують, що запропонована схема, порівняно з евристичними і стохастичними схемами, може збільшити загальну пропускну здатність мережі приблизно на 50% і 12% відповідно, досягаючи значний приріст загальної пропускну здатності та менші затримки передачі. Незважаючи на те, що метод пропонує рішення щодо бездротової передачі VR за допомогою схеми мультимедійного зв'язку 5G пристрій-до-пристрій (D2D), він в основному акцентується на обміні контентом і пропускну здатності мережі. Зокрема, упущені деякі аспекти, такі як стабільність апаратних засобів, портативність та розробка. Це є суттєвим обмеженням, враховуючи комплексні вимоги до всебічної оптимізації VR.

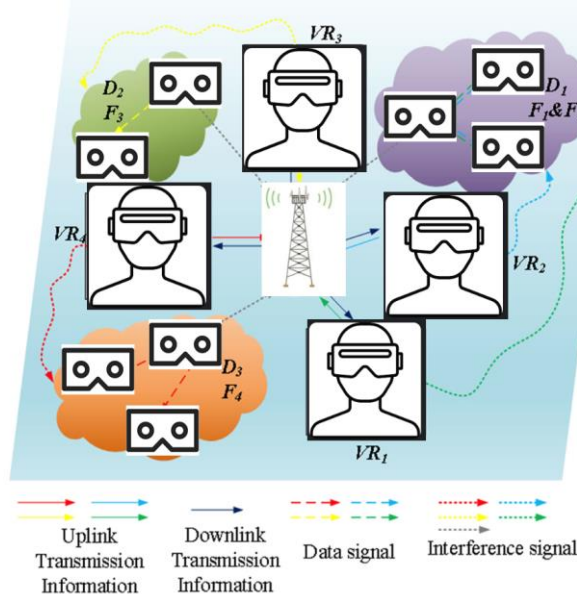


Рис. 11. Модель системи кластерів D2D

4 Переваги та недоліки існуючих рішень

У ході аналізу вибраних статей, присвячених взаємодії апаратного та програмного забезпечення у віртуальній реальності (VR), стала очевидною наявність деяких проблемних питань. Ці виклики, які виникають безпосередньо з вмісту та уявлень у статтях, підкреслюють головні задачі, які дослідники вирішують у галузі VR. Наведене подальше перерахування викликів служить не лише як компактне представлення основних областей дослідження, але й надає можливість розглядати еволюцію досліджень у галузі VR через призму цих ключових викликів. Розуміючи ці основні виклики, можна оцінити акценти та напрямки, який сучасні дослідження вибирають для вирішення складної взаємодії між апаратним та програмним забезпеченням VR. У даному дослідженні представлено таблицю, яка демонструє основні виклики взаємодії апаратного ж та програмного забезпечення VR, а також які задачі вирішує кожна стаття, а саме: (1) Затримка; (2) Споживана потужність; (3) Стабільність апаратури; (4) Зручність для кінцевого користувача; (5) Портативність; (6) Розробка.

Кожне дослідження перелічена разом із задачами, які вона намагається вирішити, з відповідним плюсом, який показує вирішений виклик. Наприклад, стаття [19] фокусується на викликах, пов'язаних із затримкою та споживаною потужністю. Так само, [36] глибше досліджує питання споживання потужності та стабільності апаратури. Щоб краще зрозуміти багатогранну природу взаємодії апаратного та програмного забезпечення VR, важливо класифікувати поточні виклики у цій галузі. Вищезазначені задачі відображають головні питання, визначені експертами у недавній науковій літературі. Кожна з них відображає конкретний бар'єр, який дослідники ретельно намагаються подолати з метою поліпшення загального досвіду у VR.

Різноманітність статей, що розглядалися, свідчить про обширний спектр цієї галузі. Наприклад, певні дослідники, як видно у [37], займаються задачами споживання потужності за допомогою вдосконалених апаратних методів, тоді як інші, як у [38], зосереджуються на питаннях щодо зручності використання та розробки у конкретних контекстах, таких як промислове застосування.

Стаття [42] розв'язує задачі пов'язані із використанням ресурсів кешу, вимогами до зберігання, пропускну здатністю зв'язку та затримкою, що сприяють покращенню зручності використання інтерактивних додатків VR для кінцевого користувача. Проте ця стаття не враховує питання споживання потужності, стабільності апаратури, портативності чи розробки.

У статті [43] автори представляють метод для вирішення задач затримки та поліпшення зручності для кінцевого користувача та ефективності розробки у системах віртуальної реальності. Незважаючи на те, що стаття не вирішує питання споживання потужності, стабільності апаратури чи портативності, можна припустити, що поліпшення точності схеми дизайну та зменшення часових витрат через запропоновану модель може мати непрямий вплив на стабільність апаратури та споживання потужності.

Якщо припустити, що схема, запропонована у [44], успішно реалізується, ймовірно, буде покращення зручності для кінцевого користувача завдяки збільшенню пропускну здатності та ясності передачі контенту VR. Проте ця схема може вимагати спеціалізованого апаратного чи програмного забезпечення для реалізації технології D2D мультикастингу та впровадження запропонованого двохетапного алгоритму. Це може призвести до викликів у стабільності апаратури, портативності та розробці.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Майбутні дослідження у сфері VR повинні фокусуватися на інтегрованих рішеннях для оптимізації апаратного та програмного забезпечення. Оптимізація повинна включати зниження затримки, споживання енергії, підвищення стабільності апаратури, поліпшення користувацького досвіду, забезпечення портативності та ефективності розробки. Це потребує балансування реального часу та енергоефективності з урахуванням можливостей апаратури. Покращення користувацького досвіду включає ергономічний дизайн та зручні інтерфейси. Забезпечення портативності потребує адаптивності до різних обчислювальних середовищ. Спрощення розробки вимагає вдосконалених інструментів для створення, тестування та впровадження VR-додатків. Для досягнення цих цілей необхідний міждисциплінарний підхід та співпраця між дослідниками, інженерами, дизайнерами та експертами. Майбутні дослідження повинні акцентувати увагу на збалансованих методах для вирішення затримки, споживання енергії, стабільності апаратури, користувацького досвіду, портативності та ефективності розробки. Інтеграція VR в різні галузі, такі як навчання і розробка продуктів, обіцяє значне збільшення можливостей. Проте існують технологічні виклики у вигляді обробки даних, затримок та взаємодії. Для використання повного потенціалу VR у різних галузях потрібні комплексні рішення, які охоплюють весь шлях обробки даних та користувацький досвід [45-47].

Подолання цих викликів вимагає міждисциплінарного підходу та співпраці. Необхідно досліджувати питання безпеки VR, оскільки він може викликати нові загрози для даних і конфіденційності користувачів. Забезпечення безпеки у VR стосується як захисту даних, так і благополуччя користувачів. Необхідно досліджувати надійні фреймворки безпеки та методи шифрування для цього середовища [48-51].

Таблиця 1.

Загальний аналіз задач оптимізації апаратного та програмного забезпечення VR

Робота	Затримка	Споживана потужність	Апаратна стабільність	Зручність для кінцевого користувача	Портативність	Розробка
[19]	+	+	-	-	-	-
[36]	-	-	+	-	-	-
[37]	-	+	-	-	-	-
[38]	-	-	-	+	-	+
[39]	-	+	-	-	-	-
[40]	+	+	-	+	+	-
[41]	-	-	-	-	-	+
[42]	+	-	-	+	-	-
[43]	+	-	-	+	-	+
[44]	+	+	-	+	-	-

Література

1. Forbes, The Impact of AR and VR on Customer Experience. URL: <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2023/04/13/the-impact-of-ar-and-vr-on-customer-experience/?sh=65a908567c3a> (accessed Aug. 05, 2023).
2. Entrepreneur. AR and VR Require Better Hardware, Software and Power for Mass Adoption. URL: <https://www.entrepreneur.com/science-technology/ar-and-vr-require-better-hardware-software-and-power-for/285259> (accessed Aug. 05 2023).
3. Semiconductor Engineering. Design and Security Challenges for VR. URL: <https://semiengineering.com/design-and-security-challenges-for-vr/> (accessed Aug. 05 2023).
4. Road to VR. The 3 Biggest Challenges Facing Augmented Reality Today. URL: <https://www.roadtovr.com/3-biggest-challenges-facing-augmented-reality-today> (accessed Aug. 05 2023).
5. Security Boulevard. “AR and VR Cybersecurity Challenges: Navigating New Frontiers. URL: <https://securityboulevard.com/2023/06/ar-and-vr-cybersecurity-challenges-navigating-new-frontiers/> (accessed Aug. 05 2023).
6. Brookings. Ensuring equitable access to AR/VR in higher education. URL: <https://www.brookings.edu/articles/ensuring-equitable-access-to-ar-vr-in-higher-education/> (accessed Aug. 05 2023).
7. TechTarget. VR Platform aims to give retailers entry into the metaverse. URL: <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/feature/VR-platform-aims-to-give-retailers-entry-into-the-metaverse/> (accessed Aug. 05 2023).
8. Yahoo Finance. Why Meta’s dropping prices for its VR headsets. URL: <https://finance.yahoo.com/news/why-metas-dropping-prices-for-its-vr-headsets-204637368.html> (accessed Aug. 05 2023).
9. Mixed News. Apple’s mixed-reality headset could feature very expensive displays. URL: <https://mixed-news.com/en/apple-mixed-reality-headset-expensive-displays/> (accessed Aug. 05 2023).
10. CoinTelegraph. The ethics of the metaverse: Privacy, ownership and control. URL: <https://cointelegraph.com/news/the-ethics-of-the-metaverse-privacy-ownership-and-control> (accessed Aug. 05 2023).
11. The Bulletin. Virtual Reality has arrived, but are humans ready for it? URL: <https://thebulletin.org/2023/03/virtual-reality-has-arrived-but-are-humans-ready-for-it/> (accessed Aug. 05 2023).
12. This Day. The Imperative for Ethical Considerations in AI Adoption. URL: <https://www.thisdaylive.com/index.php/2023/06/30/the-imperative-for-ethical-considerations-in-ai-adoption/> (accessed Aug. 05 2023).
13. Verdict. Data privacy concerns will be amplified by the metaverse. URL: <https://www.verdict.co.uk/data-privacy-metaverse-challenge/> (accessed Aug. 05 2023).
14. Chen J. et al. JOSS: Joint Exploration of CPU-Memory DVFS and Task Scheduling for Energy Efficiency, *Distributed, Parallel, and Cluster Computing (cs.DC)*, 2023, vol. 04615, pp. 1-11.
15. Zhang Z. et al. DVFO: Learning-Based DVFS for Energy-Efficient Edge-Cloud Collaborative Inference, *Machine Learning (cs.LG)*, 2023, vol. 01811, pp.1-16.
16. Wang Z., Mao W., Yang P., Wang Z., Lin J. An Efficient FPGA Accelerator for Point Cloud, *Signal Processing (eess.SP)*, 2023, vol.07803, pp. 1-6.
17. Liu Y. et al. An Investigation into the Comprehensive Impact of Self-Heating and Hot Carrier Injection, *Electronics*, vol. 11(17), 2022, pp.1-11.
18. Wang Y., Li Y., Yang Y., Chen W. Hot Carrier Injection Reliability in Nanoscale Field Effect. Transistors: Modeling and Simulation Methods. *Electronics*, 2022, vol.11, pp. 1-16.
19. Mandal D.K., Jandhyala S. Visual Inertial Odometry At the Edge: A Hardware-Software Co-design Approach for Ultra-low Latency and Power, *2019 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE)*, Florence, Italy, 2022, pp. 960-963.
20. Hazelwood D.A., Pecht M.G. Life Extension of Electronic Products: A Case Study of Smartphones, *IEEE Access*, 2021, vol. 9, pp. 144726-144739.
21. Jiang W., Sun L., Chen Y. Hardware-in-the-Loop-on-Chip Development System for Teaching and Development of Dynamic Systems, *Electronics*, 2021, vol.10, pp. 1-15.
22. Dinu A., Ogrutan P.L. Reinforcement Learning Made Affordable for Hardware Verification Engineers, *Micromachines*, 2022, vol. 13, pp. 1-28.
23. Riaño F.E. et al. “Reduction of Losses and Operating Costs in Distribution Networks Using a Genetic Algorithm and Mathematical Optimization,” *Electronics*, vol. 10, pp. 1-25, 2021.
24. Dey S. et al. CPU-GPU-Memory DVFS for Power-Efficient MPSoC in Mobile Cyber Physical System, *Future Internet*, 2022, vol. 14, pp. 1-14.
25. Nabavinejad S.M., Reda S., Ebrahimi M. Coordinated batching and DYFS for DNN inference on GPU accelerators, *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 33, no. 10, pp. 2496–2508, 2022.

26. Guo Y. et al. "Deep learning for 3d point clouds: A survey, *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 2020, vol. 43, no. 12, pp. 4338–4364.
27. Liao M.H., Hsieh C.P., Lee C.C., Systematic investigation of self-heating effect on CMOS logic transistors from 20 to 5nm technology nodes by experimental thermoelectric measurements and finite element modeling, *IEEE Trans. Electron Device*, 2017, vol. 64, pp. 646–648.
28. Mahapatra S., Sharma U. A Review of Hot Carrier Degradation in N-Channel Mosfets - Part I: Physical Mechanism, *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 67, pp. 2660–2671, 2022.
29. A.Erbsen et al. Integration Verification across Software and Hardware for a Simple Embedded System, *PLDI 2021: Proceedings of the 42nd ACM SIGPLAN International Conference on Programming Language Design and Implementation*, 2021, pp. 604–619.
30. Özçelik A., Löchtefeld M., Tollestrup C. Long-lasting smart products: Overview of longevity concepts in sustainable ICT and design for sustainability, *DRS2022: Bilbao, 25 June - 3 July, Bilbao, Spain*, 2022, vol. 1, pp. 1-18.
31. Haririan P. DVFS and Its Architectural Simulation Models for Improving Energy Efficiency of Complex Embedded Systems in Early Design Phase, *Computer*, 2020, vol. 9, pp. 1-21.
32. Khriji S., Chéour R., Kanoun O. Dynamic Voltage and Frequency Scaling and Duty-Cycling for Ultra Low-Power Wireless Sensor Nodes, *Electronics*, 2022, vol. 11, pp. 1-19.
33. Ben Yahya T. et al. The Effects of Data Security and Perceived Benefits on Mobile Phone Recycling Behaviour and the Recycling Intention Mediation Role, *Recycling*, 2023, vol. 8, pp. 1-26.
34. Montoya O.D. et al. Vortex search and Chu-Beasley genetic algorithms for optimal location and sizing of distributed generators in distribution networks: A novel hybrid approach, *Eng. Sci. Technol. Int. J.*, 2020, vol. 23, pp. 1351-1363.
35. Chang J. et al. Deep Reinforcement Learning for Dynamic Flexible Job Shop Scheduling with Random Job Arrival, *Processes*, 2022, vol. 10, pp. 1-20.
36. Gomez J., Patel S., Sarwar S et al. Distributed On-Sensor Compute System for AR/VR Devices: A Semi-Analytical Simulation Framework for Power Estimation, *Hardware Architecture (cs.AR); Machine Learning (cs.LG)*, 2022, vol. 07474, pp. 1-6.
37. Sumbul H. E. System-Level Design and Integration of a Prototype AR/VR Hardware Featuring a Custom Low-Power DNN Accelerator Chip in 7nm Technology for Codec Avatars, *2022 IEEE Custom Integrated Circuits Conference (CICC), Newport Beach, CA, USA*, 2022, pp. 1-8.
38. Chionna F., Cirillo P., Palmieri V., Bellone M. Proposed Hardware-Software Architecture for Virtual Reality in Industrial Applications, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 2015, vol. 56, pp 139-142.
39. Leng Y., Huang J., Chen C., Sun Q., Zhu Y., Energy-Efficient Video Processing for Virtual Reality, *IEEE Micro*, 2020, vol. 40, pp. 30-36.
40. Al Koutayni M.R., Rybalkin V., Elhayek A., Weis C., Reis G., Wehn N., Stricker D. Real-Time Energy Efficient Hand Pose Estimation: A Case Study, *Sensors*, 2020, vol. 20, pp. 1-25.
41. Wu L., Research on the Development and Application of Parallel Programming Technology in Heterogeneous Systems, *Journal of Physics: Conference Series*, 2022, vol. 2173, pp. 1-8.
42. Chuang S.M., Chen C.S., Hsiao-Kuang Wu E., The Implementation of Interactive VR Application and Caching Strategy Design on Mobile Edge Computing (MEC), *Electronics*, 2023, vol. 12, pp. 1-13.
43. Fu Q., Lv J., Zhao Z., Yue D. Research on Optimization Method of VR Task Scenario Resources Driven by User Cognitive Needs, *Information*, 2020, vol. 11, pp. 1-22.
44. Yang Y. et al. Open Access Resource allocation for virtual reality content sharing based on 5G D2D multicast communication, *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2020, vol. 1, pp.1-12.
45. de Freitas F.V. et al. "Benefits and Challenges of Virtual-Reality-Based Industrial Usability Testing and Design Reviews: A Patents Landscape and Literature Review," in *Applied Sciences*, 2022, vol. 12, pp.1-27.
46. Ruan J., Xie D., "Networked VR: State of the Art, Solutions, and Challenges," *Electronics*, 2021, vol. 10, pp.1-18.
47. Regal G. et al. Challenges in Virtual Reality Training for CBRN Events, *MTI*, 2023, vol. 7, pp.1-18.
48. Savenko B., Lysenko S., Bobrovnikova K., Savenko O., Markowsky G., Detection DNS Tunneling Botnets," *Proceedings 11th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), IDAACS'2021, Cracow, Poland, September 22-25, 2021*.
49. Lysenko S., Savenko O., Bobrovnikova K. DDoS Botnet Detection Technique Based on the Use of the Semi-Supervised Fuzzy c-Means Clustering. *CEUR-WS*, 2018, vol.2104, pp. 688-695.
50. Bobrovnikova K., Lysenko S., Savenko B., Gaj P., Savenko O., Technique for IoT malware detection based on control flow graph analysis. *Radioelectronic and Computer Systems*. 2022, pp. 141–153.
51. Lysenko S., Savenko O., Bobrovnikova K., Kryshchuk A., Savenko B. Information technology for botnets detection based on their behaviour in the corporate area network. *Communications in Computer and Information Science*. 2017, vol. 718, pp. 166–181.

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-40>

УДК 628.1

НОРИК Віталій

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0009-0007-2825-4394>

e-mail: vitalnor@gmail.com

МАРТИНЮК Валерій

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-5758-4244>

e-mail: martynyuk.valeriy@gmail.com

ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ МІСТА

Дана стаття представляє огляд методів та засобів моніторингу кіберфізичної системи водопостачання міста з метою контролю та оптимізації роботи водопровідних мереж міста, які забезпечують оптимальні та надійні режими роботи обладнання, підбір його технічних параметрів, облік об'ємів споживання та оцінки втрат води, проведення гідравлічних розрахунків - на основі інформації отриманої з сенсорних пристроїв системи.

Ключові слова: кіберфізична система, контроль, оптимізація, водопровідна мережа, сенсорні пристрої, технічні параметри.

NORYK VITALII, MARTYNYUK VALERIY

Khmelnytskyi National University

OVERVIEW OF MONITORING METHODS AND MEANS CYBERPHYSICAL CITY WATER SUPPLY SYSTEM

Today, the problem of water supply occupies a leading place in people's livelihood. The development of urban infrastructure and the growing number require constant improvement of the quality and efficiency of the water supply system. Water supply is a complex system, and in order to effectively fulfill the task of organizing water supply, a mechanism for control, management, analysis of the state, forecasting of events, and decision-making must be created. To date, the available mechanisms do not meet the requirements set by the present in this field of activity. The modern development of information technologies and new types of equipment present specialists with the fact of the need to find new directions for the implementation of tasks set in the field of water supply organization. One of these directions should be the construction of a cyber-physical water supply system (KFSW). However, as the complexity and volumes of data processed by such systems grow, so does the importance of their reliable monitoring and control. That is why the choice of methods and means of monitoring the cyber-physical systems of the city's water supply becomes an urgent problem that requires attention and research.

Taking into account the indicated problems, the question arises of the optimal choice of means and monitoring methods for each specific model of the city's cyber-physical water supply system.

This article presents an overview of the methods and means of monitoring the cyber-physical system of the city's water supply in order to control and optimize the operation of the city's water supply networks, which ensure optimal and reliable modes of operation of the equipment, selection of its technical parameters, accounting of consumption volumes and estimation of water losses, conducting hydraulic calculations - based on the information received from the sensor devices of the system.

Keywords: cyberphysical system, control, optimization, water supply network, sensor devices, technical parameters.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

На сьогоднішній день проблема водопостачання займає провідне місце у життєзабезпеченні людей. Розвиток інфраструктури міст та зростаюча кількість потребують постійного підвищення якості та ефективності роботи системи водопостачання. Водопостачання це складна система і для ефективного виконання завдання по організації постачання води має бути створено механізм контролю, управління, аналізу стану, прогнозування подій, прийняття рішень. На сьогоднішній день наявні механізми не задовольняють тих вимог, які ставить сьогодення в цій сфері діяльності. Сучасний розвиток інформаційних технологій та нові види обладнання ставлять спеціалістів перед фактом необхідності пошуку нових напрямків виконання завдань поставлених в сфері організації водопостачання. Одним з цих напрямків має стати побудова кіберфізичної системи водопостачання (КФСВ). Однак з ростом складності та об'ємів даних, що обробляються такими системами, зростає і важливість їхнього надійного моніторингу та контролю. Саме тому вибір методів та засобів моніторингу кіберфізичних систем водопостачання міста стає тією актуальною проблемою, яка потребує уваги та досліджень.

Зважаючи на вказану проблематику, постає питання оптимального вибору засобів та методів моніторингу для кожної конкретної моделі кіберфізичної системи водопостачання міста.

Аналіз досліджень та публікацій

Кіберфізичні системи водопостачання, враховуючи революційний розвиток інформаційних технологій, інтенсивно розвиваються, удосконалюються їх методи та засоби моніторингу. Враховуючи такий стан речей цікавою є робота [1] в якій представлено концепцію кіберфізичної системи у контексті водопостачання, досліджується її застосування для моніторингу системи водопостачання. Крім того, описано різноманітні застосування КФСВ і вимоги до області застосування, визначаються ключові проблеми, окреслюються сфери вдосконалення для подальших досліджень.

Інтерес викликає створення та впровадження в системи моніторингу якості води композитних датчиків - пристроїв, що дозволяють проводити декілька вимірювань [2], [5].

Формулювання цілей статті

Метою роботи є огляд методів та засобів контролю якості води, обліку води в кіберфізичній системі водопостачання міста.

Виклад основного матеріалу

Кіберфізична система водопостачання в своїй складовій повинна охоплювати, як повністю так і частково, такі елементи :

- облік піднятої води, облік поданої води споживачу;
- транспортування води, гідравлічний контроль, виявлення втрат води;
- контроль якості води;
- збір даних, аналіз даних, зберігання даних;
- контроль та управління роботою технологічного обладнання;
- контроль доступу до будівель та споруд;
- облік електроенергії;
- охорона об'єктів, протипожежна безпека;
- інформаційна та кібербезпека.

Кожен з перелічених елементів передбачає використання різного роду обладнання та технологій показники яких необхідно контролювати, відслідковувати. Це завдання вирішує система моніторингу.

Система моніторингу водопостачання - комплекс технологій і обладнання, призначений для збору, аналізу та відстеження різних параметрів і показників, пов'язаних із системою постачання води. Вона має забезпечити роботу обладнання, збір, передачу, накопичення даних для аналізу, для кожного елемента КФСВ, який має власні засоби та методи моніторингу і які можуть бути спільними або дублюватись.

Засоби моніторингу кіберфізичної системи водопостачання включають в себе обладнання, яке використовується для збору даних, відстеження та контролю за станом системи водопостачання в режимі реального часу, а саме:

- датчики, серед яких - аналогові датчики тиску, аналогові датчики рівня води, дискретні датчики рівня води, датчики для систем охорони та протипожежної системи, промислові лічильники води (також містять датчики миттєвих витрат води, з можливістю дистанційної передачі даних), аналізатори електричної мережі, відеокамери для відео нагляду;
- обладнання телекомунікаційної інфраструктури для передачі даних в режимі реального часу;
- обладнання на якому побудована система централізованого збору та обробки даних, яка приймає і аналізує інформацію, що надходить від датчиків;
- спеціалізоване програмне забезпечення для збору, обробки та аналізу даних, формування звітів;
- програмно-апаратні засоби візуалізації;
- обладнання систем автоматизації та управління.

Методи моніторингу кіберфізичної системи водопостачання включають в себе різні підходи та технології для виконання вимірювань, збору, відстеження, передачі даних їх аналіз та способи візуалізації, прогнозування та прийняття рішень. Вони формують структуру побудови системи моніторингу та передбачають використання аналітичних методів для виявлення аномалій, прогнозування можливих проблем і оптимізації роботи системи водопостачання. Методи допомагають забезпечити ефективний контроль та управління кіберфізичною системою водопостачання, покращити її надійність і ефективність, а також зменшити ризики аварій і витрати на обслуговування.

1. Огляд методів та засобів моніторингу та рішення які пропонуються

Геологічна служба США (USGS - United States Geological Survey), володіє інформацією про стан та показники якості водних ресурсів в США [2]. Інформація отримується з більш 7000 станцій контролю поверхневих вод; станцій контролю та реєстрації рівня ґрунтових вод і включає в себе дані про якість води озер, лиманів, підземних вод, струмків. Звичайний забір проб на таких станціях проводиться періодично, а в режимі реального часу - на більше 1300 станціях з використанням системи контролю якості води в

реальному часу - RTWQ (Real-Time Water Quality). На рис. 1 зображено пробовідбірну станцію, датчик якості води та схема передачі даних датчиків системи RTWQ [2].



Рис. 1. Пробовідбірна станція, датчик якості води, схема передачі даних датчиків системи RTWQ

Завдання RTWQ - передача та доступність інформації в Інтернеті щодо якості водних ресурсів у Сполучених Штатах [3]. Інтервал опитування пристроїв системи лежить в межах від 5 хвилин до 1 години, цей процес є безперервним і його результати стають доступними в Інтернеті в режимі, що дуже близький до реального часу. Швидкість отримання інформації про якість води в режимі реального часу забезпечується завдяки вдосконаленим датчикам (Рис.2), технологіям запису та передачі даних через супутник до офісів USGS.



Рис. 2. Багатометричний монітор, який використовується для запису вимірювань якості води

Датчики забезпечують вимірювання таких параметрів як: питому провідність, рН, температуру води, каламутність, розчинені кисень та нітрати. Крім того є такі датчики, які вимірюють частину електромагнітного спектру (світла), що вказують на адсорбцію або розсіювання (каламутність, хлорофіл, нітрати та флуоресценція) або звук (акустична доплерівська технологія). Також доступні вбудовані хімічні аналізатори та портативні польові лабораторії для нітратів і фосфору.

Система управління водопостачанням Сенегалу [4]. Будівництво системи управління водопостачанням, який реалізує дочірня компанія Yokogawa Solution Service Corporation фірми Yokogawa Electric Corporation разом із Toyota Tsusho Corporation на замовлення Societe Nationale Des Eaux Du Senegal (Національна водна компанія Сенегалу), в рамках проекту з опріснення морської води Mamelles, передбачає створення ряду систем моніторингу, а саме - системи моніторингу водопровідної мережі, системи управління витокami води, системи дистанційного моніторингу районної вимірювальної зони, побудова яких має стабілізувати водопостачання та покращити обслуговування в усьому регіоні Дакар (Рис. 3).

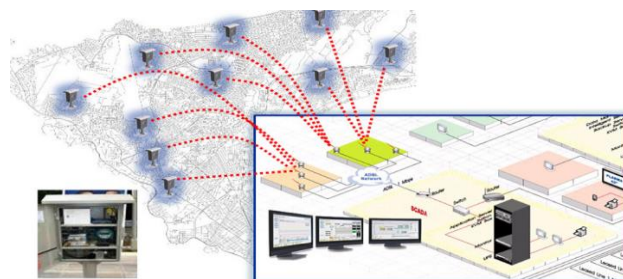


Рис. 3. Система управління водопостачанням та вимірювальні прилади [4]

Враховуючи те, що близько 80% промислової діяльності Сенегалу відбувається в Дакарі і цьому населення міста зростає, окрім пошуку способів забезпечення безпечного водопостачання цього міста, Сенегал шукає рішення для диверсифікацією джерел постачання та зменшенням втрат води через витoki. Yokogawa Solution Service встановить датчики для збору даних про витрати та тиск у приблизно 200 місцях водопровідної мережі Дакара та побудує систему керування водопостачанням, яка здатна виявляти витoki води та інші подібні проблеми. Це сприятиме досягненню цілей проекту, які передбачають досягнення

щонайменше двох мільйонів тонн скорочення щорічних втрат води, спричинених витокami у водопровідній мережі, а також збільшення 24-годинної швидкості водопостачання з поточний 70% до 100%.

Інноваційний онлайн-моніторинг якості води в мережах питного водопостачання – на базі системи, що пропонується компанією «Pipe scan» (Відень, Австрія) [5].

В водопостачанні, крім безперебійного транспортування, має бути забезпечена і висока якість води для споживачів, яка на сьогоднішній день контролюється за допомогою лабораторних аналізів, що періодично проводяться через визначені проміжки часу.

Такий підхід є повільним та дорогим, він обмежує можливість охоплення системою відбору проб великих ділянок водо мережі, так як зразки потрібно відбирати, транспортувати та аналізувати щодня, щотижня або щомісяця, і через повільну динаміку виконання великої кількості аналізів, випадки зараження, часто можуть бути майже не виявлені або не виявлені взагалі.

Щоб водопостачальні організації мали можливість не залежати від такого порядку відбору проб, охопити контролем більші ділянки водомереж, компанія «Pipe scan» пропонує побудову системи моніторингу якості води Multiple pipe scans (Рис. 4) на базі «Pipe scan» системи онлайн-датчиків (Рис.5), щоб можна було реагувати на проблеми, пов'язані з якістю води в їхній мережі розподілу питної води, у режимі реального часу.



Рис 4. Система моніторингу якості води Multiple pipe scans побудована на використанні «Pipe scan» онлайн-датчиків

Система Multiple pipe scans це рішення для моніторингу якості питної води в водопровідній мережі. Такі рішення реалізовано в розподільних мережах в багатьох великих містах Європи.

Pipe scan сенсорна система, яка забезпечена такими унікальними функціями:

- точні вимірювання в повній відповідності зі стандартизованими лабораторними посланнями;
- контроль до 10 параметрів в одній системі;
- безперервний моніторинг органічних речовин (TOC, DOC, UV254, UVT), каламутності, кольору, рН/Redox, ЕС, тиску та температури;
- повністю незалежна від потоку, працює навіть в умовах відсутності руху в мережі питної води;
- «Технічне обслуговування в гарячому стані» під тиском: без переривання потоку/тиску та індивідуально для кожного датчика;
- повномасштабне виявлення подій із сигналізацією в реальному часі;
- 6-місячний інтервал технічного обслуговування: ефективна, надійна, автономна робота з мінімальним обслуговуванням.

Pipe scan датчик - це сенсорна система для відслідковування якості води. Пристрій монтується на трубах під тиском за допомогою пристроїв трубних сідел Hawle (DN100 – DN 600) та вимірюють до 10 параметрів: органічні параметри (TOC, DOC, UV254/UVT), каламутність, колір, хлор, рН/redox, електропровідність, температура та тиск.



Рис. 5. Pipe scan - система датчиків для контролю якості питної води в трубах під тиском

Збір інформації з датчиків забезпечується терміналом Con cube (Рис. 6). Con cube - це термінал контролю та збору він є універсальним та компактним, він забезпечений технологіями, що дозволяють

забезпечити його підключення до систем SCADA та баз даних. Пристрій обладнаний вбудованим модемом та має низьке енергоспоживання і відповідає всім вимогам для роботи в децентралізованих місцях встановлення.



Рис 6. Cop cube - термінал контролю та збору даних

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Моніторинг кіберфізичної системи водопостачання міста відіграє важливу роль у забезпеченні її надійності та ефективності. Застосування сучасних методів та засобів моніторингу дозволяє оперативно виявляти проблеми та підтримувати систему в оптимальному режимі роботи. У даній статті було надано деякі приклади методів та засобів, що використовуються в світі для моніторингу якості води та стану мереж водопостачання, які можуть бути використані як основа для побудови конкретної моделі кіберфізичної системи.

Література

1. Adedeji KB, Hamam Y. Кіберфізичні системи для управління мережами водопостачання: основи, проблеми та дорожня карта. Sustainability. 2020; 12(22):9555
2. Геологічна служба США (USGS - United States Geological Survey): [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://water.usgs.gov/>.
3. Система контролю якості води в реальному часі: [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://waterwatch.usgs.gov/wqwatch/faq?faq_id=1.
4. Система управління водопостачання Сенегалу: [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.yokogawa.com/news/press-releases/2021/2021-10-21/>.
5. Система онлайн-моніторингу якості води Multiple pipe::scans (Pipe::scan, Відень, Австрія): [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.s-can.at/en/innovative-online-water-quality-monitoring-in-drinking-water-networks-the-pipescan/>.

References

1. Adedeji KB, Hamam Y. Cyber-Physical Systems for Water Supply Network Management: Basics, Challenges, and Roadmap. Sustainability. 2020; 12(22):9555
2. United States Geological Survey (USGS): [Electronic resource] – Access mode: <http://water.usgs.gov/>.
3. Water quality control system in real time: [Electronic resource] – Access mode: https://waterwatch.usgs.gov/wqwatch/faq?faq_id=1.
4. Senegal's water supply management system: [Electronic resource] – Access mode: <https://www.yokogawa.com/news/press-releases/2021/2021-10-21/>.
5. System of online water quality monitoring Multiple pipe::scans (Pipe::scan, Vienna, Austria): [Electronic resource] – Access mode: <https://www.s-can.at/en/innovative-online-water-quality-monitoring-in-drinking-water-networks-the-pipescan/>.

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-41>

УДК 004.896.8:004.932.2

МАЙОР Євген

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0009-0004-1867-6241>

e-mail: evmaior@khmnu.edu.ua

ВИЯВЛЕННЯ ШКІДЛИВИХ ПАКЕТІВ ТА DDoS-АТАК У МЕРЕЖЕВОМУ ТРАФІКУ ЗА ДОПОМОГОЮ ГЛИБОКИХ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Робота присвячена аналізу мережевого трафіку за допомогою глибоких згорткових нейронних мереж для виявлення шкідливих пакетів та DDoS-атак. Процес аналізу трафіку включає попередню обробку даних, розробку оптимальних алгоритмів аналізу, та оцінку моделей за допомогою різних метрик ефективності. У роботі досліджено ефективність моделей глибокого навчання, зокрема CNN та LSTM, у виявленні DDoS-атак. Основний набір даних KDD Cup 99 використовується для аналізу трафіку та оцінки ефективності моделей.

Ключові слова: виявлення шкідливих пакетів, кібербезпека мережевого середовища, захист від кібератак, машинне навчання у кібербезпеці, методи виявлення атак, аналіз мережевого трафіку, шлибок згорткові нейронні мережі.

MAIOR Yevhen

Khmelnitsky National University

DETECTING MALICIOUS PACKAGES AND DDoS ATTACKS IN NETWORK TRAFFICE USING DEEP CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

Deep convolutional neural networks (CNNs) have become a powerful tool in the network security arsenal, proving adept at detecting malicious packets and countering distributed denial of service (DDoS) attacks. The synergy between CNN and machine learning methodologies has ushered in a new era of effectiveness in threat detection.

The traffic analysis process involves a complex interplay of techniques for preprocessing incoming network traffic data, converting it into patterns that can be recognized by a neural network, algorithmic optimization, and rigorous model evaluation, often using large datasets such as KDD Cup 99, to create robust detection models. This approach is a key step towards strengthening network infrastructure against an increasingly diverse range of cyber threats and with the ability to expand and further train the model.

The proposed system embodies adaptability, characterized by a continuous learning system that improves models over time with new input data. Its well-thought-out design gives users the flexibility to choose network adapters and fine-tune learning parameters, providing a responsive and customizable operating environment. By integrating a user-friendly WinForms interface and comprehensive reporting mechanisms, the system strikes a harmonious balance between usability and reliability.

To confirm its effectiveness, additional software was developed to simulate various traffic scenarios and stress test the model's performance. The results not only confirmed the effectiveness of the model, but also highlighted the need for continuous improvement of the model to maintain resilience in the face of emerging threats. This research highlights the enormous potential of deep convolutional neural networks in network traffic analysis, signaling a continued evolution toward higher standards of network security.

Keywords: detection of malicious packets, cybersecurity of network environments, protection against cyber-attacks, machine learning in cybersecurity, attack detection methods, analysis of network traffic, deep convolutional networks.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

У зв'язку із стрімким та масштабним зростанням мережевих атак у сучасному світі виявлення шкідливих пакетів та DDoS-атак стає проблемою для будь-якої організації. Це стає не лише ключовим аспектом забезпечення безпеки мережі, а й визначальним чинником для збереження репутації підприємства, захисту конфіденційної інформації та забезпечення надійності та доступності сервісів для користувачів.

Через низку наступних причин важливе передчасне виявлення шкідливих пакетів для швидкої реакції на загрозу, що може виникнути, якщо атаку не буде вчасно припинено:

– зменшення втрат часу та ресурсів шляхом ефективного виявлення та припинення атак, що дозволяє підприємствам уникнути перерв у роботі та зберегти продуктивність;

– забезпечення високої доступності сервісів для користувачів шляхом швидкої реакції на потенційні загрози, що дозволяє підтримувати високу репутацію компанії та задоволеність клієнтів;

– зменшення ризику втрати даних або порушення конфіденційності через швидке виявлення та блокування шкідливих пакетів, що забезпечує захист важливої інформації;

– покращення здатності мережевих інфраструктур адаптуватися до змін у загрозах шляхом навчання на основі аналізу даних про попередні атаки, що дозволяє підвищити ефективність заходів захисту у майбутньому.

Поява нових, інноваційних методів DDoS-атак створює серйозні труднощі для існуючих методів протидії. У цьому контексті використання різних методів машинного навчання виявляє перспективи в

боротьбі з DDoS-атаками. Ці методи дозволяють виявляти атаки з високою точністю і низьким рівнем помилкових спрацьовувань. Розробка та вдосконалення таких систем машинного навчання стає важливим кроком у напрямку забезпечення надійності та безпеки комп'ютерних мереж у умовах постійно зростаючого рівня загрози DDoS-атак.

Аналіз досліджень та публікацій

Дослідження актуальних кіберзагроз виявляє важливість вчасного виявлення шкідливих пакетів та атак DDoS у мережах. Ця проблема створює серйозні виклики для забезпечення безпеки мережі та збереження конфіденційності, цілісності та доступності даних. Для ефективного виявлення та протидії таким загрозам потрібно провести комплексне дослідження, розробити адаптовані підходи та впровадити інноваційні технологічні рішення. Вирішення цього завдання має вирішальне значення для забезпечення безпеки мереж і підвищення їх стійкості перед сучасними кіберзагрозами [1].

Атака DoS (Denial of Service – «відмова в обслуговуванні») полягає у спробі призвести систему до непрацездатності, ускладнюючи або блокуючи доступ звичайних користувачів до конкретних сервісів [1,2].

DDoS (Distributed Denial of Service) — це більш складна форма атаки, де напади відбуваються з різних пристроїв, можливо, заражених ботнетами. Основна мета полягає у спричиненні недоступності послуг шляхом зруйнування роботи системи [3,4].

Атаки з використанням протоколу є одним з найбільш поширених методів атак на сервери та мережеві інфраструктури. Вони базуються на експлуатації вразливостей у роботі мережевих протоколів, таких як TCP/IP, HTTP, або DNS, для затримки або переривання нормальної обробки запитів на сервері. Атаки цього типу можуть призвести до перевантаження сервера, витрати його ресурсів, а також зниження продуктивності або повного відмови у обслуговуванні. [5].

Атаки на основі відображення є одним з найбільш складних та ефективних методів DDoS. У таких атаках зловмисник використовує різні вразливості в мережевих протоколах, щоб перенаправити трафік через безпечні вузли мережі, які відправляють свої відповіді на адресу жертви. Це дозволяє зловмиснику приховати свою справжню IP-адресу та уникнути виявлення. Більше того, в атаках на основі відображення застосовується концепція ампліфікації, де короткі запити спричиняють генерацію значно більших відповідей. Це дозволяє зловмиснику підсилувати обсяг трафіку, що надходить до жертви, порівняно з тим, що він сам надсилає, рис. 1 ілюструє процес атаки, під час якого відбивачі спрямовують більш інтенсивний трафік до жертви порівняно з трафіком, що надсилається від зловмисника до відбивача. Такий підвищений обсяг трафіку робить атаки на основі відображення особливо небезпечними та складними для виявлення та протидії [6].

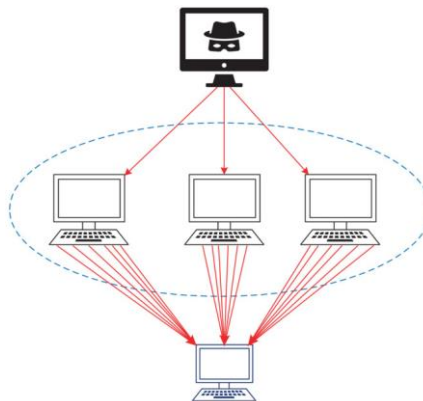


Рис. 1. Атака розподіленої відмови в обслуговуванні (DDoS)

Стаття [7] присвячена інноваційному методу виявлення різноманітних атак App-DDoS, використовуючи поєднання генетичного алгоритму (GA) і випадкового лісу (RF), а також комплексного механізму вибору ознак. Дослідження демонструє виняткову ефективність та адаптивність запропонованого методу виявлення атак, яка робить його перспективним рішенням для забезпечення кібербезпеки в критичних інфраструктурах. Застосування GA-RF дозволяє не лише забезпечити надійність виявлення атак, але й підвищити продуктивність системи захисту. Враховуючи постійно зростаючі загрози кібербезпеки, ця робота відкриває нові перспективи у сфері захисту критичних мережевих систем.

Стаття [8] представляє нову систему виявлення вторгнень, що ґрунтується на моделях глибокого навчання для розпізнавання DDoS-атак. Для дослідження використали набір даних CIC-DDoS 2019, що включає 12 класів, у тому числі безпечний клас. Провели експерименти з різними моделями глибокого навчання, такими як DNN, CNN та LSTM, розглядаючи різні конфігурації їхніх шарів. Крім того, була покращена ефективність системи шляхом використання методів попередньої обробки даних, таких як елімінація та вибір ознак, у результаті чого було обрано 40 найбільш важливих ознак з загальної кількості

88. Дослідження дозволили створити новий однорідний набір даних, який враховує оптимальну комбінацію ознак для підвищення точності та ефективності системи виявлення вторгнень.

Стаття [9] описується новий підхід до виявлення DDoS-атак з використанням технології SDN (Software-Defined Networking), що є перспективним рішенням для підвищення безпеки в мережах Інтернету речей. Пропонується новий алгоритм під назвою DALCNN, який реалізований на платформі OpenDayLight. Цей алгоритм дозволяє класифікувати типи DDoS-атак, використовуючи нову функцію активації Tanh2 та використовуючи рекурентні нейронні мережі. Для навчання моделі використовувалася навчальний набір даних NSL-KDD, протягом якого модель RNN була навчена протягом 100 епох. Цей алгоритм відкриває нові перспективи для ефективного виявлення та управління DDoS-атаками в мережах Інтернету речей.

Мережі з використанням конволюційних нейронних мереж (CNN) навчаються за допомогою різноманітних наборів даних, які включають як законні, так і потенційно шкідливі пакети. Ці дані дозволяють мережі вивчати візуальні особливості, які характеризують шкідливі пакети від законних. Після завершення навчання мережа може використовуватися для реального часу виявлення шкідливих пакетів. Шляхом аналізу трафіку та використання знань про характеристики шкідливих пакетів, мережа визначає, чи може певний пакет вважатися шкідливим.

CNN володіють численними перевагами в порівнянні з іншими методами виявлення шкідливих пакетів та атак DDoS. Вони відзначаються високою точністю та здатністю розпізнавати різноманітні шкідливі атаки, що робить їх більш привабливими порівняно зі статистичними методами. Крім того, CNN є більш масштабованими, здатними обробляти великі обсяги трафіку, і застосовуються для виявлення шкідливих пакетів у великому масштабі. Це робить їх ефективними та надійними інструментами у боротьбі з кіберзагрозами, забезпечуючи високий рівень безпеки мережі [11, 12].

Методи виявлення DDoS, що базуються на машинному навчанні (ML), можна узагальнити до трьох основних груп: контрольовані, неконтрольовані та гібридні, кожна з яких містить кілька підкатегорій. Систематика цих методів представлена на рис. 2.

Структура методу включає три ключові компоненти: попередню обробку даних, вилучення ознак та класифікацію. Під час попередньої обробки даних виконується видалення зайвих та нерелевантних функцій мережевого трафіку. Модель CNN використовується для виділення просторових ознак з оброблених даних, тоді як модель LSTM відповідає за класифікацію часових ознак, отриманих з CNN. LSTM забезпечує захоплення послідовних залежностей у даних та ідентифікацію шаблонів DDoS-атак [13, 14].

Ефективність запропонованого методу була оцінена на реальному наборі даних мережевого трафіку, що був зібраний з програмно визначеного тестового стенда IIoT.

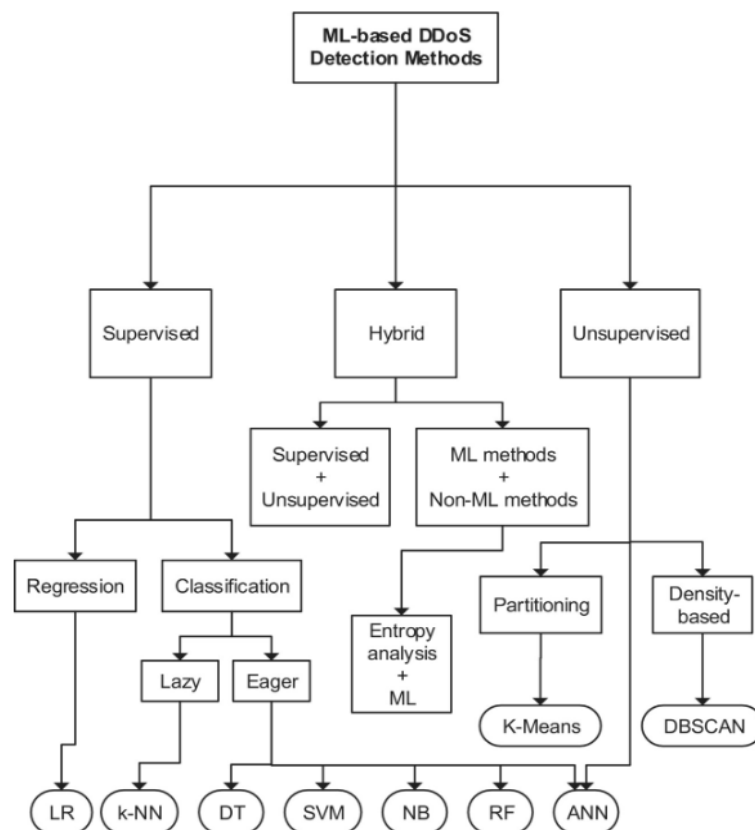


Рис. 2. Система розподілених методів виявлення відмови в обслуговуванні на основі машинного навчання

Розробка методів виявлення DDoS-атак на основі глибокого навчання включає кілька підходів. Використання глибоких нейронних мереж дозволяє розділити мережевий трафік на дві категорії: DDoS та не-DDoS. Інший підхід передбачає використання згорткових нейронних мереж (CNN) для виявлення аномалій у трафіку, які можуть свідчити про можливу DDoS-атаку.

Виклад основного матеріалу

Попередня обробка є критичним етапом для використання згорткових нейронних мереж (CNN) у аналізі мережевого трафіку. Дані зазвичай надходять у вигляді пакетів, які містять різні заголовки та корисні деталі. Для того щоб вони могли бути використані у моделі CNN, необхідна попередня обробка.

Процес обробки пакетів зазвичай складається з кількох етапів. Перш ніж пакети будуть аналізовані, вони отримуються, сортується, та скануються. Потім вони реєструються в центральному місці і направляються до відповідного місця призначення, де маркуються відповідно. Після досягнення місця призначення пакети знову сортуються, скануються та вивантажуються для забезпечення точності. Нарешті, вони доставляються адресатам.

Для забезпечення узгодженості важливо стандартизувати формат та розмір пакетів. Такі методи, як стиснення трафіку або одноразове кодування, можуть бути використані для перетворення даних у числовий формат, який підходить для подальшої обробки CNN. Характеристики, такі як довжина пакета, IP-адреси джерела та призначення, а також номери портів, є важливими для аналізу пакетних даних.

Нормалізація - це метод попередньої обробки, який включає помноження даних на скаляр таким чином, щоб середнє значення було близьким до 0, а стандартне відхилення - до 1. Це допомагає забезпечити однаковий масштаб даних і полегшує навчання моделей.

Архітектура згорткової нейронної мережі (CNN) містить кілька згорткових шарів, за якими слідує повністю зв'язані шари. Згорткові шари відділяють високорівневі характеристики з вхідних даних, тоді як повністю зв'язані шари комбінують ці характеристики для прогнозування типу трафіку.

Навчання моделі CNN передбачає подання їй великої кількості позначених даних трафіку та налаштування її параметрів для мінімізації помилки класифікації. Гіперпараметрична оптимізація включає вибір оптимальних значень параметрів, таких як кількість згорткових шарів, кількість фільтрів у кожному шарі та функції активації.

Архітектура згорткової нейронної мережі для аналізу мережевого трафіку представлена на діаграмі на рис. 3. Першим кроком є обробка вхідних даних - серії пакетів з різними заголовками та корисною інформацією. Нормалізація пакетів грає ключову роль у забезпеченні консистентності та однорідності даних, а подальший аналіз полегшується шляхом перетворення пакетів у стандартний формат та зведення їх розмірів.

Для досягнення оптимальних результатів аналізу мережевого трафіку важливо переконатися, що пакети готові для глибокої згорткової обробки нейронною мережею. Уважне спостереження за їхнім розміром та форматуванням допомагає максимізувати ефективність мережі та отримати точні та оперативні результати.

Перетворення пакетних даних у числовий формат, що ефективно обробляється згортковими нейронними мережами (CNN), є важливим етапом обробки. Для забезпечення їхньої придатності для подальшого аналізу та використання у моделях машинного навчання необхідно використовувати методи одноразового кодування або стиснення трафіку.

Вилучення ключових функцій з пакетних даних, таких як IP-адреси джерела та призначення, номери портів та інші параметри, які мають високу інформативність, є важливим етапом обробки. Цей процес дозволяє значно зменшити обсяг даних, зберігаючи важливу інформацію для подальшого аналізу та виявлення аномалій у мережевому трафіку.

Використання кількох згорткових шарів у нейронних мережах виявляється ключовим для ефективного виділення високорівневих характеристик з вхідних даних мережевого трафіку. Ці шари відповідають за виявлення абстрактних особливостей та взаємозв'язків у пакетах, допомагаючи автоматично витягувати та узагальнювати важливі ознаки. Це сприяє зменшенню розмірності даних та підготовці їх для подальшого аналізу.

Після виділення характеристик використовуються повністю зв'язані шари для об'єднання цих характеристик та роботи з ними для прогнозування типу трафіку. Ці шари дозволяють створювати зв'язки між отриманими характеристиками та визначати тип трафіку з високою точністю, використовуючи узагальнені ознаки, отримані на попередніх етапах обробки.

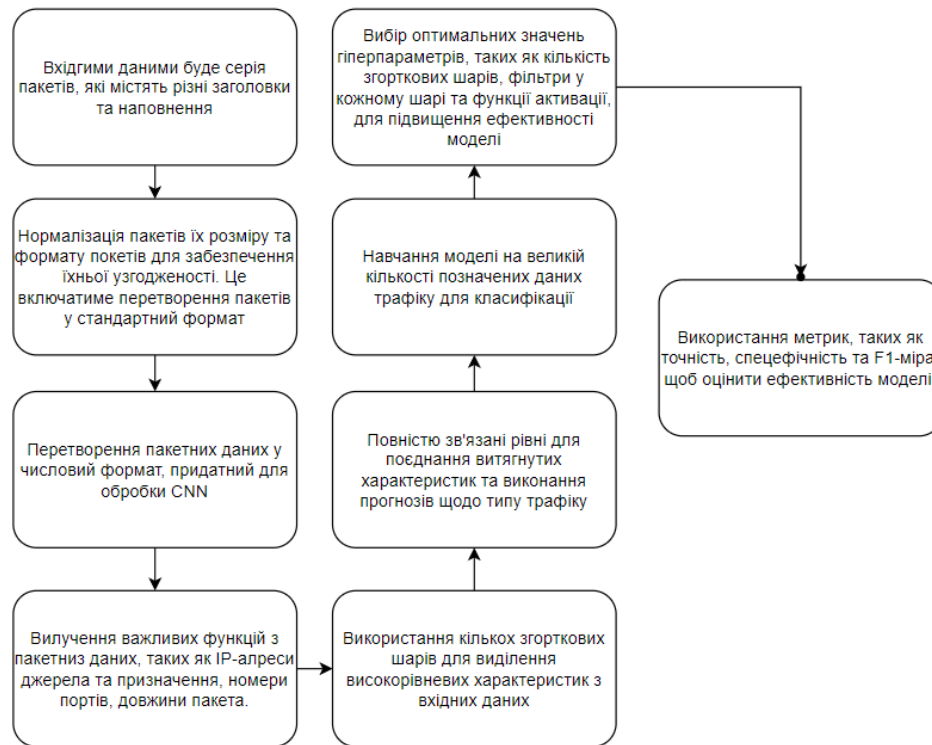


Рис. 3. Життєвий цикл роботи нейронної мережі

Навчання моделі на великій кількості позначених даних мережевого трафіку є ключовим для досягнення високої точності класифікації. Чим більше різноманітних даних має модель на вході, тим краще вона може вивчати та розрізняти різні типи трафіку, що покращує її здатність виявляти аномальну активність та шкідливі пакети.

Оптимізація нейронної мережі включає вибір оптимальних значень гіперпараметрів, таких як кількість згорткових шарів, фільтрів у кожному шарі та функцій активації. Цей процес вимагає систематичних експериментів та оцінки результатів для вибору найкращих параметрів, що допомагає підвищити ефективність та точність моделі.

Використання метрик для оцінки моделі на тестових даних є важливим етапом у визначенні точності та ефективності алгоритму класифікації мережевого трафіку. Метрики, такі як точність (accuracy), відгук (recall), специфічність (specificity) та F1-мера, надають різноманітний огляд того, наскільки добре модель справляється з класифікацією.

KDD Cup є важливим інструментом для дослідження та розвитку систем виявлення атак у комп'ютерних мережах. Для вашої роботи, пов'язаної з методами виявлення DDoS-атак та аналізу мережевого трафіку, використання цього набору даних може бути дуже корисним. Ви можете використовувати його для навчання моделей машинного навчання та тестування різних алгоритмів, що дозволить вам отримати більше інсайтів і покращити ефективність вашої системи виявлення атак.

Під час порівняння моделей для виявлення DDoS-атак використовуються різні метрики та стратегії оцінки, які допомагають визначити, яка модель є найбільш ефективною для даного завдання.

Однією з таких метрик є точність (Precision), яка вимірює, яка частина позитивних випадків, ідентифікованих моделлю, є дійсно позитивними [15]. Формула для обчислення точності [1]:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (1)$$

TP (True Positives) вказує на кількість правильно виявлених позитивних випадків, тобто кількість виявлених атак. FP (False Positives) вказує на кількість помилково ідентифікованих позитивних випадків, коли звичайний трафік помилково класифікується як атака.

Зменшення втрат під час тренування свідчить про те, що модель стає кращою у передбаченні. Чим менші втрати, тим більше модель відповідає даним тренувального набору, тобто її прогнози стають ближчими до фактичних значень. Процес тренування спрямований на оптимізацію моделі з метою мінімізації втрат і підвищення її точності та надійності у передбаченні.

Recall або Sensitivity, визначається як відношення кількості правильно визначених позитивних випадків до загальної кількості існуючих позитивних випадків. Це означає, що Recall - це кількість True Positives (TP) поділена на суму True Positives та False Negatives (FN). Формула обчислення чутливості [2]:

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2)$$

False Negatives (FN) - це кількість позитивних випадків, які були неправильно не визначені моделлю, і які представляють собою атаки, що були помилково визнані як нормальний трафік.

F1-міра об'єднує точність (Precision) та чутливість (Recall) у єдину метрику, яка є гармонічним середнім між ними. Формула для F1-міри [3]:

$$F1 = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (3)$$

F1-міра дозволяє оцінити модель з точки зору як правильно класифікованих позитивних випадків, так і здатності уникнути пропусків атак (чутливість), що робить її важливим критерієм оцінки моделі в контексті виявлення DDoS-атак [16].

Специфічність - це важлива метрика, особливо коли ми маємо справу з незбалансованими даними, де кількість від'ємних випадків (нормальний трафік) може бути значно більшою за кількість позитивних випадків (атаки). Вона допомагає оцінити, наскільки ефективно модель відрізняє нормальний трафік від атак, забезпечуючи додатковий контроль над прогнозами моделі щодо від'ємних випадків [17].

Формула для обчислення специфічності виглядає наступним чином [4]:

$$Specificity = \frac{TN}{TN + FP} \quad (4)$$

True Negatives (TN) - кількість правильно визначених від'ємних випадків, тобто нормальний трафік, який був правильно визнаний як нормальний.

False Positives (FP) - кількість неправильно визначених позитивних випадків, які були помилково визнані як нормальний трафік.

Недостатня навченість може бути виявлена, якщо як на навчальній, так і на валідаційній кривих точність занадто низька, що може свідчити про те, що модель недостатньо складна або потребує більше епох тренування.

Перенавченість може виникнути, якщо на навчальній кривій точність висока, але на валідаційній низька. Це може вказувати на те, що модель перенавчилася на навчальних даних і потребує більше даних або регуляризації.

Оптимальний момент для завершення тренування може бути визначений тим, коли криві для навчального та валідаційного наборів даних збігаються або залишаються стабільними. Це може бути момент, коли модель навчилася.

Здатність моделі узагальнювати нові дані та потреба в повторному навчанні можуть бути оцінені, спостерігаючи за змінами в показниках ефективності на кривій навчання при збільшенні обсягу даних для навчання та перевірки.

Система виявлення атак аналізує вхідні дані, які можуть бути фізичним, логічним або протокольним мережевим трафіком. Вона отримує мережевий трафік з різних джерел, таких як фізичні та логічні мережеві пристрої, інші системи безпеки. Після збору дані обробляються для видалення шуму та непотрібних деталей, а потім фільтруються для виявлення незначних атак. Далі система виявлення атак аналізує мережевий трафік, щоб виявити ознаки атак.

Якщо система виявлення атак виявляє атаку, вона генерує результати, які включають тип атаки, деталі та рекомендації щодо реагування. Ці результати зберігаються для подальшого аналізу та аудиту.

Діаграма потоку даних системи виявлення DDoS-атак буде мати наступний вигляд, представлений на рис. 4.



Рис. 4 Діаграма потоку даних системи для виявлення шкідливих пакетів

Проведемо завантаження тестових даних, які будуть використовуватися для тренування моделі. Наступним кроком буде навчання глибокої згорткової нейронної мережі та оцінка якості навченої моделі. Результати навчання можна побачити на рис. 5, де представлений графік та звіт про якість моделі за метриками F1-міри, специфічності та точності. Детальний опис результатів представлений у таблиці 1, яка містить значення кожної метрики, отримані моделлю, та визначає ефективність запропонованого методу. У випадку високої ефективності моделі, значення метрик будуть наближені до 1.00: для F1-міри - 0.9, для специфічності - 0.95, а для точності - 1.00.

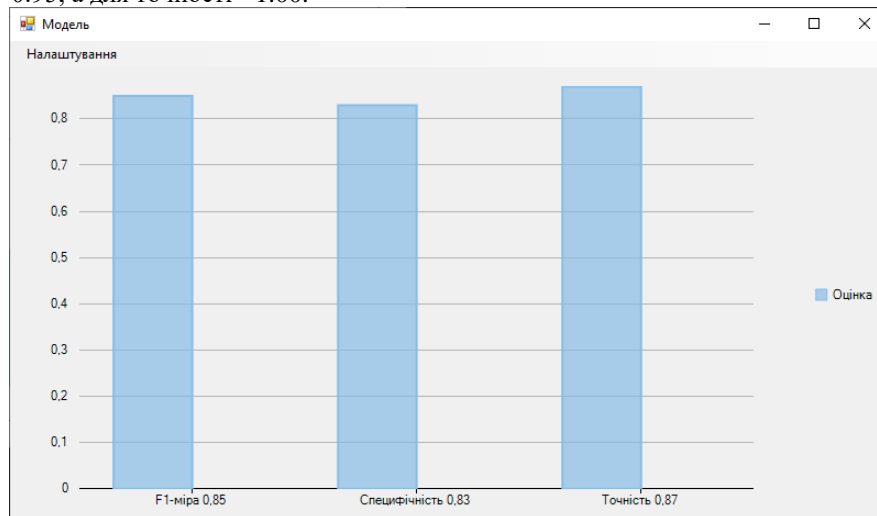


Рис. 5 Оцінка моделі після використання вхідного тестового набору

Таблиця 1

Результати оцінки моделі на тестових даних

Метрика	Оцінка	Опис
F1-міра	0.85	Значення 0.85 свідчить про те, що модель добре працює як у точності передбачень, так і в покритті справжніх позитивних випадків.
Специфічність	0.83	Значення 0.83 також є досить хорошим показником, свідчить про те, що модель правильно ідентифікує нешкідливі пакети. Здатності моделі визначати негативні класи можна оцінити, як високу.
Точність	0.87	Значення 0.87 є досить високим і може свідчити про те, що модель правильно класифікує обидва класи (шкідливі та нешкідливі пакети) з високою точністю.

В результаті оцінки моделі на тестових даних було отримано наступні результати, які відображені у таблиці 1:

1. F1-міра: 0.85. Це значення свідчить про те, що модель добре працює як у точності передбачень, так і в покритті справжніх позитивних випадків.
2. Специфічність: 0.83. Цей показник також є досить хорошим, що свідчить про те, що модель правильно ідентифікує нешкідливі пакети. Здатність моделі визначити негативні класи можна оцінити як високу.
3. Точність: 0.87. Це високе значення може свідчити про те, що модель правильно класифікує обидва класи (шкідливі та нешкідливі пакети) з високою точністю.

Отримані результати свідчать про те, що модель показала дуже прийнятні результати після навчання. Точність на рівні 0.87 може бути показником того, що модель добре навчилася і показує високу правильність передбачень.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Запропонований метод виявлення DDoS-атак у мережах з використанням глибоких згорткових нейронних мереж використовує для аналізу трафіку завчасно навчену модель нейронної мережі, засновану на наборі даних, який описує значну кількість можливих атак на мережу.

Досліджено сучасний стан аналізу DDoS-атак, визначено, що використання CNN є ефективним інструментом для виявлення цих загроз. Мережі можна навчити розпізнавати особливості, що відрізняють шкідливі пакети від дозволених, що дозволяє виявляти їх з високою точністю. Досліджено моделі CNN та LSTM, визначено їхню ефективність серед існуючих методів виявлення DDoS-атак. Зокрема, метод DDoS-Detector на базі глибоких згорткових мереж показав високу ефективність у порівнянні із іншими типами виявлення.

Архітектура згорткових нейронних мереж використовує кілька згорткових та повністю зв'язаних шарів для виділення важливих характеристик та зроблення прогнозів щодо типу трафіку. Оптимальна архітектура моделі сприяє підвищенню точності та ефективності виявлення шкідливих пакетів.

Підготовка даних перед навчанням моделі є вирішальним етапом для досягнення високої точності класифікації. Оптимізація гіперпараметрів також впливає на ефективність моделі, допомагаючи досягти оптимальних результатів.

Використання наборів даних, таких як KDD Cup 99, є важливим для аналізу кібербезпеки. Ці дані надають можливість розробити моделі, здатні виявляти складні загрози та аналізувати різноманітні аспекти мережевого трафіку. Остаточна оцінка моделі на тестових даних здійснюється за допомогою різноманітних метрик, таких як точність, відгук, специфічність та F1-мера. Ці метрики дозволяють оцінити ефективність та точність алгоритму виявлення DDoS-атак.

Таким чином, згорткові нейронні мережі разом із попередньою обробкою даних виявляються потужним інструментом для аналізу мережевого трафіку та виявлення шкідливих.

References

1. Li, Q.; Meng, L.; Zhang, Y.; Yan, J. DDoS attacks detection using machine learning algorithms. In *International Forum on Digital TV and Wireless Multimedia Communications*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2018; pp. 205–216.
2. Mohammad Najafimehr, Sajjad Zarifzadeh, Seyedakbar Mostafavi (2023). DDoS attacks and machine-learning-based detection methods: A survey and taxonomy. [URL] - <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/eng2.12697>.
3. Nick Barney, Ben Lutkevich. Network Security. [URL] - <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/network-security>.
4. What is network security? [URL] - <https://www.cloudflare.com/learning/network-layer/network-security>.
5. "DDoS, Machine Learning, Measures". // "Understanding Denial-of-Service Attacks". / , 2016. – (Taylor & Francis Group). – (ISBN:13: 978-1-4987-2965-9). – С. 12–34.
6. M. Tayyab, B. Belaton, and M. Anbar, "ICMPv6-based DoS and DDoS attacks detection using machine learning techniques, open challenges, and blockchain applicability: A review," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 170529–170547, 2020.
7. Dyari Mohammed Sharif, Hakem Beitollahi. A new DDoS attacks intrusion detection model based on deep learning for cybersecurity. *Computers & Security: Volume 135*, December 2023, 103511. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cose.2023.103511>.
8. Devrim Akgun, Selman Hizal, Unal Cavusoglu. A new DDoS attacks intrusion detection model based on deep learning for cybersecurity. *Computers & Security: Volume 118*, July 2023, 102748. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cose.2022.102748>.
9. Omerah Yousuf, Roohie Naaz Mir. DDoS attack detection in Internet of Things using recurrent neural network. *Computers and Electrical Engineering: Volume 101*, July 2022, 108034. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.108034>
10. Ali Mustapha, Rida Khatoun, Sherali Zeadally, Fadlallah Chbib, Ahmad Fadlallah, Walid Fahs, Ali El Attar. *Computers & Security: Volume 127*, April 2023, 103117. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cose.2023.103117>.
11. Pew Research Center. Artificial Intelligence and the Future of Humans. URL: <https://www.pewresearch.org/internet/2018/12/10/artificial-intelligence-and-the-future-of-humans>.
12. Freecodecamp. Deep Learning Neural Networks Explained in Plain English <https://www.freecodecamp.org/news/deep-learning-neural-networks-explained-in-plain-english>.
13. Zainudin A, Ahakonye LAC, Akter R, Kim D-S, Lee J-M. An efficient hybrid-DNN for DDoS detection and classification in software-defined IoT networks. *IEEE Internet Things J.* 2023; 10(10):8491-8504. doi:10.1109/JIOT.2022.3196942.

14. Hoang L.-H. TRe-Map: Towards Reducing the Overheads of Fault-Aware Retraining of Deep Neural Networks by Merging Fault Maps / Le-Ha Hoang, Muhammad Abdullah Hanif, Muhammad Shafique // 2021 24th Euromicro Conference on Digital System Design (DSD), Palermo, Italy, 1–3 September 2021. – 2021. – DOI: <https://doi.org/10.1109/dsd53832.2021.00072>.
15. Zhang L. Self-Distillation: Towards Efficient and Compact Neural Networks / Linfeng Zhang, Chenglong Bao, Kaisheng Ma // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2021. – Vol. 44, no. 8. – P. 4388-4403. – DOI: <https://doi.org/10.1109/tpami.2021.306710>.
16. A taxonomy and survey of attacks against machine learning / Nikolaos Pitropakis [et al.] // Computer Science Review. – 2019. – Vol. 34. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2019.100199>.
17. Detection and recovery against deep neural network fault injection attacks based on contrastive learning / Wang C. [et al.] // Proceedings of the 3rd Workshop on Adversarial Learning Methods for Machine Learning and Data Mining at KDD, Singapore, 14 Aug. 2021. – 2021.

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-42>

УДК 004.4:141.322.7

СТИСЛО Тарас

ЗВО «Університет Короля Данила»

<https://orcid.org/0000-0002-2377-7985>

e-mail: taras.styslo@ukd.edu.ua

СТИСЛО Оксана

ЗВО «Університет Короля Данила»

<https://orcid.org/0000-0002-7348-2501>

e-mail: oksana.styslo@ukd.edu.ua

ДЕМЧИНА Микола

ЗВО «Університет Короля Данила»

e-mail: mykola.demchyna@ukd.edu.ua

ЯКУБОВСЬКИЙ Володимир

ЗВО «Університет Короля Данила»

e-mail: volodymyr.p.yakubovskiy@ukd.edu.ua

ГЕРМЕНЕВТИЧНО-ОНТОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ПРОЄКТУВАННЯ ТА АНАЛІЗУ АРХІТЕКТУРИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

В роботі наведено результати досліджень побудови архітектури процесів проектування інформаційних систем на основі знань, представлено процеси проектування інформаційної системи як дослідницький підхід. Застосовані герменевтичні принципи побудови систем на основі знань та виконано дослідження архітектури процесів в інформаційних системах на основі інтерпретаційних прикладів та онтологій

Ключові слова: система керування знаннями, онтологія, система на основі знань.

STYSLO Taras, STYSLO Oksana, DEMCHYNA Mykola, YAKUBOVSKYI Volodymyr
King Danylo University

HERMENEUTIC-ONTOLOGICAL APPROACH TO DESIGNING AND ANALYZING INFORMATION SYSTEMS ARCHITECTURE

Modern information technologies, such as the Internet, intranets, extranets, browsers, data repositories, methods of data analysis, and software agents, allow for the systematization, improvement, and acceleration of extensive internal knowledge management. The concept of encoding, storing, and transmitting knowledge within organizations is not new - training and development programs for employees, organizational policies, routines, procedures, reports, and manuals have served this function for years. For instance, each operational manual documents almost every aspect of management. By capturing, codifying, and disseminating knowledge, a company reduces the level of necessary management know-how for its managers while simultaneously increasing the overall efficiency and effectiveness of its operations. Recent interest in knowledge management in general and knowledge management systems, in our opinion, has been fueled by the transition to the information age and the recognition of knowledge as a primary source of economic advantage. Alongside theoretical developments, organizational management practices, recently, have seen an increase in knowledge-oriented solutions. Recognizing the importance of organizational knowledge, our goal is to synthesize relevant and knowledge-oriented work from multiple directions that, in our view, contribute to and shape our understanding of the knowledge management system and knowledge management in general.

Keywords: knowledge management system, ontology, knowledge-based system.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Ресурси, засновані на знаннях, зазвичай важко імітувати через їхню соціальну складність. Розширення імплементації на основі знань та реалізація, заснована на ресурсах, передбачають, що ці активи знань можуть забезпечувати довгострокові стійкі конкурентні переваги. Однак обсяг знань, наявних у даний час, часто є меншим за здатність організацій ефективно їх застосовувати, тобто маніпулювати, зберігати та поширювати існуючі знання, а також створювати нові знання, які є основою для досягнення конкурентних переваг завдяки активам, заснованим на знаннях.

Аналіз досліджень та публікацій

В роботах [1,2] наведено дані, що розглядають стратегічне управління знаннями в контексті мереж. Автор аналізує методи ефективного управління знаннями в організаційних мережах, підкреслюючи важливість знань як стратегічного ресурсу. Проводиться дослідження застосування технологій управління знаннями у сфері управління взаєминами з клієнтами (CRM), розглядаючи, як ці технології можуть покращити процеси взаємодії з клієнтами та підвищити ефективність CRM-систем.

Додатково, огляд спектру управління знаннями описує різні підходи та методи, які використовуються в цій галузі, класифікуючи різні типи систем управління знаннями та пояснюючи їхні

функції та застосування. У відповідь на критичні зауваження щодо соціальної конструкції технологій (SCOT), автори захищають свою концепцію та надають додаткові аргументи для її підтримки [3,4].

Крім того, досліджуються можливості взаємодії між інтерпретативними підходами та іншими методами аналізу інформаційних систем, пропонуючи, як можна інтегрувати різні підходи для більш повного розуміння інформаційних систем [5].

Нарешті, аналіз систем підтримки знань з багатоперспективного підходу розглядає їх організаційні контексти, аналізуючи, як різні перспективи можуть впливати на ефективність та впровадження цих систем в організаціях [6].

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: дослідження та впровадження підходу реалізації інформаційних систем, заснованих на знаннях, та розробка методології стратегічного планування програмних систем і сервісів на основі концепцій управління знаннями.

Виклад основного матеріалу

Основна дослідницька діяльність для досягнення результатів полягає в тому, щоб взяти проблему, метод або теорію та інтегрувати їх у новий контекст для покращення розуміння з метою вирішення проблем або розвитку бажаних знань. В основі цього інтерпретаційного підходу лежать герменевтичні принципи. Це передбачає суб'єктивний підхід, коли дослідник бере активну участь у дослідженні.

Це дослідження базується на інтерпретаційній / герменевтичній дослідницькій традиції, орієнтованій на розуміння текстів та створення нових значень і розуміння. Герменевтичний підхід включає тлумачення текстів, які можуть бути інтерв'ю, звітами інших дослідників, теоріями чи концепціями. Важливою діяльністю є переміщення між цілим і частинами проблемної області для розвитку розуміння; цей процес називається герменевтичним колом.

Важливо пам'ятати, що не існує "фактів" чи "даних" у чистому вигляді; вони завжди є результатом інтерпретації. Інтерпретації завжди залежать від попереднього розуміння дослідником. Під час інтерпретації використовуються вже існуючі теорії, рамки, концепції та цінності дослідника, які змінюються в процесі читання та інтерпретації. Ці процеси створюють "факти" дослідження, які стають фактами лише у відношенні до цілого, частиною якого вони є. Цей процес можна описати як діалог з текстом.

Герменевтика не приймає традиційну концепцію істини як статичний зв'язок між теорією та реальністю. Результати цього дослідження є відкриттям прихованого в текстах. Достовірність герменевтичних досліджень полягає у ґрунтовності аргументованих результатів, які завжди залишаються попередніми. Герменевтичне коло ніколи не завершується.

У цьому дослідженні все розглядається як тексти, що підлягають інтерпретації. Незалежно від того, чи це стосується існуючих методів аналізу знань, чи емпіричних доказів роботи зі знаннями, обидва інтерпретуються у світлі проблеми в цілому. Одночасно, ціле (передбачувана методологія планування) буде переосмислено на основі інтерпретації частин. Емпіричний матеріал цієї роботи трактується як тексти, які розглядаються у зв'язку з уявними проблемами, літературою та результатами, що знаходяться на стадії розробки. Сукупність цих дослідницьких зусиль утворює герменевтичне коло.

Процес формулювання інтерпретаційних чи герменевтичних тверджень істини можна розглядати через призму кількох ключових концепцій:

1. Перспективизм - твердження про істину розглядаються у визначеній перспективі, враховуючи обрану точку зору. Наприклад, можна досліджувати проблему KMS як аспект планування, а не впровадження чи використання. Крім того, важливим є розуміння проблемної ситуації через рефлексивну взаємодію різних перспектив, а не лише детальний аналіз окремих її частин.
 2. Базованість на досвіді - твердження ґрунтуються на людському досвіді, відображаючи конкретний "життєвий світ" особистості. Дослідник виступає як ключовий фактор у формулюванні цих тверджень, а поняття інтерсуб'єктивності допомагає вирішити проблему універсальності таких тверджень.
 3. Іntenціональність істини - процес визначення істини передбачає свідомий і навмисний напрямок інтересу дослідника на об'єкт дослідження.
 4. Умови дослідження - об'єкти дослідження виникають на своїх власних умовах, при цьому необхідно зберігати баланс між попереднім розумінням дослідника та знанням, що виникає в ході дослідження.
 5. Плуралізм істини - претензії на істину конструюються з урахуванням плуралістичного характеру досвіду і залежать від прийнятої точки зору та намірів дослідника.
- Узгодженість - мета полягає у досягненні високого рівня узгодженості між твердженням істини та об'єктом дослідження шляхом розробки систематичного та зрозумілого процесу.

Ці концепції спрямовані на створення надійних тверджень про істину, які відображають інтерпретацію об'єкта дослідження в конкретному контексті.

Застосування герменевтичних принципів. Ряд герменевтичних і інтерпретаційних тематичних досліджень можна знайти на кількох рівнях.

На Рисунку 1, узагальнено ці рівні дослідницьких процесів:

- на найвищому рівні основна увага приділяється розміщенню методологій управління знаннями в контексті соціально-технічної теорії;
- для того, щоб зробити цей аналіз конкретним і детальним, була розроблена основа для проведення збалансованого соціально-технічного аналізу систем управління знаннями. Структура представлена на прикладах прикладів. Цей досвід ставиться в контекст соціально-технічної теорії. Результатом цього процесу є обговорення деяких центральних проблем соціально-технічного аналізу, які, здається, виникають під час планування та розробки систем управління знаннями;
- структура, у свою чергу, розроблена на основі низки поглядів на підтримку управління знаннями в організаціях. Перспективи структури, у свою чергу, розроблені з використанням тематичних досліджень та аналізу теорії та моделей. Попередня версія кожної точки зору поміщається в контекст конкретного дослідження. Обговорюються питання щодо того, наскільки це застосовно та корисно. Крім того, перспектива перероблена, додано ідеї щодо того, як її використовувати та яких переваг можна очікувати від програми в інших типах випадків. Подальші теорії додаються, якщо додаток, здається, пропонує це;
- структура, у свою чергу, розроблена на основі низки поглядів на підтримку управління знаннями в організаціях. Перспективи структури, у свою чергу, розроблені з використанням тематичних досліджень та аналізу теорії та моделей. Попередня версія кожної точки зору поміщається в контекст конкретного дослідження. Обговорюються питання щодо того, наскільки це застосовно та корисно. Крім того, перспектива перероблена, додано ідеї щодо того, як її використовувати та яких переваг можна очікувати від програми в інших типах випадків. Подальші теорії додаються, якщо додаток, здається, пропонує це;
- ці перспективи розроблені в результаті дискусії між теоріями управління знаннями та методологіями планування для інформаційних систем. Це формує герменевтичний процес, прикладом якого може бути, якщо методологію м'якої системи розуміти в контексті проблем управління знаннями і навпаки.

Дослідження конкретних випадків є найпоширенішим якісним методом, який використовується в дослідженні інформаційних систем.

Інтерпретаційні тематичні дослідження в дослідженні інформаційних систем у загальному сенсі підпадають під описи тематичних досліджень. Однак існує багато варіацій.

Тому важливо, щоб характеристики інтерпретаційних тематичних досліджень були чіткими щодо можливостей та обмежень.

Вибір дослідницького підходу завжди повинен бути активним і базуватися на чітких аргументах. Вибір методологічного підходу повинен узгоджуватися з характером проблеми та амбіціями щодо результатів. Інтерпретаційні тематичні дослідження потрібні, коли рівень множинності складних концептуальних структур високий. Складний характер теорії управління знаннями та неоднорідна практика ситуацій планування, здається, припускають, що інтерпретаційний підхід є кращим перед позитивістським.

Інтерпретаційні тематичні дослідження використовуються кількома способами. Об'єкт дослідження підходів до планування KMS досліджено спочатку з теоретичної точки зору. Дослідження прикладу сприяє емпіричним доказам поточних і важливих проблем і явищ, з якими цей підхід повинен бути в змозі впоратися. Слід зазначити, що теоретичні дискусії становлять важливу частину підходу до аналізу конкретних випадків, і кожні теоретичні розробки підкріплені емпіричними даними. Таким чином, дослідження в цілому можна описати як серію взаємопов'язаних тематичних досліджень. Тематичні дослідження підтримують як вибір, так і розробку рамок і концепцій. Інша роль тематичних досліджень полягає в підтримці актуальності підходу. Додаткова мета полягає в тому, щоб надати приклади того, як працювати з підходом, щоб зробити його більш доступним і зрозумілим на практиці та дозволити іншим дослідникам повторити застосування підходу.

Головний принцип відбору кейсів полягає в тому, що всі вони описують ситуації з великою кількістю деталей, у цій роботі вибір інформаційних систем, які використовуються для підтримки процесів знання. Критеріями відбору були важливість і релевантність кейсів для досліджуваної проблеми. Відбір зроблено з цілком обґрунтованою надією, що з них можна отримати глибше розуміння. У виборі кейсів шукали широкий вибір. Наприклад, представлено як державний, так і приватний сектори, як технічні, так і більш організаційні справи, а також включені як успішні, так і не дуже успішні справи.

Пов'язаним питанням є вибір окремих людей, які будуть включені до серії інтерв'ю. Як правило, вибір осіб має відповідати дослідницькому питанню, включаючи використання теорії. Відбір може здійснюватися на основі зібраних даних або навіть прямих запитань до респондентів. Прикладом критерію відбору є вибір людей, які мають велике розуміння та зацікавленість ділитися цим розумінням.

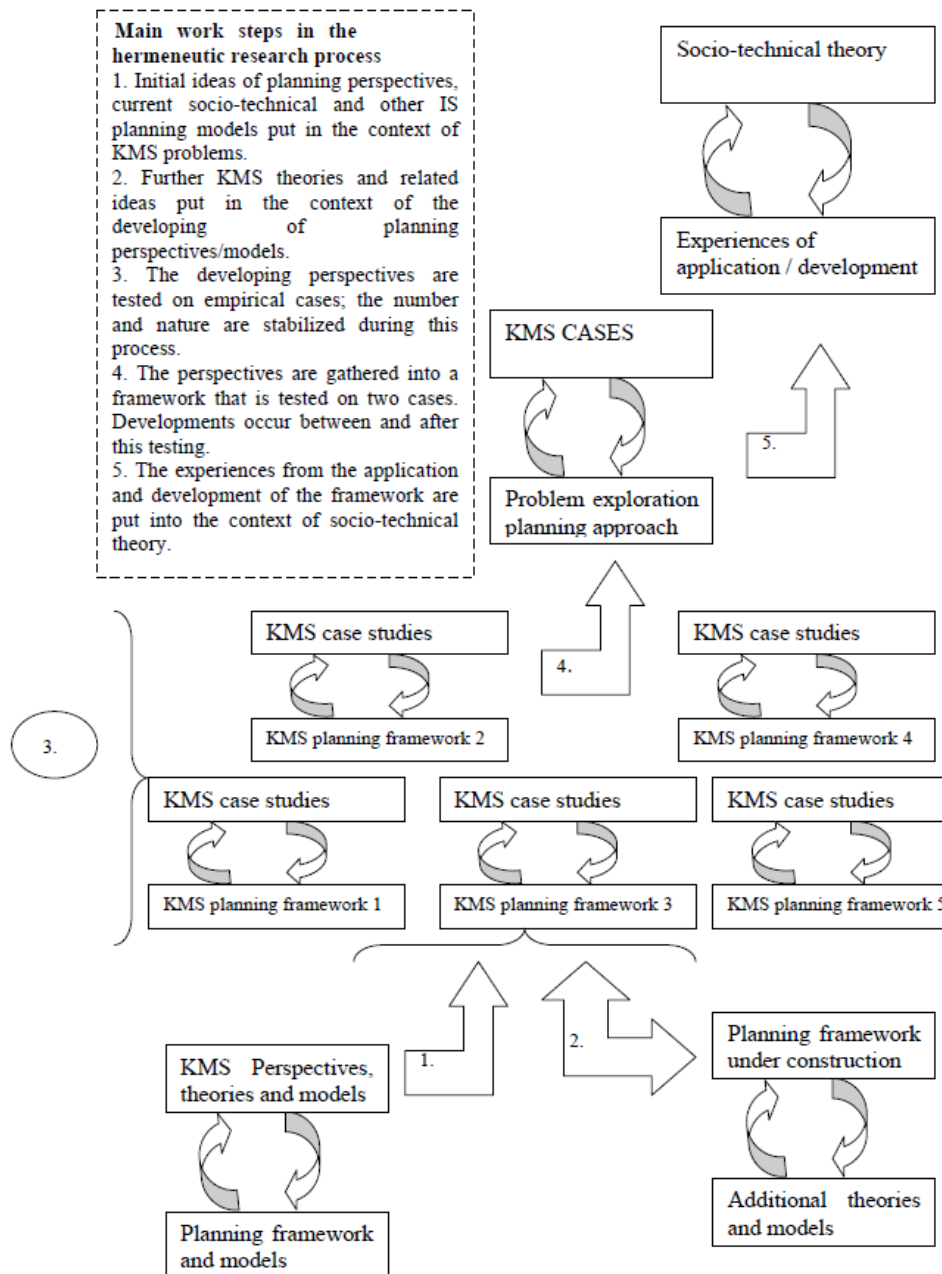


Рис. 1. Основні етапи роботи в процесі герменевтичного дослідження

Збір і аналіз даних є інтегрованим процесом. Результати аналізу використовуються в наступному зборі даних у процесі відкриття та перегляду. Це також інтерактивний процес між культурними та аналітичними даними. Коротше кажучи, дані впливають із дослідницької ситуації та аналітичні дані з літератури.

Пропонується чотириетапний підхід для збору даних:

1. **Огляд аналітичних категорій.** Цей перший крок, по суті, є вичерпним оглядом літератури. Гарне вивчення літератури загострює дослідницьку здатність ловити дивовижні факти. Це також створює здоровий рівень відстані до об'єкта дослідження.

2. **Огляд категорій для оформлення.** На цьому етапі дослідник переглядає власну позицію щодо об'єкта дослідження. На основі власного досвіду дослідника будується набір культурних категорій. Це ще один крок у побудові анкети. Передбачається створити у дослідника усвідомлення власної позиції, що важливо, коли інтерв'ю є ефективним інструментом дослідження. У найкращому випадку перспективи, не визнані в літературі, можуть бути знайдені та включені до списку тем.

3. **Процедура роботи та виявлення категорій.** Процес завершення складання анкети та проведення інтерв'ю передбачає, що анкета повинна відображати баланс між потребою охоплення обраних тем і наданням респонденту вільного спілкування на своїх власних умовах. Слід запланувати час для

відповіді на запитання та пригадування інциденту. Найкращою є ситуація, коли респондент лише за допомогою загальних підказок переглядає досліджувану територію, але іноді доводиться ставити прямі категорійні запитання. Один із способів змусити респондента глибше заглибитися в предмет – розпочати дискусію навколо артефактів, наприклад документів.

4. **Аналіз та виявлення аналітичних категорій.** Для цього розглядається процес, також визнаючи, що кожна ситуація ймовірно, потребує конкретних, спеціальних рішень.

Тематичні дослідження використовуються, щоб поставити концепції в новий контекст, досліджуючи, як вони працюють у режимі планування КМ. Концепції з різних областей поміщаються в контекст одна одної та формуються в кластери, що утворюють будівельні елементи остаточного підходу до планування.

Проблема непередбачених ситуацій одночасно обмежує та зосереджує результати дослідження, які є актуальними та можливими для досягнення. Більше того, врешті-решт це завдає удару по нашій конструкції методології планування, розробки та впровадження інформаційних систем. Існує обмеження щодо того, наскільки локальними можуть стати методи. Якщо вони надто локальні, то це просто стає ситуативною моделлю, яку навіть навряд чи можна повторити в одній компанії. З іншого боку, це може призвести до метаметодологій або простих оболонки, які можна використовувати для створення тимчасових робочих методів. Моделі управління знаннями для певної компанії можуть бути прикладом першого, а методологія програмних систем – прикладом останнього.

Однією дуже важливою стороною підходу до дослідження є баланс між теорією та емпіричними аспектами дослідження. Тематичні дослідження зосереджені на емпіричному аспекті, але увага до теорії є дуже центральною для дослідження.

Це дослідження зосереджено на теоретичному обґрунтуванні та побудові основи. Основною частиною цього підходу є широке використання кейсів для дослідження та переробки фреймворку.

Можна розглядати весь дослідницький процес як велике інтерпретаційне тематичне дослідження, що складається з низки інтерпретаційних процесів і тематичних досліджень.

Огляд процесу дослідження та використання тематичних досліджень наведено на рисунку 2.

Найбільш фундаментальною функцією KMS (системи управління знаннями) є досягнення обміну знаннями всередині організації. Тому набуття знань – це не лише початок. Найбільш фундаментальною функцією KMS (системи управління знаннями) є досягнення обміну знаннями всередині організації. Тому набуття знань – це не лише початок. Управління знаннями є найбільшою фундаментальною вимогою.

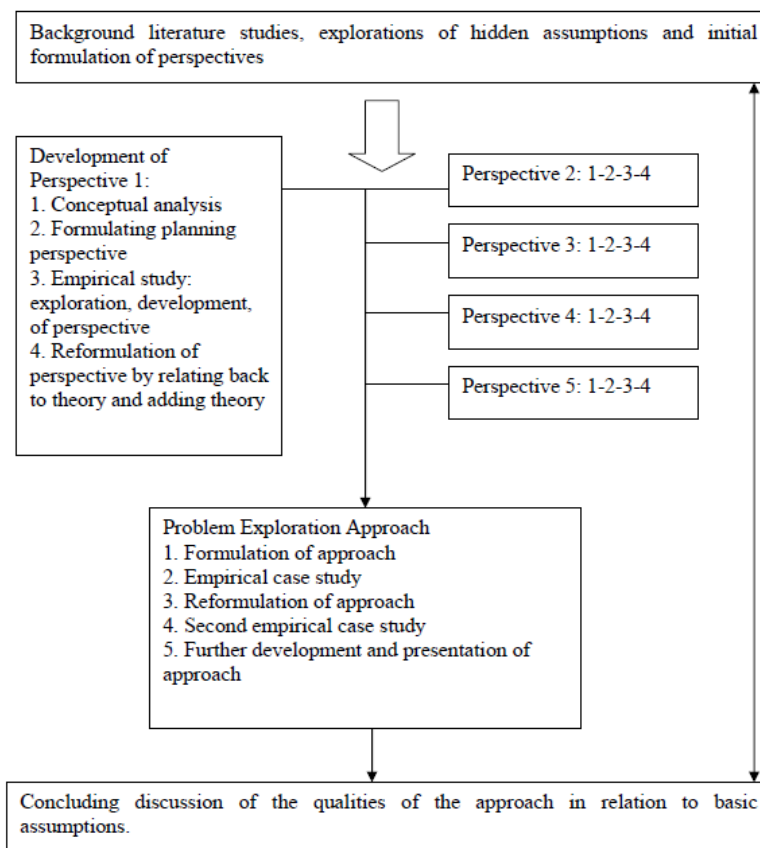


Рис. 2. Інтерпретаційні тематичні дослідження як дослідницький підхід: теорії та емпірики у взаємодії

Щоб бути зручним для повторного використання знань, KMS створює чіткі елементи, які зберігаються в базі знань, яка містить різноманітну структуровану, напівструктуровану та неструктуровану інформацію. KMS розділений на три частини з метою реалізації функцій, згаданих вище. Це отримання знань, зберігання знань і повторне використання знань, а весь процес, основним поняттям якого є онтологія, пов'язаний видобутком знань, представленням знань і зв'язком знань. Структура KMS на основі онтології показана на рисунку 3.

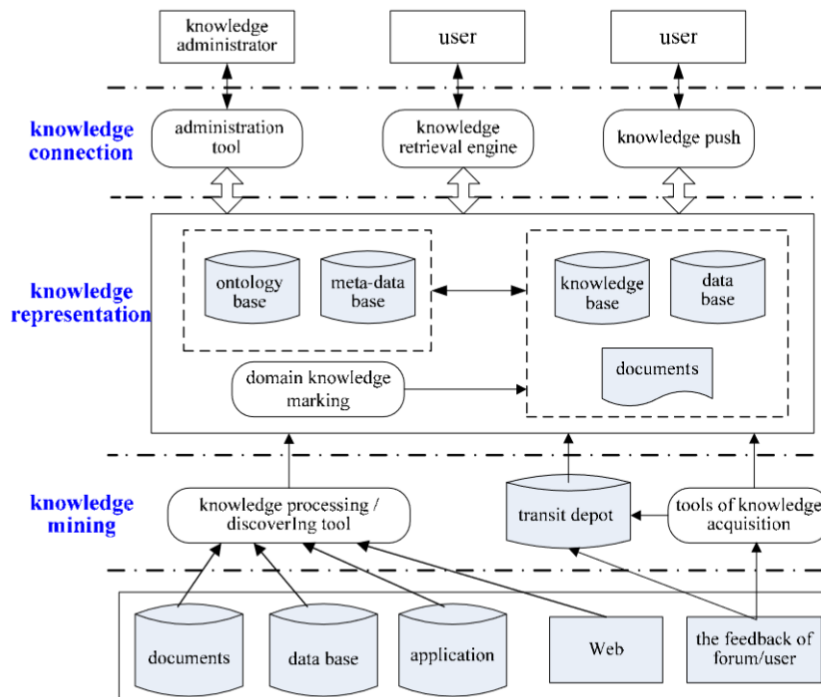


Рис. 3. Структура системи управління знаннями на основі онтології

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

У статті досліджено процеси підвищення ефективності та оптимізації моделей і методів управління знаннями. Ключовою проблемою визначено соціально-технічний вимір інформаційних систем, зацентовано увагу на плануванні систем управління знаннями, питанні ефективного вирішення цієї наукової задачі. У роботі представлено соціально-технічні теорії, які пропонують різні способи розуміння взаємозв'язку між соціальним і технічним аспектами.

Також розглянуто основні припущення про знання, представлено базовий набір концепцій у сфері планування, після чого обговорюються різні підходи до стратегічного планування. Здійснено розробку концепції візуалізації знань та ефективного підходу до планування систем управління знаннями. Використано принцип застосування візуальних представлень при управлінні знаннями, наведено концепції знань і приклади їх візуалізації.

References

1. Carlsson, S. Strategic Knowledge Managing in the Context of Networks, Handbook on Knowledge Management 1 – Knowledge Matters, Editor: Holsapple, C.W., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2003.
2. Bose, R. and Sugumaran, V. Application of Knowledge Management Technology in Customer Relationship Management, Knowledge and Process Management, Vol. 10, No. 1, 2003.
3. Binney, D. The Knowledge Management Spectrum – Understanding the KM Landscape, Journal of Knowledge Management, Vol. 5, No. 1, 2001.
4. Bijker, W.E. and Pinch, T.J. SCOT Answers, Other Questions – A Reply to Nick Clayton, Technology & Culture, Vol. 43, No. 2, 2002.
5. Alter, S. Possibilities for Cross-fertilization Between Interpretative Approaches and other Methods for Analyzing Information Systems, European Journal of Information Systems, Vol. 13, No. 3, 2004.
6. Aidemark, J. A Multiple Perspectives View on Knowledge Support Systems and Their Organizational Contexts, In: Promote IT 2005, Edited by: Bubenko, J. Jr., Eriksson, O., Fernlund, H. and Lind, M., Studentlitteratur, 2005.

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-43>

УДК: 316.776.3

САБАТ Володимир
Українська академія друкарства
<https://orcid.org/0000-0001-8130-7837>
v_sabat@ukr.net

МАЦЮК Віталій
<https://orcid.org/0009-0006-2283-5246>
altentop17@yahoo.com
Українська академія друкарства

СПОСОБИ СОЦІАЛЬНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ТА МЕТОДИ ВПЛИВУ НА СОЦІАЛЬНІ СТРУКТУРИ В УМОВАХ ЗАГРОЗ ТА КІБЕРАТАК

Проаналізовано способи та напрямки соціальної взаємодії між об'єктами та суб'єктами соціальних відносин, соціальні ризики в умовах дії активних загроз та атак на соціальну структуру і методи впливу на соціальні об'єкти, які використовують зовнішні агенти впливу для здійснення кібератак.

Розглянуто рекламу, у вигляді інформаційних рекламних повідомлень, як один з ефективних засобів інформаційного впливу. Наголошено, що для рекламних повідомлень характерними є певні семантичні та структурні особливості, які визначаються особливостями текстів реклами. На лексичному рівні вони проявляються у використанні прийому відхилення від мовної норми, запозичень, гри слів, фразеологізмів, географічних реалій, імен популярних особистостей та вказівок на історію народу, його традиції і звичаї. Усі ці особливості рекламних повідомлень можуть бути використані зловмисником для реалізації кібератак на соціальні структури з метою досягнення своїх цілей.

Ключові слова: соціальна взаємодія, інформація, агент впливу, маніпулятивні технології, соціальні об'єкти та структури, кібератаки, ризики.

SABAT Volodymyr, MATSIUK Vitalii
Ukrainian Academy of Printing

SPECIAL SYSTEM TYPES, STRUCTURE, HIERARCHY, RANKING CLASSES BY INFORMATION PERCEPTION METHOD

In modern society, it is important to focus the interaction between people and nature on the search for relationships that contribute to overcoming differences and ensuring mutual understanding between social objects. This requires the development of a new theoretical paradigm of social relations to restore the unity of society, create means for achieving social harmony and common creative understanding between people. Analysis of socio-philosophical problems of human interaction can significantly improve the modern theory and practice of the sociality of a person. Approaches that consider society as a harmonious whole require solving the problems of philosophical understanding of social interaction as a process that unites all aspects of the social development of society. This work analyzes special system types of social objects, social structures, hierarchies and classes of their ranking according to the method of information perception.

The author analyzes the ways and directions of social interaction between objects and subjects of social relations, social risks in the context of active threats and attacks on the social structure and methods of influence on social objects used by external agents of influence to carry out cyberattacks.

The article considers advertising, in the form of informational advertising messages, as one of the effective means of information influence. It is emphasized that advertising messages are characterized by certain semantic and structural features which are determined by the peculiarities of advertising texts. At the lexical level, they are manifested in the use of deviations from the language norm, borrowings, wordplay, phraseological units, geographical realities, names of popular personalities and references to the history of the nation, its traditions and customs. All of these features of advertising messages can be used by an attacker to launch cyberattacks on social structures to achieve their goals.

Keywords: social interaction, information, agent of influence, manipulative technologies, social objects and structures, cyberattacks, risks.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Людина сприймає навколишній світ, враховуючи реальні та віртуальні аспекти, які базуються на її власному життєвому досвіді. Це сприйняття визначається багатьма факторами, такими як настрої, знання, досвід, а також вплив ЗМІ. Враження та емоції, які ми отримуємо в процесі пізнання світу, формуються не лише зовнішніми подіями, але й нашим унікальним сприйняттям та особливостями медіа-процесу [1–4].

У сучасному суспільстві важливо зорієнтувати взаємодію між людьми та природою на пошук взаємозв'язків, які сприяють подоланню розбіжностей і забезпеченню взаєморозуміння між соціальними об'єктами. Це вимагає розробки нової теоретичної парадигми соціальних відносин для відновлення єдності суспільства, створення засобів для досягнення соціальної гармонії та спільного творчого порозуміння між людьми. Аналіз соціально-філософських проблем людської взаємодії може значно покращити сучасну теорію та практику соціальності особи. Підходи, що розглядають суспільство як гармонічну цілісність, потребують вирішення задач філософського розуміння соціальної взаємодії як процесу, який об'єднує всі

аспекти соціального розвитку суспільства. В цій роботі проводиться аналіз спеціальних системних типів соціальних об'єктів, соціальних структур, ієрархії та класів їхнього ранжування за способом сприйняття інформації.

Аналіз досліджень та публікацій

Науково-теоретичною основою проведених досліджень є наукові праці зарубіжних та вітчизняних вчених, які заклали основи теорії комунікацій. До таких наукових праць можна віднести роботи науковців Петришина Г. Р. [15], Городнюка Л. [3], Кривцова В. Ю. [11], Твердохліба Ю. М. [20], Дрогомирецького Б. [6].

Не дивлячись на значущість проведених досліджень взаємозв'язків між соціальними об'єктами та структурами у вищевказаних наукових працях, недостатньо висвітленими залишається низка питань стосовно розборки шляхів та інструментів запровадження соціальних комунікацій в сучасне українське суспільство.

Формулювання цілей статті

Мета статті – дослідження способів соціальної взаємодії об'єктів та суб'єктів соціальних відносин та методів зовнішнього впливу на соціальні структури в умовах соціальних ризиків та кібератак.

Виклад основного матеріалу

Останні десятиліття підтверджують, що соціальна взаємодія залишається важливою темою для філософського аналізу соціальних відносин у суспільстві. Проте в соціогуманітарному дослідженні ще не сформульовано єдиної концепції цієї взаємодії: відсутнє чітке визначення або структурний аналіз, які б могли слугувати основою для розробки теорії соціальних відносин. Розробка такої теоретичної бази має велике значення в епоху глобалізації, коли важливо прогнозувати та управляти різними аспектами суспільного життя, щоб уникнути негативних наслідків для соціального розвитку суспільства. Дослідження соціальної взаємодії у контексті постіндустріального суспільства в умовах дії активних загроз та кібератак є науковою метою і завданням, яке допомагає розуміти й управляти соціальними процесами та ієрархічними структурами в сучасному українському суспільстві. Уточнення визначення поняття «соціальна взаємодія» і його ролі в соціальній філософії є важливим завданням дослідження цього явища, яке потребує аналізу базових філософських категорій для розкриття його змісту та обсягу [7].

Дослідження феномену соціальної взаємодії є складним завданням, оскільки з соціально-філософської перспективи така взаємодія виступає як не тільки вихідний, але й відтворюваний елемент, що підтримує стійкість та динаміку соціальних систем. У соціальних процесах взаємодія відображає як точку поєднання, так і розриву соціальних зв'язків. Отже, розглядаючи цей процес, можна говорити про системи взаємодій, які забезпечують безперервність складних соціальних процесів у просторі та часі [5]. Суб'єктами соціальної взаємодії є як індивідуальні, так і групові та колективні соціальні об'єкти та суб'єкти. Важливо зазначити, що соціальний суб'єкт одночасно перебуває у системі безпосередньої взаємодії та постійно взаємодіє з опосередкованими системами, які формуються внаслідок укладу культури, економіки, політики та інших сфер. Таким чином, проблема досвіду соціального суб'єкта включає в себе взаємодії з системами взаємодій, де сам суб'єкт виступає як об'єкт і суб'єкт взаємодії одночасно. Курбан О. В. [13], описуючи проблеми соціальних процесів, вказує на те, що поняття «суб'єкт-суб'єктні відносини» має динамічний характер і включає в себе відношення як прояв життєвої позиції суб'єкта, так і його об'єктивного статусу [16–19].

Соціальна взаємодія відображається через сприйняття окремими суб'єктами окремих властивостей під час безпосередніх взаємодій. Щоб узагальнити ці характеристики, суб'єкт використовує свій досвід з різних форм опосередкованої взаємодії. Соціальний суб'єкт постійно перебуває в конкретних ситуаціях, але також має здатність виходити за межі цих обставин, що є необхідною умовою для його соціальної активності.

У соціології соціальна взаємодія розглядається як ключове поняття, яке ґрунтується на усвідомленні того, що людина завжди перебуває в об'єктивному або уявному оточенні інших осіб і взаємодіє з ними відповідно до цієї соціальної ситуації [21].

З огляду на це, соціальна взаємодія є місцем, де відбувається взаємовплив між соціальними суб'єктами та соціокультурним середовищем, що дозволяє соціальному життю функціонувати у цілісності, об'єднуючи різні напрямки порядку, такі як стабільність і мінливість. Це створює інтегративну спільність, де структурована суспільна дія зустрічається з готовністю соціального суб'єкта взаємодіяти відповідально, сприяючи виникненню соціальних взаємодій.

Особистість постійно формує своє існування та взаємовідносини через активне визначення меж своєї соціальної реальності. Цей процес інтерсуб'єктивності є ключовим для соціальності, де реальність сприймається як спільна для кожного індивіда та інших осіб. Підхід, спрямований на інтерсуб'єктивність, не лише підкреслює взаємозв'язок між людьми, але й відзначає його внутрішню значущість для особистості.

Інтерсуб'єктивність базується на структурі соціальних зв'язків і здійснюється через соціальну взаємодію, яка зберігається й після завершення конкретних взаємодій у формі внутрішнього діалогу свідомості. Створене поле інтерсуб'єктивного смислу залишається актуальним, становлячи основу для подальшої взаємодії між «Я» та «Іншим» [22].

Соціальна взаємодія відображається через свідомий і раціональний обмін між двома сторонами. Цей аспект проблеми досліджений докладно Кройтором А. В. [12] та іншими філософами. Вчені висловлюють думки, що дають підстави для такого висновку: соціальна взаємодія має два рівня детермінації. Перший рівень базується на суспільній моделі, яка виникає з об'єктивної історичної ситуації, а другий рівень формується з урахуванням суб'єктивних властивостей людини і її розуміння, яке постійно взаємодіє з розумінням іншої сторони. Важливо відзначити, що у діалогічних відносинах соціальні суб'єкти є як об'єктом, так і суб'єктом взаємодії. Це підкреслюється тим, що взаємодія є суб'єктивно орієнтованим процесом, де навіть у взаємодії між державами відбувається безпосередній діалог між представниками цих держав. Взаємні відносини між особами, які формуються в межах суспільного простору, впливають на смислові контексти локальних спільнот та визначають розвиток соціальності в цілому.

Соціальна взаємодія є невід'ємною складовою практичних дій індивідів, які налаштовані на спільну діяльність в різних життєвих ситуаціях. Взаємодія – всеохоплюючий інтерсуб'єктивний процес, саме тому конструкт «інтерсуб'єктивність» є в сучасній соціальній філософії одним з провідних.

Філософський аналіз соціальної взаємодії в межах феноменологічної парадигми являє собою перенесення теорії інтенціональності в сферу онтології буття з-іншим і розкриває низку характеристик процесу діалогу як прагнення до подолання «розірваності» існування наявного буття окремих суб'єктів. Три найважливіші ознаки характеризують феноменологічну парадигму: самопізнавальна взаємодія, свобода, трансценденція. Схематично взаємозв'язок цих явищ може бути визначено наступним чином. Відношення суб'єкта до самого себе і до світу об'єктів необхідно опосередковувати через його ставлення до Іншого. Воно передбачає задіяння всього життєвого досвіду суб'єкта і цільову систему ієрархічно-структурованої діалогічної взаємодії. Суб'єктивні стани наявного буття соціального суб'єкта безпосередньо усвідомлюються в тих формах, які носять міжіндивідуальний характер і опосередковуються у формах, спільних для всіх об'єктів культури, мови повсякденного спілкування [8–10].

Проаналізуємо найбільш поширені методи текстових потоків в соціальній взаємодії. Досліджуючи діалог як механізм соціальної взаємодії, ми не можемо не торкнутися теоретичних позицій вчених, які зробили спроби осмислення сутності і природи діалогу як «соціального фракталу». Визначення діалогу як соціального фракталу, відкриває можливість розглядати діалог і його властивості на одному рівні, проектувати дане знання на більш складні рівні соціального буття, що важко піддаються аналізу. Найчастіше в теорії, категорія «фрактал» трактується дуже широко, а на практиці досліджується не сам феномен фракталу, а результати минулого фрактального процесу. Разом з тим, інтерес до подібного феномену зростає [13].

У соціальних відносинах виникає діалог, який характеризується властивостями самоподібності, інваріантності, незавершеності і децентричності на всіх рівнях. Цей діалог має стійку структурну організацію і не завершується, але породжує нові зв'язки та взаємозв'язки, тобто створює більше, ніж складові частини, з яких він складається. Діалог відрізняється від монологу своєю децентралізацією. Він виникає між соціальними суб'єктами у всіх сферах їх взаємодії, таких як фізіологічна, емоційна, інформаційна, інтелектуальна тощо. Ці взаємозв'язки в часі і просторі формуються між різними соціальними суб'єктами під час організації та реалізації спільних дій. Залежно від складності цих дій, масштаб взаємодій може значно змінюватись, охоплюючи від невеликої кількості суб'єктів до масштабних діалогічних взаємодій, які охоплюють тисячі або навіть мільйони соціальних суб'єктів, утворюючи найбільш глобальний рівень діалогу всередині людства [14].

В структурі діалогу завжди наявні три складові: учасники (суб'єкти), обговорювані питання або теми (предмет), а також контекст чи середовище, де відбувається спілкування (простір діалогу). Соціальний діалог, як основний засіб соціальної взаємодії, має стійку структуру, але при цьому може мати різні варіації в конкретній реалізації, що забезпечує різноманіття шляхів розвитку соціальної дійсності. Ця структура діалогу відтворюється на різних рівнях: в особистому внутрішньому діалозі, у взаємодії між людьми та в спілкуванні групових або колективних суб'єктів, таких як спільноти або соціальні групи. Цій діалогічній взаємодії притаманні ряд характеристик, таких як децентралізація, незавершеність у просторі та часі соціуму, можливість варіативності й непередбачуваності особистісного внеску, а також потенціал для встановлення певного порядку або відкриття нових можливостей, які породжують певний ступінь хаосу.

Метод аналізу процесу взаємодії запропонований Бейлзом Р., який називається Interaction process analysis, дозволяє класифікувати прямі взаємодії між членами групи, використовуючи реальний формат спілкування. Бейлз Р. пропонує ряд способів фіксації та аналізу отриманих даних, що дозволяє описувати інтеракцію в групі за допомогою категорій, що відображають основні взаємини та групові процеси у чотирьох сферах: позитивні та негативні емоції, постановка проблеми та її вирішення.

У методі Бейлза Р. виокремлюються три типи поведінки для кожної з цих категорій, такі як вираз солідарності та згоди для позитивних емоцій, або вираз незгоди та антагонізму для негативних. Також описується способи постановки та вирішення проблеми, які включають у себе пропозиції, вказівки, вирази думок та прохання про інформацію чи допомогу. Хоча цей метод дозволяє спостерігати та фіксувати різноманітні типи взаємодій у групі, його недоліком є те, що він акцентує увагу лише на формальних аспектах спілкування, не звертаючи уваги на змістовий аспект спільної діяльності групи.

На сучасному етапі досліджень соціальної взаємодії між групами акцентується на трьох напрямках. Перший напрямок – це аналіз гіпотези контакту, дослідження умов, що впливають на зміну стереотипів, та перевірка когнітивних моделей міжгрупових відносин. Особливий інтерес психологів привертають соціальні взаємодії через історичний контекст міжрасових та міжетнічних конфліктів. Наприклад, дослідники Петришин Г. Р. [15] та Шевчук Є. [21] показали, що міжгрупові контакти сприяють зменшенню упереджень між групами.

Другий напрямок – це методи організації соціальної взаємодії, які включають спільну діяльність різних груп для досягнення спільних цілей. Спільна діяльність може мати такі напрямки: співпрацю, пошук компромісів та прийняття рішень, що задовольняють усіх учасників. Організація діалогу між різними соціальними групами є ключовою у цьому напрямку.

Третій напрямок – це методи групового прийняття рішень, наприклад, метод консенсусу, який використовується для формування громадської думки і прийняття спільних рішень. Важливою особливістю цього методу є дотримання всіма учасниками принципу взаємного поваги та відкритості для досягнення спільної згоди. Однак у складних або конфліктних ситуаціях досягнення консенсусу може бути викликом.

Ще одним перспективним методом є дослідження дією або модель залучення дослідника (Action research, participatory action research – PAR). Цей метод передбачає тісну співпрацю дослідника з досліджуваною групою. Ідея «дослідження дією» виникла у Кривцов В. Ю. [11], який поєднав активні дії з груповим дослідженням. Дослідник отримує від групи інформацію про те, що варто дослідити, де та як це зробити. Потім він навчає групу корисним навичкам, які дозволяють їм продовжувати дослідження самостійно. Цей підхід знайшов широке застосування в педагогіці, як відповідь на традиційну модель, де вчитель передає інформацію пасивним учням, стоячи перед класом. В рамках PAR дослідник вчиться разом зі своїми «учнями», що сприяє інтеграції «дії громади» у дослідницькі плани.

Інший поширений метод, який використовується в контексті групової динаміки та соціальної взаємодії, – це соціодрама. Цей метод використовується у роботі з різними групами, включаючи етнічні, расові, релігійні, політичні та інші спільноти, щоб вирішувати різноманітні соціальні проблеми та конфлікти. Соціодрама дозволяє подолати негативні тенденції групової динаміки та конфліктів, що може бути особливо корисним у роботі з колективними травмами та іншими складними ситуаціями. Сучасні види соціальних загроз можуть мати різні причини, включаючи соціально-економічні (такі як нестача продовольства, інфляція, безробіття), політичні (невдоволення політикою уряду, порушення демократичних свобод, корупція), етнічні (порушення прав національних меншин, мовні проблеми, ігнорування культурних цінностей), релігійні (конфлікти між різними конфесіями), криміногенні (злочинні угруповання).

Враховуючи, що соціальні ризики виникають з різних умов і факторів, державна міграційна політика має завдання попереджувати виникнення загроз. Так, протидія масовому виїзду населення за кордон передбачає вплив на міграційні чинники та покращення добробуту населення загалом.

Основні фактори ризику поділяються на декілька типів, включаючи геополітичні, соціально-економічні, соціокультурні, соціально-психологічні та демографічні. Наприклад, ризики можуть бути пов'язані з рівнем безробіття, рівнем життя населення, наявністю небезпечних виробництв, ступенем заселеності та інфраструктурою регіону, а також обігом незареєстрованої зброї та неузгодженістю дій владних структур.

Ризики в суспільстві неодмінно виникають і здійснюються в рамках його інституційних структур у всіх сферах життєдіяльності: економічній, політичній, соціальній, міграційній. Цей процес формує своєрідний «замкнений цикл», де ризики втілюються у специфічному «споживанні», що призводить до їх накопичення і зростання в масштабах суспільства. Важливо зазначити, що це «споживання» не призводить до зникнення ризику, а лише до його накопичення та збільшення «маси» ризику, що впливає на формування критичних ситуацій.

Політико-економічні фактори відіграють значну роль у концепції суспільства ризику, впливаючи на основні складові цього явища в контексті рефлексивної модернізації. Вимірювання цих ризиків часто здійснюється через політичний та економічний вплив на суспільство. У світі, де існують глобальні екологічні кризи, фінансові труднощі та терористичні загрози, політичний фактор стає важливим для координації заходів та реагування на ці виклики.

Окремо дослідимо методи інформаційного впливу на поведінку особи. Виходячи з характеру і типу, інформаційний вплив розділяють на ситуативний, вербальний, образний та змішаний. Деякі ситуативні види інформаційно-психологічних впливів у міжнародних відносинах можна розглядати як специфічну форму спектаклю. Інформаційний вплив (ІВ) це зміна у свідомості особи чи групи з метою вплинути на їхню

поведінку чи світогляд. Його базові методи – переконання і навіювання – спираються на психологію та соціальну інженерію. Розвиток інформаційних технологій збільшує можливості охоплення аудиторії. Інформаційні впливи можуть мати затримку у прояві, а їхні наслідки можуть бути віддаленими в часі.

Концепція Effects-Based Operations (ЕВО) розрізняє ефекти на різних рівнях, від першого до подальших порядків, враховуючи психологічний аспект сприйняття наслідків. Такий підхід враховує, що позитивний ефект на перший погляд може мати негативні наслідки у майбутньому, особливо якщо це спрямовано на деструкцію з мінімальними затратами. Суть ЕВО полягає у послідовності «механізм» – «дія» – «ефект», де остання стадія відображає результати впливу на психологічний стан ворогуючої сторони в інформаційному конфлікті.

Інформаційний вплив, особливо через соціальні взаємодії, має на увазі спеціальний підбір аудиторії, яка найбільш вразлива до психологічних впливів агресора. Це веде до формування специфічної категорії людей, з якими проводяться активні дії з метою створення потрібного психологічного стану. На сьогоднішній етап інформаційної війни характеризується як друге покоління, яке ґрунтується на використанні інформаційно-психологічних впливів. Це означає, що проводяться такі дії:

- створення негативної атмосфери, спрямованої на втрату цінностей, неповага до культурного спадку противника;
- маніпулювання суспільною свідомістю для створення політичної напруженості;
- дестабілізація політичних відносин з метою провокування конфліктів, розпалення недовіри та підозр;
- зниження рівня інформованості громадськості, провокування помилкових управлінських рішень, дискредитація влади;
- підірив міжнародного авторитету держави та її співпраці з іншими країнами;
- нанесення шкоди інтересам держави в політичній, економічній, оборонній та інших сферах.

Наслідки такої інформаційної війни можуть бути серйозними: окупація територій, підвищення міжнародного тиску на владні структури, міжнародна ізоляція, розкол суспільства, еміграція, тощо. У найбільш загальному вигляді методами психологічного впливу слід вважати: переконання, навіювання, зараження, наслідування. Таким чином агент зовнішнього впливу може здійснювати кібератаки на соціальні структури через психологічний вплив на соціальні об'єкти, з яких вони складаються (рис. 1). Кожен із них передбачає застосування сукупності засобів і прийомів, доцільність яких визначається вищеперерахованими чинниками.

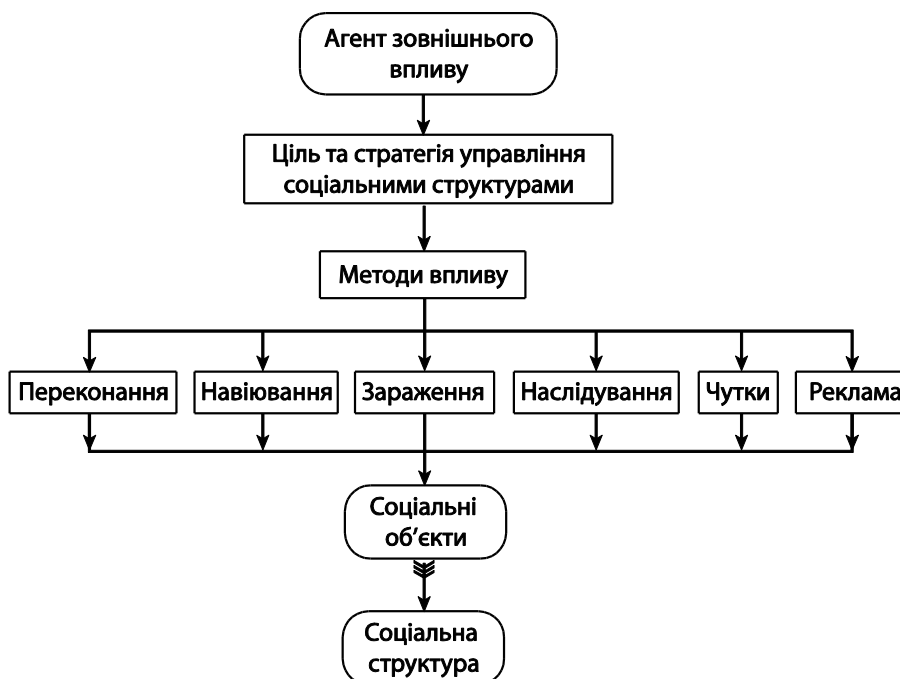


Рис. 1. Схема здійснення кібератак агентів зовнішнього впливу на соціальні структури

1. **Переконання** здійснюється в словесній формі та ґрунтується на логіці, а вплив на відчуття та емоції мають тут другорядне значення. Активними є обидві сторони, тобто процес переконання являє собою явну або приховану дискусію, метою якої є досягнення єдності поглядів. Тому найбільш ефективним слід вважати звернення типу: «Мені хотілося б з вами обговорити питання..., моє бачення тут таке.....». Якщо викладаються декілька варіантів вирішення проблеми, то найбільш ефективний із них слід пропонувати

останнім. Процес переконання бажано здійснювати таким чином, щоб людина «сама» дійшла необхідного висновку та сформулювала його як свою особисту думку.

Таким чином, переконання – це метод впливу, заснований на логічних прийомах, до яких домішуються соціально-психологічний тиск різного роду (вплив авторитетності джерела інформації, групове вплив). Воно більш ефективно, коли переконується група, а не індивід.

2. На відміну від переконання, при **навіюванні** активною є одна із сторін, інша – повинна якомога менш критично сприймати те, що говориться. Навіювання є бездоказовим та не аргументованим, тому велике значення тут має значущість особи, що його здійснює (авторитет, престижність). Навіювання впливає шляхом безпосереднього психічного стану, що прищеплюється; інакше кажучи, ідеї, відчуття та сприйняття, що не потребують ніяких доказів та логіки взагалі. Воно здійснюється в категоричній словесній формі, причому велике значення тут має дефіцит часу та психічний стан того, хто є об'єктом впливу: якщо особа збуджена та терміново шукає вихід з важкого становища, вона у цю мить легко піддається навіюванню та готова хапатися за першу-ліпшу пораду. Навіювання має широке застосування в психотерапії, тому у людей іноді існує помилкове уявлення, що ним може займатися лише особа, обдарована особливими якостями. Це не так, оскільки його ефективність найбільшим чином залежить від рівня інтелектуального та емоційно-вольового розвитку.

3. **Зараження** – психологічний вплив на особистість у процесі спілкування і взаємодії, який передає певні настрої, спонуки не через свідомість та інтелект, а через емоційну сферу. Це вплив, заснований на несвідомій схильності людей (особливо у складі групи) до емоційного впливу в умовах безпосереднього контакту.

Масовий спосіб інтеграції групової діяльності виникає у значного скупчення людей – на стадіонах, у концертних залах, на карнавалах, мітингах і т.д. Одним з його ознак є стихійність.

Психічне зараження здійснюється через передачу емоційного стану від однієї особи до іншого на несвідомому рівні. Свідомість у таких умовах різко звужується, майже зникає критичність до подій, інформації, яка надходить з різних джерел. Психологія пояснює зараження як неусвідомлювану, мимовільну схильність людини до певних психічних станів. Відбувається зараження через передавання психічного настрою, наділеного великим емоційним зарядом. Воно є одночасно продуктом впливу на інших енергетики психічного стану індивіда чи групи, а також здатністю людини до сприймання, співпереживання цього стану, співучасті.

Ефект залежить від ступеня інтенсивності емоційного стану людини впливає і кількість слухачів. Чим вище емоційний настрій оратора, тим потужніший ефект. Число людей повинно бути достатньо великим, щоб виникало відчуття єдності під впливом емоційного трансю оратора.

4. **Наслідування**. Найпоширеніша форма поведінки людини в соціальній взаємодії. Це спосіб засвоєння традицій суспільства, механізм свідомого або несвідомого відтворення досвіду дій і вчинків іншої людини (суб'єкта психологічного впливу), зокрема його рухів, манер, дій, поведінки і т.д. Це процес орієнтації на певний приклад, взірць, повторення і відтворення однією людиною дій, вчинків, жестів, манер, інтонацій іншої людини, копіювання рис її характеру та стилю життя. Саме через наслідування здійснюється процес соціалізації особистості, реалізуючись за допомогою навчання і виховання. Особливе значення воно має у розвитку дитини. Тому більшість науково-прикладних досліджень з цієї проблематики здійснюється в дитячій, віковій і педагогічній психології. У дорослої людини наслідування є побічним способом освоєння навколишнього світу, його психологічні механізми складніші, ніж у дитини і підлітка, так як спрацьовує критичність особистості. Наслідування в дорослому віці є елементом навчання певним видам професійної діяльності (спорт, мистецтво).

До вище вказаних прийомів впливу на особистість у соціокультурному аспекті її виміру та взаємодії у соціальних структурах можна віднести такі засоби масового впливу як чутки та рекламу.

5. **Чутки**. Коли люди стикаються з чимось незрозумілим, але, на їх думку, важливим, вони завжди намагаються знайти відповідну інформацію, в якій було б необхідне роз'яснення. Чутки – це повідомлення, що надходять від однієї або більше осіб, про не підтверджені фактами події. Зазвичай вони стосуються важливих для певної соціальної групи чи людини явищ, містять інформацію про актуальні для них потреби та інтереси. Очікування отримати задоволення від почутої інформації, є головним мотивом сприймання і відтворення почутого (чутки).

Кожен тип впливу переконання чи навіювання передбачає декілька різних засобів. Наприклад, зараження = невербальний емоційний вплив + частково вербальна компонента; переконання = вербальний + емоційний + залученість в діяльність.

При здійсненні психологічного впливу найбільшими можливостями володіє саме мова (мовлення) особи. Для того, щоб досягти ефекту, зовсім не обов'язково бути оратором.

6. Для прикладу можна розглянути **рекламу**, як один з ефективних засобів інформаційного впливу. В цілому, рекламу можна охарактеризувати, як складне і багатогранне явище не тільки соціально-економічної, але й мовної дійсності. Рекламний текст являє собою особливий вид тексту. Він є одночасно носієм і виразником інформації. Як елемент суспільної комунікації, рекламний текст спрямований не тільки

на інформування, але й на здійснення мовленнєвого впливу комунікатора на одержувача повідомлення. Правильне сприйняття рекламного тексту досягається тоді, коли він виконує усі умови для цього, а саме: привертає увагу, викликає інтерес до змісту, бажання придбати товар чи скористатися послугою, підкріплює мотивацію купівлі товару, є переконливою аргументацією при цьому, підштовхує до дії. Рекламний текст характеризується своєрідною організацією і має ретельний добір граматичних і лексичних одиниць, стилістичних прийомів, особливий синтаксис, використання елементів різних знакових систем.

Рекламний текст часто має повторюваність, яка робить його легко запам'ятовуваним. Одержувач може багато разів зустрічати рекламу, що може вплинути на його сприйняття. Однак, якщо реклама занадто часто повторюється, це може спричинити надокучливість.

Ще одна особливість рекламного тексту полягає в тому, що він часто поєднує вербальні елементи з аудіовізуальними. Це дозволяє створювати цілісне враження і залучати увагу споживача. Наприклад, в рекламі можуть використовуватися звукові ефекти, музика, графіка, які доповнюють текст і роблять його більш ефективним. Такий поєднаний підхід називають «креолізацією», коли вербальний і візуальний засоби мають рівнозначне значення і спільно створюють повний образ.

Ці дві особливості, повторюваність і креолізація, допомагають рекламі бути ефективною та привертати увагу аудиторії.

Текст рекламного повідомлення є посередником між учасниками комунікації (адресантом і адресатом), несучи поряд із вербальною також і невербальну (образну, метафоричну) інформацію, запрограмовану для впливу на адресата. Саме той продукт, реклама якого націлена на пробудження в людей певних образів та емоцій, навіювання деяких загальних станів має найкращі шанси на ринку. Про намір донести невербальну інформацію до адресата свідчить включення в структуру тексту слів вказівок (ключових слів).

Характерним для рекламних текстів є використання лексем, які можуть відноситися до різних лексичних реєстрів. Наприклад, в одному рекламному повідомленні можна зустріти поєднання лексичних одиниць з нейтральним, побутово-розмовним, науковим забарвленням тощо. Ще один зі способів надати рекламному повідомленню більш особистий характер полягає у вживанні займенників, що позбавляє рекламне повідомлення «анонімності» і, так би мовити, об'єднує творця рекламного повідомлення і адресата. Серед них активного застосування зазнають особові та присвійні займенники. Широке використання займенників у рекламному тексті надає тексту реклами форми діалогу, комунікативний ефект якого досягається за рахунок звернення не до невизначеної кількості реципієнтів взагалі, а до кожної окремої людини, яка входить у цільову групу потенційних покупців рекламного продукту.

Рекламне повідомлення формується з двох базових складових: вербальної та невербальної. Говорячи про вербальну складову, вона може бути продемонстрована у вигляді зображення – друкованого тексту, а також, бути озвученою для сприйняття на слух – реклама по телевізору та радіо. Вербальна частина рекламного повідомлення знаходить вираження у таких чотирьох структурних частинах: слоган (реklamний лозунг), заголовок, основний рекламний текст. Структуру тексту може бути підкреслено такою стилістичною фігурою, як інверсія. Вона являє собою незвичне розташування слів у реченні з очевидним порушенням синтаксичної конструкції, що використовується задля емоційно-смыслового увиразнення певного вислову. Таким чином, за допомогою інверсії створюються додаткові смислові та виразні відтінки, змінюється експресивна функція того чи іншого члена речення.

Отже, рекламний текст не є тотожним зі звичайним текстом. Доказом цьому слугує його галузева приналежність. Адже коли ми говоримо про рекламну сферу, ми повинні розуміти, що вона, не дивлячись на чітко визначені правила її організації та функціонування, є дуже широким полем для прояву всілякої творчості. Це безумовно пов'язано з тим, що вона орієнтована на те, щоб викликати конкретні емоції і враження, помістити реципієнта під вплив, що дозволить керувати ним через рекламні повідомлення. Для посилення образності і експресивності вдало застосовується лексична та структурна різноманітність. Одиниці як семантичного, так і композиційного рівня рекламного тексту перебувають у взаємозв'язку та взаємозумовленості. Вони складають повноцінну картину і працюють на одну мету.

Тому рекламні повідомлення сьогодні, під час активної фази війни, стали зброєю в руках кіберзлочинців та ворожих інформаційних структур впливу на соціальне середовище міст та сіл, окупованих ворогом територій. Але окрім безпосереднього впливу на соціальні об'єкти та структури, інформаційні повідомлення у вигляді рекламних оголошень, також впливають на широкі верстви населення, об'єднані спільними інтересами через соціальні мережі, за допомогою мережі Інтернет. У наш час зростає кількість таких тривожних повідомлень у вигляді реклами, які діють на підсвідомість людини і викликають в неї негативні емоції. Реклама, яка мала б слугувати для поширення інформації позитивного типу для залучення та мотивації осіб до купівлі товарів чи послуг, під час зростання загроз та кібератак все більше набуває негативного характеру. Так рекламні повідомлення, окрім психологічного впливу на соціальні групи чи регіони з населенням для вирішення зловмисником різноманітних політичних цілей, можуть містити елементи фішингових атак, або атак соціального інжинірингу. На жаль, у наш час такі методи агентів

негативного впливу на соціальні об'єкти та структури ще мало досліджені і потребують аналізу, враховуючи сучасні реалії та технології інформаційної війни та інформаційного простору в мережі Інтернет.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Проаналізовано сутність поняття «соціальна комунікація», дано її особливості та наведено методи такої соціальної комунікації. Виявлено основні напрямки соціальної взаємодії груп людей, об'єднаних спільними інтересами, територіями, мовою, вірою, етносом. В результаті зовнішніх негативних факторів, які впливають на соціальну взаємодію людей, в умовах дії активних загроз та кібератак, виникають соціальні ризики, які можуть призвести до дезорієнтації суспільства, панічних та тривожних настроїв, які зловмисники можуть використати для руйнування цілісних гармонійних зв'язків між соціальними структурами та відхилення їх від цілеорієнтації та стратегії державного будівництва.

Досліджено методи психологічного впливу на населення в умовах інформаційної війни і обґрунтовано, що одним із важливих елементів впливу на соціальні суб'єкти та структури є інформаційні рекламні повідомлення у вигляді текстів або мультимедійних засобів. Наповнюючи потрібним змістом рекламні повідомлення, що передаються різноманітними комунікаційними потоками, можливо подавати суспільству не лише знання про навколишню дійсність, але й цілеспрямовано формувати емоційні та поведінкові стереотипи, внутрішню картину світу людей, своєрідні когнітивно-поведінкової матриці, на основі яких і відбувається зовнішній вплив на соціальні об'єкти та структури.

Наголошено, що для збільшення рівня впливу рекламних повідомлень на соціальні об'єкти характерними є певні семантичні та структурні особливості, що визначаються особливостями текстів реклами. На лексичному рівні вони проявляються у використанні прийому відхилення від мовної норми, запозичень, гри слів, фразеологізмів, географічних реалій, імен популярних особистостей та вказівок на історію народу, його традиції і звичаї. Важливу роль відіграє також вибір частин мов, які будуть використані в повідомленні, а також використання дезінформації з метою агресивного впливу на соціальні структури, що потребує подальших досліджень.

Література

1. Воротинський В. В. Чутки як інструмент політичного маніпулювання в Інтернеті (на прикладі ситуації в Україні 2014 – початку 2015 років). *Сучасне суспільство*. 2015. Вип. 2 (1). С. 4–12.
2. Горностаї П. П. Групова взаємодія у світлі психологічних парадигм. *Наук. студії із соц. та політ. психології: зб. статей / НАПН України, Ін-т соц. та політ. психології; [ред. М. М. Слюсаревський, В. Г. Кремень, С. Д. Максименко та ін.]* К.: Міленіум, 2015. Вип. 35 (38). С. 113–126.
3. Городнюк Л. Інформаційно-психологічний тиск при формуванні світогляду. У пошуку нових сенсів полікультурного світу. *Повоєнний діалог культур: матеріали Міжнародної наук. – практ. конф.* Київ: НАКККіМ, 2023. С. 129–132.
4. Данильян О. Г., Дзьобань О. П. Інформаційна війна у медіапросторі сучасного суспільства. *Вісник НЮУ імені Ярослава Мудрого. Філософія, філософія права, політологія, соціологія*. Харків: Вид-но НЮУ імені Ярослава Мудрого, 2022. № 3. С. 11–29.
5. Діденко М., Зелінська О. Інформаційно-психологічний вплив на людей під час війни. *Вісник студентського наукового товариства ДонНУ імені Василя Стуса*. Вінниця: Вид-но ДонНУ імені Василя Стуса, 2022. Том 1. № 14. С. 211–214.
6. Дрогомирецький Б. Сучасна гібридно-інформаційна війна: історіографічний вимір. *Актуальні питання гуманітарних наук*. 2022. Вип. 48 (1). С. 11–17.
7. Кіца М. О. Фейкова інформація в українських соціальних медіа: поняття, види, вплив на аудиторію. *Наукові записки Української академії друкарства*. 2016. № 1. С. 281–287.
8. Кобільник Б. Ю., Гіzur А. І. Роль інформаційно-психологічних впливів у інформаційній війні. *Актуальні задачі та досягнення у галузі кібербезпеки: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції (Кропивницький, 23–25 листопада 2016 року)*. Кропивницький, 2016. С. 28–29.
9. Ковальова О. Політичний дискурс: сучасні лінгвістичні інтерпретації. *Актуальні питання гуманітарних наук*. 2020. Вип. 27. Т. 2. С. 101–107.
10. Краснопольська Т. М., Милосердна І. М. Цифрові технології в механізмі взаємодії громадянського суспільства та держави. *Актуальні проблеми політики: зб. наук. пр.* 2021. Вип. 67. Одеса. С. 68–74.
11. Кривцов, В. Ю. Інформаційні заходи оборони держави в сучасних умовах. *Часопис Київського університету права*, 2023. № 1, С. 30–33. <https://doi.org/10.36695/2219-5521.1.2023.05>.
12. Кройтор А. В. Технології маніпуляції у конструюванні інформаційного порядку денного. *Актуальні проблеми політики: зб. наук. пр.* 2018. Вип. 62. С. 36–43.
13. Курбан О. В. Стратегія та тактика сучасної інформаційної активності у соціальних мережах. *Вісник книжкової палати*. 2014. № 9. С. 42–45.

14. Пахота Н. В. Інформаційні війни у сучасних міжнародних відносинах. *Бізнес Інформ.* 2022. № 1. С. 53–58.
15. Петришин Г. Р. Інформаційний тероризм: джерела формування та активізації в Україні. *Науковий журнал «Габітус»*. Одеса: Гельветика, 2021. Вип. 21. С. 44–50.
16. Проноза І. І. Інформаційно-психологічні війни як механізм управління суспільно-політичною свідомістю. *Сучасна українська держава: вектори розвитку та шляхи мобілізації ресурсів: матеріали П'ятої Всеукраїнської науково-практичної конференції*, м. Одеса, Центр соціально-політичних досліджень «Politicus», 2020. С. 46–50.
17. Самчинська О. А., Фурашев В. М. Інформаційне насильство, інформаційна маніпуляція та пропаганда: поняття, ознаки та співвідношення. *Інформація і право.* 2021. №1 (36). С. 55–65.
18. Сасин Г. В. Інформаційна війна: сутність, засоби реалізації, результати та можливості протидії (на прикладі російської експансії в український простір). *Грані.* 2015. № 3 (119). С. 18–23.
19. Свідерська О. І., Чорній О. В. Астротерфінг як інструмент психологічного впливу на масову свідомість. *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна, серія «Питання політології»*, вип. 39, 2021. С. 71–79.
20. Твердохліб Ю. М. Теоретичні підходи до дослідження інформаційно-психологічних операцій. *Епістемологічні дослідження в філософії, соціальних і політичних науках.* 2 (2). 2019. С. 122–131.
21. Шевчук Є. Засоби масової інформації як фактор формування світогляду людей в сучасних реаліях. *Політ. Сучасні проблеми науки: Матеріали наукової конференції*. Київ: НАУ, 2023. С. 176–178.
22. Шерешкова І. І. Потенціал соціальних комунікацій для здійснення інформаційно-психологічних операцій. *Збірник тез доповідей підготовлено за матеріалами Міжнародної наукової інтернет-конференції (випуск 74) 6–7 лютого 2023 р.* С. 79–84.

References

1. Vorotynskyj, V. V. (2015). Chutky jak instrument politychnogo manipuljuvannja v Interneti (na pryklady situacii v Ukrajinі 2014 – pochatku 2015 rokov). *Suchasne suspilstvo.* 2 (1). 4–12.
2. Ghomostaj, P. P. (2015). Ghrupova vzajemodija u svitli psykhologichnykh paradyghm. *Nauk. studiji iz soc. ta polit. psykhologhiji: zb. statej / NAPN Ukrajinu, In-t soc. ta polit. psykhologhiji*; [red. M. M. Sljusarevskyj, V. Gh. Kremenj, S. D. Maksymenko ta in.] K.: Milenium, 35 (38). 113–126.
3. Ghorodnjuk, L. (2023). Informacijno-psykhologichnyj tysk pry formuvanni svitoghlyjadu. U poshuku novykh sensiv polikulturnogo svitu. *Povovennyj dialog kuljur: materialy Mizhnarodnoi nauk. – prakt. konf.* Kyjiv: NAKKKiM, 129–132.
4. Danyljjan, O. Gh., Dzjobanj O. P. (2022). Informacijna vijna u mediaprostori suchasnogo suspilstva. *Visnyk NJuU imeni Jaroslava Mudrogho. Filosofija, filosofija prava, politologhija, sociologhija.* Kharkiv: Vyd-no NJuU imeni Jaroslava Mudrogho, 3. 11–29.
5. Didenko, M., Zelinsjka O. (2022). Informacijno-psykhologichnyj vplyv na ljudej pid chas vijny. *Visnyk studentskoghо naukovoghо tovarystva DonNU imeni Vasylja Stusa.* Vinnycja: Vyd-no DonNU imeni Vasylja Stusa, 1. 14. 211–214.
6. Droghomyrecykj, B. (2022). Suchasna ghibrydno-informacijna vijna: istoriografichnyj vymir. *Aktualjni pytannja ghumanitarnykh nauk.* 48 (1). 11–17.
7. Kica, M. O. (2016). Fejkova informacija v ukrajinsjkykh socialjnykh media: ponjattja, vydy, vplyv na audytoriju. *Naukovi zapysky Ukrajinjskoji akademiji drukarstva.* 1. 281–287.
8. Kobiljnyk, B. Ju., Ghizur A. I. (2016). Rolj informacijno-psykhologichnykh vplyviv u informacijnij vijni. *Aktualjni zadachi ta dosjaghnennja u ghaluzi kiberbezpeky: Materialy Vseukrajinskoji naukovо-praktychnoji konferenciji* (Kropyvnyckyj, 23–25 lystopada 2016 roku). Kropyvnyckyj. 28–29.
9. Kovaljova, O. (2020). Politychnyj dyskurs: suchasni linghivistychni interpretacii. *Aktualjni pytannja ghumanitarnykh nauk.* 27., 2. 101–107.
10. Krasnopoljsjka, T. M., Myloserdna I. M. (2021). Cyfrovi tekhnologhiji v mekhanizmi vzajemodiji ghomadjanskoghо suspilstva ta derzhavy. *Aktualni problemy polityky: zb. nauk. pr.* 67. Odessa. 68–74.
11. Kryvcov, V. Ju. (2023). Informacijni zakhody oborony derzhavy v suchasnykh umovakh. *Chasopys Kyjivskoghо universytetu prava,* 1, 30–33. <https://doi.org/10.36695/2219-5521.1.2023.05>.
12. Krojtor, A. V. (2018). Tekhnologhiji manipuljacii u konstrujuvanni informacijnogho porjadku dennogho. *Aktualni problemy polityky: zb. nauk. pr.* Vyp. 62. 36–43.
13. Kurban, O. V. (2014). Strateghija ta taktyka suchasnoji informacijnoji aktyvnosti u socialjnykh merezhakh. *Visnyk knyzhkovoji palaty.* 9. 42–45.
14. Pakhota, N. V. (2022). Informacijni vijny u suchasnykh mizhnarodnykh vidnosynakh. *Biznes Inform.* 1. 53–58.
15. Petryshyn, Gh. R. (2021). Informacijnyj teroryzm: dzherela formuvannja ta aktyvizacii v Ukrajinі. *Naukovyj zhurnal «Ghabitus»*. Odessa: Gheljvetyka, 21. 44–50.
16. Pronoza, I. I. (2020). Informacijno-psykhologichni vijny jak mekhanizm upravlinnja suspiljno-politychnoju svidomistju. *Suchasna ukrajinsjka derzhava: vektory rozvytku ta shljakhy mobilizacii resursiv: materialy P'jatoji Vseukrajinskoji naukovо-praktychnoji konferenciji*, m. Odessa, Centr socialjno-politychnykh doslidzhenj «Politicus», 46–50.
17. Samchynsjka, O. A., Furashev V. M. (2021). Informacijne nasyljstvo, informacijna manipuljacija ta propaghanda: ponjattja, oznaky ta spivvidnoshennja. *Informacija i pravo.* (36). 55–65.
18. Sasyn, Gh. V. (2015). Informacijna vijna: snistnij, zasoby realizacii, rezuljtaty ta mozhyvosti protydiji (na prykladi rosijjskoji ekspansiji v ukrajinsjkyj prostir). *Ghrani.* 3 (119). 18–23.
19. Svidersjka, O. I., Chornij O. V. (2021). Astroterfingh jak instrument psykhologichnogho vplyvu na masovu svidomistj. *Visnyk KhNU imeni V. N. Karazina, serija «Pytannja politologhiji»*, 39. 71–79.
20. Tverdokhlіb, Ju. M. Teoretychni pidkhydy do doslidzhennja informacijno-psykhologichnykh operacij. *Epistemologichni doslidzhennja v filosofiji, socialjnykh i politychnykh naukah.* 2 (2). 2019. S. 122–131.
21. Shevchuk, Je. (2023). Zasoby masovoji informacii jak faktor formuvannja svitoghlyjadu ljudej v suchasnykh realijakh. *Polit. Suchasni problemy nauky: Materialy naukovoji konferenciji.* Kyjiv: NAU. 176–178.
22. Sheresjkova, I. I. (2023). Potencial socialjnykh komunikacij dlja zdijsnennja informacijno-psykhologichnykh operacij. *Zbirnyk tez dopovidej pidgotovleno za materialamy Mizhnarodnoi naukovoji internet-konferenciji* (vypusk 74). 79–84.

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-44>

УДК 004.94

САКОВИЧ Богдан

Херсонський національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-8863-0343>

ЖАРИКОВА Марина

Херсонський національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0001-6144-480X>

ІМОВІРНІСНА ГРАФІЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦІНКИ РИЗИКІВ ПОШКОДЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ВІД РУЙНІВНИХ ПРОЦЕСІВ

У цій роботі запропоновано сучасний підхід до моделювання руйнівних процесів на основі байєсівських мереж для оцінки об'єктів критичної інфраструктури з множинними ризиками, з акцентом на руйнівні процеси, такі як бомбардування та кіберзагрози. Модель класифікує ризики на два рівні: низький і високий, і використовує ці класифікації для прогнозування потенційної шкоди інфраструктурі.

Ключові слова: модель, Баєсова мережа, об'єкти критичної інфраструктури, спрямований ациклічний граф, спрямована графічна модель, руйнівний процес, ризик, загроза.

SAKOVYCH Bohdan, ZHARIKOVA Maryna

Kherson National Technical University

PROBABILISTIC GRAPHICAL MODEL FOR ASSESSING THE RISKS OF DAMAGE TO CRITICAL INFRASTRUCTURE FACILITIES FROM DESTRUCTIVE PROCESSES

In this work, the process of modelling the destructive processes, risk of their emerging, and damage probability was described. The modelling displayed a method to assess the risk of damage to critical infrastructure facilities. The destructive processes were independent but may be simultaneous, which is crucial to take into account while modelling. This paper presents a novel Bayesian network approach for assessing multi-risk critical infrastructure, focusing on the risks posed by bombardment and cyber threats. The model classifies risks into two levels: low and high, and uses these classifications to predict potential infrastructure damage. The Bayesian network is constructed with four nodes representing bombardment (B), cyber-threats (C), and damage (D) to infrastructure (I). This study presents a comprehensive risk analysis model for crisis management, which covers pre-crisis, response, and post-crisis stages, evaluating risk distinctly in each. The model hypothesises that risk fluctuates based on multi-hazard processes and can be evaluated for each vulnerable object. Risk dimensions include the probability of threat, target attributes, and accessibility to threat-creating actors. A multi-hazard risk assessment is represented as a combination of these components, providing a dynamic risk rating for each entity. This aids in informed decision-making throughout the crisis management cycle and allows for a comprehensive understanding of the system's risk profile, taking into account the complex interplay of different risk factors. It provides a robust framework for risk assessment in complex systems and offers valuable insights for decision-makers in critical infrastructure protection, enabling them to make informed decisions about resource allocation, risk mitigation strategies, and emergency response planning.

Keywords: model, Bayesian network, critical infrastructure, directed acyclic graph, directed graphical model, destructive process, risk, threat.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

З моменту повномасштабного вторгнення російських військ в Україну численні будівлі, мости, залізниці, дамби та інші об'єкти критичної інфраструктури зазнали численних ризиків, пошкоджень і руйнувань, не кажучи вже про жахливі наслідки, такі як жертви, руйнування, невизначеність і біженці. Від самого початку вторгнення війська почали сіяти хаос і руйнування, посягаючи не лише на військові об'єкти, а й на житлові райони, торгові центри, заправки та об'єкти критичної інфраструктури [1]. Триваюча війна також загострює екологічні та природоохоронні проблеми, такі як глобальне потепління, засуха, численні лісові та степові пожежі, забруднення річок та озер, і навіть створює серйозну загрозу захворювань через антисанітарію та сміття, що призводить до жахливих наслідків. Більше того, існують не лише фізичні руйнівні процеси, а й «віртуальні». Так, чимало об'єктів критичної інфраструктури піддаються атакам хакерів і шахраїв, які прагнуть порушити цілісність системи та знеструмити цілі регіони і міста. Цифрові або кіберзагрози представляють собою тип, коли зловмисник поєднує два або більше способів вчинення кіберзлочину [2, 3].

Усі вищезазначені процеси становлять значну частину глобального масштабу. Як правило, вони зосереджені на підриві обороноздатності та цілісності країни. До слова, Європейський Союз розробляє визначені методи оцінки ризиків, щоб належним чином інформувати відповідні сили та представників про

ризиків, що виникають у зв'язку з цими загрозами. Мета полягає в тому, щоб оцінити ступінь ризику різноманітних загроз і передати їх до систем раннього попередження і механізмів оцінки ризиків. Ці загрози можуть бути одночасними і різними, наприклад, бомбардування, кіберзагрози та обстріли (Рис.1).

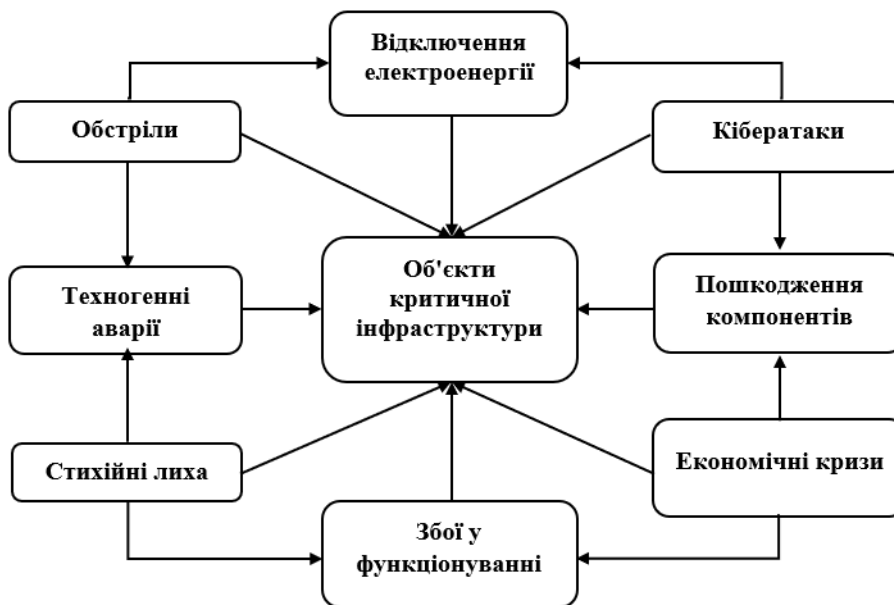


Рис. 1. Взаємозв'язок руйнівних процесів та їхніх наслідків

Вони вважаються руйнівними процесами, оскільки руйнують як критично важливу, так і цивільну інфраструктуру [4, 5, 6]. З цієї причини дуже важливо передбачати ризики та упереджувати майбутні загрози шляхом запобігання, пом'якшення наслідків та забезпечення готовності до них аж до етапу реагування на надзвичайні ситуації та створенні планів щодо відновлення об'єктів. Однак, коли існує ризик виникнення руйнівних процесів, це може призвести до численних взаємозв'язків останніх, які спричиняють та доповнюють одне одного, що називається ефектом доміно, або каскадним ефектом, і пояснюється різними вченими. Наступний розділ присвячений аналізу відповідних досліджень.

Аналіз досліджень та публікацій

Оцінкою та аналізом мультиризиків займаються багато вчених, і наші вітчизняні дослідники також виконали певні дослідження. Так, у статті [3] висвітлено проблему аналізу та управління ризиками, пов'язаними з множинними небезпеками. У цій роботі автори визначають деякі прогалини в існуючих дослідницьких проектах зі зниження ризику руйнівних процесів. Вони використали абсолютно новий підхід до аналізу ризиків, який розглядає всі компоненти ризиків з просторовою прив'язкою. Ризик представлений у вигляді наступних компонентів: характеристики небезпеки (небезпека, інтенсивність, площа, на яку впливає небезпека), характеристики вразливого об'єкта (місцезнаходження, вразливість і швидкість відновлення), а також просторово-часова загроза, що вимірюється часом, необхідним для того, щоб небезпека досягла об'єкта. Пропонується представити ризик небезпеки в динаміці як такий, що проходить наступні три стадії: потенційний ризик, ризик загрози та руйнування, відповідно. Індивідуальний ризик представляється у вигляді траєкторії в n -вимірному просторі його параметрів, а множинний ризик оцінюється за допомогою операції взяття максимуму. Запропонований підхід до аналізу ризиків дозволяє діагностувати ситуацію та приймати рішення протягом усього циклу управління ризиками, а також на стадії раннього попередження та реагування.

У дослідженні [4] представлено подієво-орієнтовану просторово-розподілену динамічну модель мультизагрозливого ризику для об'єктів критичної інфраструктури. Модель базується на тривірневій просторовій моделі, а також динамічних моделях соціально-економічної системи, вразливості та подієвій сценарній моделі небезпечного процесу, що ґрунтується на використанні кейс-підходу для накопичення та зберігання сценаріїв динаміки різних небезпек та мултинебезпек, їх комбінацій та ланцюжків. Кожен випадок може бути представлений як послідовність подій, занурених у певний контекст, де кожна подія може ініціювати сценарії, що описують динаміку мултинебезпек. Автори стверджують, що ризик для певного об'єкта в певний момент часу є комбінацією стану об'єкта (i), загрози (ii), вразливості об'єкта (iii) та потенційної шкоди (iv).

У роботі [5] зазначається, що загрози для критичної інфраструктури можна розділити на три категорії: природні загрози (i), антропогенні (ii) та технічні (iii). Природні загрози, як правило, включають

погодні проблеми, а також геологічні небезпеки, такі як землетруси, цунамі, зсуви ґрунту та виверження вулканів. Вони можуть суттєво вплинути на ОКІ, особливо на транспортний сектор.

Автори роботи [13] оцінили множинні ризики глобальної портової інфраструктури на рівні активів у світлі численних небезпек, кількісно оцінивши ризики пошкодження фізичних активів і логістичних послуг (портовий ризик) та ризики для морських торговельних потоків (торговельний ризик). Дослідники виявили, що майже 86% усіх портів піддаються впливу більш ніж трьох небезпек. Таким чином, автори визначили кілька проблем, які перешкоджають розширенню детального аналізу ризиків до глобального масштабу. По-перше, порти можуть постраждати від кількох різних небезпек, які впливають на інфраструктуру та роботу порту, що ускладнює аналіз ризиків. Окрім впливу на самі портові активи (крани, термінали), порти вбудовані в локальні мережі критичної інфраструктури, такі як залізниця, дороги, а пошкодження електрики може зупинити роботу порту, навіть якщо сам порт не постраждав. Крім того, в роботі [14] автори провели дослідження, в якому інформація про небезпеку може сприяти ефективному реагуванню громадськості і, як наслідок, зменшенню травм і смертельних випадків шляхом складання рекомендацій щодо розробки дієвих і зрозумілих попереджувальних повідомлень про різні види небезпеки. Автори розробили різноманітні огляди та повідомлення про небезпеку, які були визначені під час п'яти віртуальних семінарів, проведених із експертами з різних галузей, а також опитування громадськості, щоб перевірити, чи підвищують наші розробки наміри людей діяти і чи допомагають їм правильно інтерпретувати подану інформацію. На протипагу цьому, огляди небезпек із зазначенням часу та дій значно покращили розуміння людьми того, чи варто їм вживати негайних заходів. Більше того, додавання піктограми із зазначенням часу та дій до повідомлення про небезпеку значно підвищувало намір людей вжити заходів. Як у випадку з оглядами небезпеки, так і з повідомленнями, було виявлено, що намір людей діяти пропорційний серйозності та терміновості небезпеки, а також залежить від різних особистих факторів, таких як минулий досвід зіткнення з небезпекою. Отже, надання інформації на платформах, що відображають різні види небезпек, більш придатної для вжиття заходів, може спонукати громадськість до реагування і, в свою чергу, підвищити стійкість суспільства до катастроф. У роботі [15] пропонується тривірнева система оцінки мультиризиків, яка враховує можливі взаємодії між загрозами і ризиками. Перший рівень являє собою блок-схему, яка допомагає користувачам визначити, чи потрібен підхід, що враховує множинні загрози та ризики. Другий рівень - це напівкількісний підхід, який дозволяє визначити, чи потрібна більш детальна кількісна оцінка. Зрештою, третій рівень включає детальний кількісний аналіз множинних ризиків на основі баєсівських мереж.

Моделювання руйнівних процесів та оцінка ризиків

Існує низка методів, що відображають взаємодію та взаємозв'язок між небезпеками. Класифікація - це частина аналізу даних і розпізнавання образів, яка вимагає присвоєння класу описаним екземплярам за набором атрибутів і може бути реалізована різними способами, починаючи від дерев рішень, графів, списків, нейронних мереж, випадкових лісів і закінчуючи k -найближчими класифікаторами. Одним із найефективніших класифікаторів, у тому сенсі, що його прогностичні характеристики є конкурентоспроможними з найсучаснішими класифікаторами, є так званий «наївний баєсівський класифікатор», який навчається на основі навчальних даних, умовної ймовірності кожного атрибуту A_i з міткою класу C . Класифікація потім виконується шляхом застосування правила Баєса для обчислення ймовірності конкретного примірника $C A_1, \dots, A_n$, а потім прогнозування класу з найвищою апостеріорною ймовірністю. Це обчислення стає можливим завдяки припущенню про сильну незалежність: всі атрибути A_i є безумовно незалежними за значенням класу C [7, 8].

Іншим баєсівським класифікатором є баєсівська мережа (БМ) або спрямована графічна модель (СГМ), що представляє собою спільний розподіл ймовірностей набору випадкових величин з можливими причинно-наслідковими зв'язками. Мережа складається з вузлів, що представляють випадкові величини, ребер між парами вузлів, що представляють причинно-наслідкові зв'язки, і умовного розподілу ймовірностей у кожному вузлі. Основною метою методу є моделювання апостеріорного умовного розподілу ймовірностей змінної після спостереження нових даних. Баєсівські мережі можуть бути побудовані або вручну зі знанням базової предметної області, або автоматично з великого набору даних за допомогою, наприклад, бібліотек Python.

Баєсівські мережі [16-19] широко використовуються для представлення причинно-наслідкових зв'язків між небезпеками. Це статистичні моделі (ймовірнісні графічні моделі), які використовують теорему Баєса для обчислення умовної ймовірності, пов'язаної з настанням події. БМ можна використовувати в будь-якій сфері, де необхідно моделювати невизначену реальність за допомогою ймовірностей, наприклад, в управлінні ризиками, страхуванні, прогнозуванні, моделюванні різних систем тощо [7, 8]. Однією з них є моніторинг та оповіщення про небезпеки та загрози за допомогою камер або датчиків, де дані з різних джерел можуть бути інтегровані, щоб отримати інтерпретацію отриманих даних. Наприклад, об'єднати дані з різних датчиків, кутів і роздільної здатності, щоб визначити, що відбувається на сцені, або ж промислові

датчики можуть повідомляти про стан машини, і повна картина з'являється лише тоді, коли всі вимірні значення об'єднані. Часто проблеми об'єднання датчиків мають справу з різною часовою або просторовою роздільною здатністю і вирішують «проблему відповідності», тобто визначають, які події з одного датчика відповідають тим самим подіям, про які повідомляють інші датчики. БМ досить стійкі до пропущених даних, тому вони переплітають інформацію, що означає, що кожен датчик має нескінченний шанс надати правильне зображення, отже, об'єднання шансів усіх датчиків зазвичай збільшує ймовірність правильної інтерпретації.

Традиційна баєсівська мережа [16-19] складається з набору змінних, умовні залежності яких представлені спрямованим ациклічним графом (САГ), що записується у вигляді $G = [V, D]$, що супроводжується набором таблиць умовних ймовірностей (ТУІ). САГ - це тип орієнтованого графа без спрямованих циклів, де цикл - це набір спрямованих ребер, що починається з вершини $v \in V$, і якщо слідувати за стрілками в їхньому напрямку, то врешті-решт можна повернутися до початкової вершини.

У БМ кожна вершина на орієнтованому графі відповідає випадковій величині, а кожне ребро означає статистичну залежність. Крім того, кожна вершина пов'язана з умовним розподілом ймовірностей відповідних випадкових величин, який залежить від її батьків у графі. Таким чином, якщо в графі G існує спрямоване ребро з вершини a до вершини b , то вершина a є батьком вершини b [16-19].

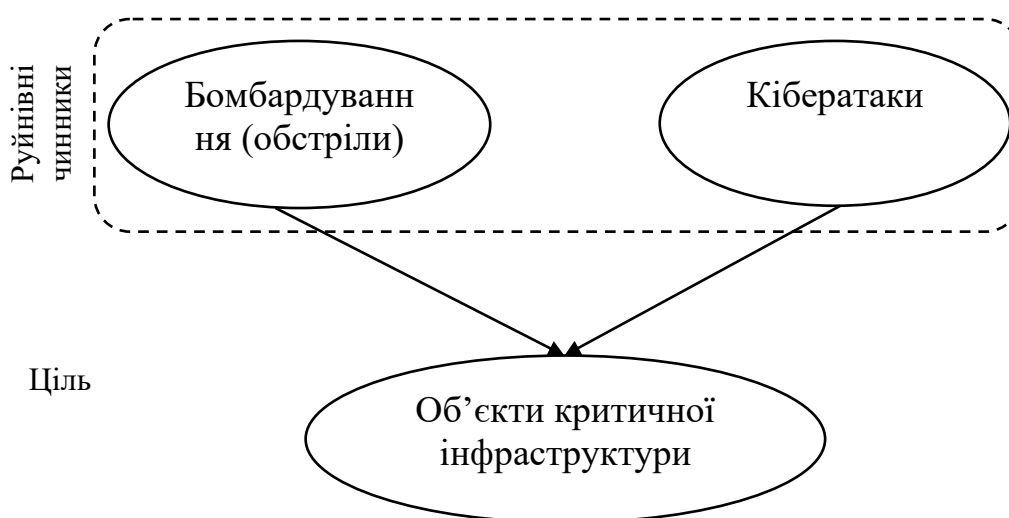


Рис. 2. Ймовірнісна модель із двома руйнівними процесами, що призводять до пошкодження об'єктів критичної інфраструктури

Два чинника в цьому прикладі вважаються незалежними, тобто між двома вершинами немає межі, але це припущення не є обов'язковим для загального випадку. Якщо в графі немає вузла, баєсівські мережі можуть відобразити стільки причинно-наслідкових зв'язків, скільки потрібно для точного опису реальної ситуації. Оскільки граф є ієрархічною структурою, використовуються такі терміни, як «батько», «нащадок» або просто конкретні вузли. Ймовірність випадкової величини графа залежить від його батьківських вершин:

$$P(A_1, \dots, A_x) = \prod_{i=1}^x P(A_i | Par(A_i))$$

Концепція БМ [16-19] побудована на теоремі Баєса [16, 17], яка допомагає виразити умовний розподіл ймовірності причини за даними спостережень за допомогою оберненої умовної ймовірності спостережуваних даних, наведених нижче. Теорема описує ймовірність гіпотези на основі певних спостережуваних даних у термінах попередньої ймовірності гіпотези та ймовірності даних, що підтверджують гіпотезу.

Наведена нижче модель відображає бомбардування (B), кібератаки (C), а також потенційну або вже завдану шкоду (D) об'єктам інфраструктури (I), в тому числі критично важливим об'єктам.

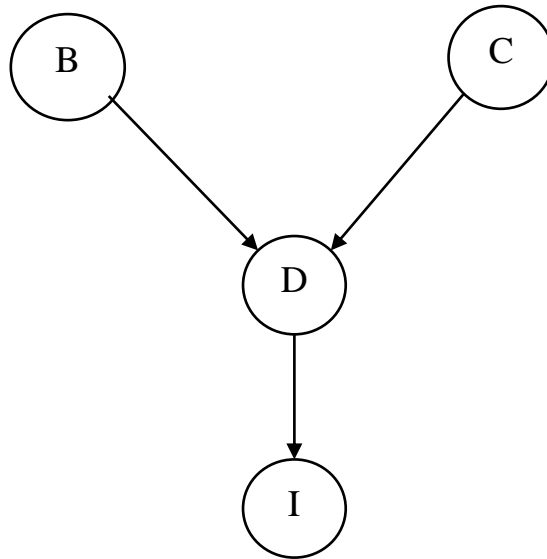


Рис. 3. Спрямована графічна модель для оцінки ризиків

Так, імовірнісний алгоритм для руйнівного процесу бомбардування (обстрілу) (В) побудований наступним чином:

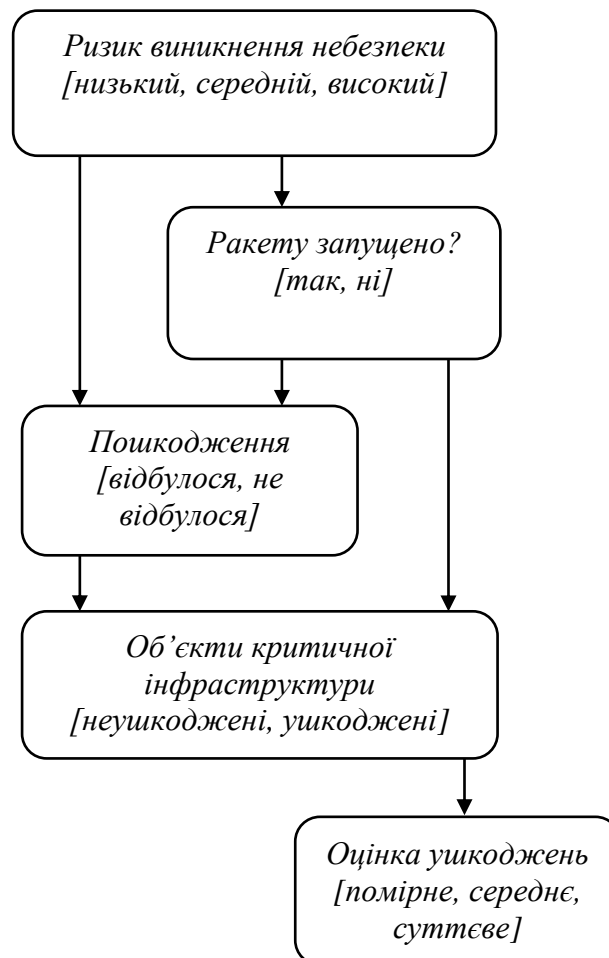


Рис. 4. Концепт мережі для процесу бомбардування

Змоделюємо це за допомогою баєсівської мережі (БМ). Припустимо, що ми маємо два рівні ризику: низький (0-0,5) і високий (0,5-1). Мета полягає у тому, щоб класифікувати ці ризики відповідно до їхньої інтенсивності, використовуючи метод класифікації. Створимо таблицю ймовірностей подій (див. Таблицю 1).

У цьому випадку можна застосувати теорему Баєса для моделювання ймовірності пошкодження інфраструктури (D) за умови виникнення повітряних бомбардувань (B) та кіберзагроз (C). Виразимо цю ймовірність як:

$$P(D|B, C) = \frac{P(B|D)P(C|D)P(D)}{P(B, C)}$$

де $P(D | B, C)$ - це апостеріорна ймовірність D для B і C , $P(D)$ - це попередня ймовірність D , $P(B | D)$ - це умовна ймовірність B для D , $P(C | D)$ - це умовна ймовірність C для D , і $P(B, C)$ - це спільна ймовірність B і C .

У БМ ми можемо представити ці ймовірності за допомогою таблиць умовних ймовірностей (ТУІ) і попередніх розподілів для змінних B , C і D . ТУІ визначають умовні ймовірності кожної змінної з урахуванням її батьків у мережі, тоді як останні представляють початкові ймовірності кожної змінної до того, як з'явилися будь-які дані.

Зокрема, баєсівська мережа для мультиризикового критичного порушення включає наступні компоненти:

змінна B представляє виникнення обстрілу, яка має попередній розподіл $P(B) = [0,6, 0,4]$ для низького та високого рівнів ризику;

змінна C представляє виникнення кіберзагроз, яка має попередній розподіл $P(C) = [0,7, 0,3]$ для низького та високого рівнів ризику;

змінна D відображає потенційну шкоду інфраструктурі, яка залежить як від B , так і від C .

Зокрема, ТУІ для D при заданих B і C визначає наступні ймовірності:

Таблиця 1

Таблиця умовних ймовірностей

B	C	D	P(D B,C)
Низький	Низький	Низький	0.9
Низький	Низький	Високий	0.1
Низький	Високий	Низький	0.5
Низький	Високий	Високий	0.5
Високий	Низький	Низький	0.1
Високий	Низький	Високий	0.9
Високий	Високий	Низький	0.2
Високий	Високий	Високий	0.8

Ця ТУІ визначає, що ймовірність пошкодження об'єктів інфраструктури залежить як від рівня бомбардувань, так і від кіберзагроз. Наприклад, якщо і B , і C низькі, то ймовірність того, що D буде низьким (low) становить 0,9, а ймовірність того, що D буде високим (high), - всього 0,1.

Використовуючи теорему Баєса, обчислимо апостеріорну ймовірність D , враховуючи конкретні значення B і C , на основі попередніх ймовірностей та умовних ймовірностей, зазначених у ТУІ. Наприклад, якщо видно, що і B , і C мають високий ризик виникнення, то є сенс обчислити апостеріорну ймовірність того, що D має становити низький ризик наступним чином:

$$P(D = Low | B = High, C = High) = P(D = Low)P(B = High | D = Low)P(C = High | D = Low) / (P(B = High, C = High))$$

На основі заданої моделі баєсівської мережі можна визначити спільний розподіл ймовірностей:

$$P(B, C, D) = P(B) * P(C) * P(D | B, C)$$

У наведеному вище виразі $P(B)$ і $P(C)$ - це граничні ймовірності вузлів B і C , а $P(D | B, C)$ - це умовна ймовірність D при заданих B і C . Тепер представимо це за допомогою таблиці ймовірностей (матриці ймовірностей). Припустимо, що кожна вершина може набувати лише двох значень: 0 або 1, що, відповідно, означає відсутність або наявність кожної події:

$$\begin{aligned} P(B = 0) &= 0.6, P(C = 0) = 0.8 \\ P(D = 0 | B = 0, C = 0) &= 0.9, P(D = 1 | B = 0, C = 0) = 0.1 \\ P(D = 0 | B = 0, C = 1) &= 0.3, P(D = 1 | B = 0, C = 1) = 0.7 \end{aligned}$$

$$P(D = 0 | B = 1, C = 0) = 0.2, P(D = 1 | B = 1, C = 0) = 0.8$$
$$P(D = 0 | B = 1, C = 1) = 0.01, P(D = 1 | B = 1, C = 1) = 0.99$$

Ця матриця дає повне уявлення про спільні ймовірності всіх можливих комбінацій B , C і D . Вона дозволяє розрахувати апостеріорну ймовірність завдання ушкодження D за будь-яких конкретних значень B і C .

Наступним кроком виступає оцінка ризиків. Комплексний підхід до оцінки ризиків охоплює всі три основні етапи антикризового управління, а саме докризовий етап, етап реагування та посткризовий етап. На кожному етапі ризик оцінюється по-різному, в результаті чого виділяється потенційний ризик (на докризовому етапі), активний ризик (на етапі реагування) та залишковий ризик (післякризовий етап). Така диференціація дозволяє ухвалювати більш обґрунтовані рішення щодо вжиття тих чи інших заходів протягом усіх етапів антикризового управління уповноваженим на це особам.

Ключовими атрибутами ризику в контексті цього дослідження є його динамічність та розподіл у просторі. Ми припускаємо, що ризик у кожній просторовій точці коливається залежно від впливу множинних руйнівних процесів. Окрім того, ми також припускаємо, що ризик може бути оцінений для кожної територіальної зони або кожного вразливого об'єкта, що формує його просторову прив'язку.

У фокусі аналізу ризику в поданій моделі - оцінка ймовірності ушкоджень через залучення цільового об'єкта (в даному випадку - об'єктів критичної інфраструктури). Ризик виникає унаслідок взаємодії численних загроз і цільових об'єктів, на які впливає загроза. У цьому контексті ризик має декілька вимірів:

- Ймовірність реалізації загрози, яка залежить від того, чи має суб'єкт конкретну ціль, і потенціал загрози, який залежить від наявності інструментів, що використовуються суб'єктом (якщо це можливо);
- Атрибути цілі, такі як вразливість об'єкта, потенційне ушкодження та швидкість відновлення;
- Доступність об'єкта для суб'єктів, що спричиняють загрозу.

З цього випливає, що оцінка ризиків, пов'язаних із множинними загрозами, може бути представлена як комбінація наступних компонентів:

- Оцінка ймовірності виникнення загрози (P_T);
- Оцінка потенціалу загрози (E_T);
- Доступність об'єкта для суб'єкта (A_O);
- Вразливість об'єкта (V_O);
- Швидкість відновлення об'єкта (S_R^O).

Наприклад, якісна оцінка ризику для цілі в будь-який момент часу t буде точкою або областю в n -вимірному просторі якісних значень компонентів мультиризиків:

$$R(t) = (P_T, E_T, A_O, V_O, S_R^O).$$

Ця оцінка є динамічною і може бути присвоєна кожному вразливому об'єкту та територіальній одиниці.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Представлено імовірнісну графічну модель для оцінки ризиків пошкодження об'єктів критичної інфраструктури від руйнівних процесів. Сучасний метод оцінки ризиків є корисним для моделювання сценарію множинних ризиків пошкодження інфраструктури внаслідок руйнівних процесів і дозволяє врахувати попередні знання як щодо ризиків, так і їхніх взаємозалежностей, а також внести ясність щодо ушкодження, що може бути завдане. Це, в свою чергу, може допомогти у розробці стратегій зменшення ризиків та розподілу ресурсів для захисту об'єктів критичної інфраструктури. Модель на основі мережі Баєса забезпечує базову основу для моделювання руйнівних процесів і ризиків від них. Подальша робота охоплюватиме вдосконалення моделі, вивчення додаткових методів класифікації, оцінку підходів до попередньої обробки даних, а також можливе включення моделі в програмну складову.

Література

1. HYPR. What is a hybrid attack [Електронний ресурс] / HYPR. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://hypr.com/security-encyclopedia/hybrid-attack>.
2. Joint Framework on countering hybrid threats a European Union response [Електронний ресурс] / European Commission. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52016JC0018>.
3. Spatially-Distributed Multi-Hazard Risk Analysis [Електронний ресурс] / M. Zharikova, G. Barbeito, M. S. Nistor, S. W. Pickl. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://ceur-ws.org/Vol-3101/Paper6.pdf>.

4. Event-Based Spatially Distributed Multi-Risk Analysis / M. V. Zharikova, V. G. Sherstjuk // Conf. Comput. Sci. Inf. Technol. – Springer, Cham, 2020. – DOI: 10.1109/CSIT49958.2020.9321990.
5. Modeling Hybrid Attacks and Operations to Assess the Threats in Early Warning Systems / V. Sherstjuk та ін. // 12th Int. Conf. Adv. Comput. Inf. Technol. (ACIT). – Ruzomberok, Slovakia, 2022. – С. 39-44. – DOI: 10.1109/ACIT54803.2022.9913106.
6. An event-triggered approach to security control for networked systems using a hybrid attack model / J. Liu та ін. // Int. J. Robust Nonlinear Control. – 2021. – Т. 31, № 12. – С. 5796-5812. – DOI: 10.1002/rnc.5570.
7. Strategic Compass [Електронний ресурс] / Council of the European Union. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-7371-2022-INIT/en/pdf>.
8. The Landscape of Hybrid Threats: A Conceptual Model (Public Version) / P. Cullen та ін. – Publ. Off. Eur. Union, 2021. – EUR 30585 EN. – ISBN 978-92-76-29819-9. – DOI: 10.2760/44985.
9. A Hybrid Model for Information Security Risk Assessment / S. Haji, Q. Tan, R. Soler Costa // Int. J. Adv. Trends Comput. Sci. Eng. – 2019. – Т. 8, № 1. – С. 100-106. – DOI: 10.30534/ijatcse/2019/1981.12019.
10. Hybrid Risk Assessment Model based on Bayesian Networks / F. Aguessy та ін. // Proc. 11th Int. Workshop Secur. (IWSEC 2016). – Tokyo, Japan, 2016. – С. 21-40. – DOI: 10.1007/978-3-319-44524-3_2.
11. The Role of Context for Crisis Management Cycle / F. Aligne, J. Mattioli // Supporting Real Time Decision-Making (Annals of Information Systems 13) / F. Burstein та ін. (Eds.). – Springer, New York, 2010. – С. 113-132. – DOI: 10.1007/978-1-4419-7406-8_6.
12. Common threats and vulnerabilities of critical infrastructures / R. J. Robles та ін. // Int. J. Control Autom. – 2008. – Т. 1, № 1. – С. 17-22.
13. Multi-Hazard Risk to Global Port Infrastructure and Resulting Trade and Logistics Losses / J. Verschuur та ін. // Commun. Earth Environ. – 2023. – Т. 4, № 5. – DOI: 10.1038/s43247-022-00656-7.
14. Actionable and understandable? Evidence-based recommendations for the design of (multi-) hazard warning messages / I. Dallo, M. Stauffacher, M. Marti // Int. J. Disaster Risk Reduct. – 2022. – Т. 74. – С. 102917. – DOI: 10.1016/j.ijdrr.2022.102917.
15. A three-level framework for multi-risk assessment / Z. Liu та ін. // Georisk: Assess. Manag. Risk Eng. Syst. Geohazards. – 2015. – Т. 9, № 2. – С. 59-74. – DOI: 10.1080/17499518.2015.1041989.
16. Introduction to Artificial Intelligence with Python (CSCI E-80) [Електронний ресурс] / Harvard Extension School. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://cs50.harvard.edu/extension/ai/2020/fall/notes/2/>.
17. Bayesian networks / М. Horný // Boston Univ. Sch. Public Health. – 2014. – Т. 17, № 5.
18. Метод оцінки ризику при відмові двигуна на повітряному судні в польоті на основі мережі Байєса / Колесник А.В., Смеляков С.В., Бердник П.Г., Колодяжний О.І. // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2020. – № 2(64). – С. 53-60. – DOI: <https://doi.org/10.30748/zhups.2020.64.08>.
19. Bayesian Networks [Електронний ресурс] / N. Ruozzi. – Erik Jonsson School of Engineering & Computer Science at the University of Texas at Dallas. – Режим доступу до ресурсу: <https://personal.utdallas.edu/~nrr150130/gmbook/bayes.html>.

References

1. HYPR. What is a hybrid attack [Electronic resource] / HYPR. – 2022. – Access mode: <https://hypr.com/security-encyclopedia/hybrid-attack>.
2. Joint Framework on countering hybrid threats a European Union response [Electronic resource] / European Commission. – 2018. – Access mode: <https://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52016JC0018>.
3. Spatially-Distributed Multi-Hazard Risk Analysis [Electronic resource] / M. Zharikova, G. Barbeito, M. S. Nistor, S. W. Pickl. – 2021. – Access mode: <https://ceur-ws.org/Vol-3101/Paper6.pdf>.
4. Event-Based Spatially Distributed Multi-Risk Analysis / M. V. Zharikova, V. G. Sherstjuk // Conf. Comput. Sci. Inf. Technol. – Springer, Cham, 2020. – DOI: 10.1109/CSIT49958.2020.9321990.
5. Modeling Hybrid Attacks and Operations to Assess the Threats in Early Warning Systems / V. Sherstjuk et al. // 12th Int. Conf. Adv. Comput. Inf. Technol. (ACIT). – Ruzomberok, Slovakia, 2022. – P. 39-44. – DOI: 10.1109/ACIT54803.2022.9913106.
6. An event-triggered approach to security control for networked systems using a hybrid attack model / J. Liu et al. // Int. J. Robust Nonlinear Control. – 2021. – Volume 31, № 12. – P. 5796-5812. – DOI: 10.1002/rnc.5570.
7. Strategic Compass [Electronic resource] / Council of the European Union. – 2022. – Access mode: <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-7371-2022-INIT/en/pdf>.
8. The Landscape of Hybrid Threats: A Conceptual Model (Public Version) / P. Cullen et al. – Publ. Off. Eur. Union, 2021. – EUR 30585 EN. – ISBN 978-92-76-29819-9. – DOI: 10.2760/44985.
9. A Hybrid Model for Information Security Risk Assessment / S. Haji, Q. Tan, R. Soler Costa // Int. J. Adv. Trends Comput. Sci. Eng. – 2019. – Volume 8, № 1. – P. 100-106. – DOI: 10.30534/ijatcse/2019/1981.12019.
10. Hybrid Risk Assessment Model based on Bayesian Networks / F. Aguessy et al. // Proc. 11th Int. Workshop Secur. (IWSEC 2016). – Tokyo, Japan, 2016. – P. 21-40. – DOI: 10.1007/978-3-319-44524-3_2.
11. The Role of Context for Crisis Management Cycle / F. Aligne, J. Mattioli // Supporting Real Time Decision-Making (Annals of Information Systems 13) / F. Burstein et al. (Eds.). – Springer, New York, 2010. – P. 113-132. – DOI: 10.1007/978-1-4419-7406-8_6.
12. Common threats and vulnerabilities of critical infrastructures / R. J. Robles et al. // Int. J. Control Autom. – 2008. – Volume 1, № 1. – P. 17-22.

13. Multi-Hazard Risk to Global Port Infrastructure and Resulting Trade and Logistics Losses / J. Verschuur et al. // *Commun. Earth Environ.* – 2023. – Volume 4, № 5. – DOI: 10.1038/s43247-022-00656-7.
14. Actionable and understandable? Evidence-based recommendations for the design of (multi-) hazard warning messages / I. Dallo, M. Stauffacher, M. Marti // *Int. J. Disaster Risk Reduct.* – 2022. – Volume 74. – P. 102917. – DOI: 10.1016/j.ijdrr.2022.102917.
15. A three-level framework for multi-risk assessment / Z. Liu et al. // *Georisk: Assess. Manag. Risk Eng. Syst. Geohazards.* – 2015. – Volume 9, № 2. – P. 59-74. – DOI: 10.1080/17499518.2015.1041989.
16. Introduction to Artificial Intelligence with Python (CSCI E-80) [Electronic resource] / Harvard Extension School. – 2020. – Access mode: <https://cs50.harvard.edu/extension/ai/2020/fall/notes/2/>.
17. Bayesian networks / M. Horný // *Boston Univ. Sch. Public Health.* – 2014. – Volume 17, № 5.
18. Kolesnyk, A., Smelyakov, S., Berdnyk, P., & Kolodyazhnyy, O. (2020). Metod otsinky ryzyku pry vidmovi dvyhuna na povitryanomu sudni v pol'oti na osnovi merezhi Bayyesa. *Zbimyk naukovykh prats' Kharkivs'koho natsional'noho universytetu Povitryanykh Syl.* – 2020. – № 2(64). – P. 53-60. – DOI: 10.30748/zhups.2020.64.08.
19. Bayesian Networks [Electronic resource] / N. Ruoizzi. – Erik Jonsson School of Engineering & Computer Science at the University of Texas at Dallas. – Access mode: <https://personal.utdallas.edu/~nrr150130/gmbook/bayes.html>

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-45>

УДК 004.9

ПРАЧИК Віктор

Херсонський національний технічний університет
<https://orcid.org/0000-0002-4820-6830>
e-mail: victorprachyk@gmail.com

ЛЯШЕНКО Олена

Херсонський національний технічний університет
<https://orcid.org/0000-0002-5429-8389>
e-mail: olenakntu@gmail.com

РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ МОНІТОРИНГУ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДІВ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ

В роботі наведено результати розроблення ІТ моніторингу НС природного характеру. Описано види моніторингових досліджень, які виконуються в межах ІТ з метою запобігання (зниження ризику виникнення), а також зменшення матеріальних втрат від НС (пом'якшення наслідків), зокрема моніторинг стану небезпечних природних явищ та процесів, моніторинг джерел НС, моніторинг довкілля (екологічний моніторинг), моніторинг пожеж у геосистемах природного характеру. Описано режими проведення моніторингових досліджень: до виникнення НС у режимі повсякденного функціонування, у момент загрози виникнення НС у режимі підвищеної готовності, після виникнення НС у режимі НС.

Описано інформаційні процеси в межах ІТ моніторингу НС. ІТ складається із взаємопов'язаних інформаційних процесів - комплексу процедур збору та реєстрації супутникової інформації, підготовки інформаційних масивів, обробки, накопичення і зберігання даних, передачі даних від джерел виникнення до місця обробки, а результатів - до споживачів інформації для прийняття управлінських рішень. Визначено ролі користувачів ІТ моніторингу НС: Керівник робіт з ліквідації наслідків НС, Керівник ОРС ЦЗ, Командир відділення ОРС ЦЗ, Начальник пожежно-рятувального підрозділу та його заступники. Призначення ролей користувачів дозволяє контролювати дії, які кожен користувач може виконувати в межах ІТ моніторингу НС, оптимізуючи робочий процес. Побудовано діаграму використання для ролі «Командир аварійно-рятувального відділення ОРС ЦЗ». Розроблено БД ІТ моніторингу НС за допомогою MySQL Workbench - графічного інструменту для роботи з серверами та базами даних MySQL. Побудовано структурно-логічну схему БД. Оперативне розв'язання завдань моніторингу НС в геосистемах природного характеру (лісових пожеж) здійснюється за матеріалами мультиспектральних космічних зйомок, отриманих із супутника Landsat 8. Landsat 8 отримує дані, використовуючи два різних сенсори - Operational Land Imager (OLI) та Thermal Infrared Sensor (TIRS), які збирають дані в дев'яти короткохвильових діапазонах та двох довгохвильових теплових діапазонах.

Для виявлення контуру лісової пожежі було застосовано метод сегментації шляхом виділення кордонів об'єктів. Наведено приклади сегментації лісових пожеж.

Ключові слова: моніторинг пожеж, інформаційна технологія, супутник Landsat 8, сегментація зображень.

PRACHIK Vitor, LIASHENKO Olena

Kherson National Technical University

DEVELOPMENT OF INFORMATION TECHNOLOGY FOR EMERGENCY MONITORING USING COMPUTER VISION METHODS

The paper presents the results of IT monitoring of natural emergencies. The types of monitoring studies that are carried out within IT in order to prevent (reduce the risk of occurrence), as well as reduce material losses from emergencies (mitigation), in particular monitoring of the state of natural hazards and processes, monitoring of emergency sources, environmental monitoring, monitoring of fires in geosystems of a natural nature are described. The modes of conducting monitoring studies are described: before the occurrence of an emergency in the mode of daily functioning, at the time of the threat of an emergency in high alert mode, after the occurrence of an emergency in the emergency mode. Information processes within IT emergency monitoring are described. IT consists of interrelated information processes - a set of procedures for collecting and registering satellite information, preparing information arrays, processing, accumulating and storing data, transferring data from sources of occurrence to the place of processing, and results - to consumers of information for making management decisions. The roles of users of IT monitoring of emergencies are defined: Head of emergency response, Head of the State Emergency Service, Commander of the State Emergency Service, Head of the fire and rescue unit and his deputies. Assigning user roles allows you to control the actions that each user can perform within IT emergency monitoring, optimizing the workflow. A use diagram was built for the role of "Commander of the emergency rescue department of the State Emergency Service". IT emergency monitoring database was developed using MySQL Workbench - a graphical tool for working with MySQL servers and databases. The structural and logical diagram of the database is constructed. Operational solution of emergency monitoring tasks in geosystems of a natural nature (forest fires) is carried out according to the materials of multispectral space surveys obtained from the Landsat 8 satellite. Landsat 8 takes data using two different sensors - the Operational Land Imager (OLI) and the Thermal Infrared Sensor (TIRS), which collect data in nine shortwave bands and two longwave thermal bands.

To identify the outline of a forest fire, a segmentation method was applied by highlighting the boundaries of objects. Examples of segmentation of forest fires are given.

Keywords: fire monitoring, information technology, Landsat 8 satellite, image segmentation.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Аналіз даних про виникнення природних надзвичайних ситуацій (НС), що відбулися за останні десятиліття, свідчить про те, що на території України характерним є виникнення великої кількості природних пожеж переважно у змішаних та хвойних лісових геосистемах Полісся, Лісостепу та Українських Карпат.

Боротьба з природними пожежами – процес складний і потребує значних людських та матеріальних ресурсів. Аналіз пожеж свідчить про те, що часто з різних причин не вдається ліквідувати лісову пожежу на початковій стадії її розвитку, і вона може набути ознак НС. Поширюючись на значні площі, такі пожежі становлять серйозну загрозу життєдіяльності людини.

Так, до основних екологічних наслідків природних пожеж можна віднести такі:

- забруднення атмосферного повітря вуглекислим газом та продуктами піролізу лісових горючих матеріалів, вигорання кисню;
- перетворення видової різноманітності біоценозів, поява ризику повного зникнення рідкісних порід дерев;
- зміна складу ґрунту та його водного режиму;
- скорочення кормової бази, що спричиняє масову міграцію та зменшення чисельності диких тварин;
- погіршення санітарного стану лісів, зниження їх стійкості до пошкоджень шкідниками та хворобами.

Головну роль у процесі попередження природних пожеж відіграє моніторинг, оскільки спостереження, збирання, аналіз та оцінка якісних та кількісних параметрів стану лісових геосистем, небезпечних процесів, що відбуваються в них, а також потенційних джерел природних пожеж дозволить розробляти та реалізовувати заходи, спрямовані на збереження біорізноманіття та генофонду лісових біоценозів, зниження матеріальних втрат, локалізацію зон природних пожеж, припинення дії характерних небезпечних чинників.

Основною сферою практичного застосування моніторингу є інформаційне обслуговування органів управління за умов виникнення природних пожеж.

Таким чином, розроблення новітніх моделей, методів та інформаційної технології моніторингу НС в геосистемах природного характеру є актуальною науково-прикладною задачею.

Аналіз досліджень та публікацій

В роботі [1] описано процес розроблення автоматизованої системи моніторингу надзвичайних ситуацій у лісових екосистемах. Розглянуто актуальність розробки такого класу систем. Проведено аналіз існуючих методів та засобів контролю надзвичайних ситуацій в лісових екосистемах, приведено структурну схему системи з урахуванням інформаційних потоків. Розглянуто концептуальну модель системи, розроблено блок-схеми алгоритмів роботи системи, приведено діаграму прецедентів, розроблено діаграму потоків даних та діаграму класів системи. Приведено схему бази даних та основні компоненти системи. Розроблено інтерфейс користувача автоматизованої системи моніторингу надзвичайних ситуацій у лісових екосистемах.

В роботі [2] розглянуті особливості функціонування ситуаційних центрів на різних стадіях розвитку надзвичайних ситуацій та особливості обґрунтування експертами антикризових рішень щодо функціонування органів державної влади, органів місцевого самоврядування, органів управління та сил цивільного захисту для забезпечення відповідного рівня безпеки життєдіяльності населення та території держави. Показано, що ефективність функціонування системи ситуаційних центрів залежить від науково-технічного рівня реалізації в державі системи цивільного захисту, системи моніторингу надзвичайних ситуацій, системи передачі даних про надзвичайні ситуації та системи захисту інформації, що циркулює у процесі функціонування єдиної державної системи цивільного захисту.

В роботі [3] наведено методiku прогнозування наслідків хімічної аварії на ПНО з використанням ГІС підсистемою моніторингу техногенної безпеки регіону. Реалізація методики показана на прикладі умовної аварії з викидом аміаку на АОЗТ «Холодопром» м. Харків.

В роботі [4] описано процес розроблення інформаційної системи моніторингу природних катастроф з використанням об'єктно-орієнтованої методології та технології Java SE 11. Розроблено БД інформаційної системи за допомогою системи керування реляційними базами даних Microsoft SQL Server. Розроблено архітектуру та графічний інтерфейс інформаційної системи, наведено приклади використання інформаційної системи. Розроблена інформаційна система здійснює прогнозування місця, часу, можливостей виникнення нових осередків небезпеки, оцінку ризику для населення, а також підготовку управлінських рішень щодо локалізації та ліквідації природних катастроф.

В роботі [5] описано використання інформаційної технології в умовах виникнення НС та ліквідації

їх наслідків. Метою інформаційної технології є підтримка процесів прийняття рішень на етапах підготовки, запобігання та планування системи захисту від НС. Основою інформаційної технології є географічна інформаційна підсистема, яка забезпечує вирішення таких важливих завдань: розробку геоінформаційної основи – цифрових карт для роботи з просторовою інформацією; реалізацію картометричних операцій, що дозволяють вимірювати відстані між об'єктами, визначати площі та периметри об'єктів; інтеграцію картографічних об'єктів та атрибутивної інформації.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: розроблення інформаційної технології моніторингу НС в геосистемах природного характеру. Система показників та структура інформаційних потоків ІТ моніторингу НС заснована на даних моніторингу стану небезпечних природних явищ та процесів, моніторингу джерел НС, моніторингу довкілля (екологічному моніторингу), моніторингу пожеж у геосистемах природного характеру.

Виклад основного матеріалу

Моніторинг НС є системою спостережень та контролю за розвитком небезпечних стихійних природних явищ і процесів, а також факторами, що викликають їх формування та розвиток.

В межах системи моніторингу НС з метою запобігання (зниження ризику виникнення), а також зменшення матеріальних втрат від НС (пом'якшення наслідків) здійснюються [4,6]:

1. Моніторинг стану небезпечних природних явищ та процесів. Передбачає проведення систематичних спостережень та контролю за розвитком небезпечних та стихійних природних явищ, та процесів, факторами, що викликають їх формування та розвиток, аналіз, зберігання та передачу інформації щодо виявлення тенденцій їх зміни з метою розробки комплексу заходів щодо запобігання природним НС та ліквідації їх наслідків.

2. Моніторинг джерел НС. Передбачає проведення систематичних спостережень за потенційними джерелами НС з метою аналізу оперативної інформації про якісні та кількісні параметри їх стану. Якісний аналіз НС полягає у визначенні основних характеристик уражаючих факторів НС, а також загальних заходів, які можуть бути вжиті для ліквідації НС. Кількісний аналіз несе кількісну інформацію про НС та виконується на всіх етапах життєвого циклу НС. За допомогою кількісного аналізу НС здійснюється визначення ризику впливу уражаючих факторів і оцінка їх стійкості.

3. Моніторинг довкілля (екологічний моніторинг). Передбачає проведення систематичних спостережень та контролю з метою оцінки стану навколишнього середовища, аналізу процесів, що відбуваються та своєчасне виявлення тенденцій їх зміни. Об'єктами моніторингу довкілля є атмосферне повітря, водні ресурси, рослинний світ та тваринний світ.

4. Моніторинг пожеж у геосистемах. Передбачає проведення систематичних спостережень, контролю, збору, аналізу, зберігання та передачі інформації про пожежну небезпеку в природних геосистемах (умов погоди, стану горючих матеріалів, інших пожежонебезпечних факторів), з метою своєчасного планування та здійснення заходів щодо запобігання виникненню та ліквідації пожеж, а також їх наслідків.

В роботі буде розглянуто моніторинг НС у геосистемах природного характеру, зокрема моніторинг лісових пожеж.

Вирізняють такі режими проведення моніторингових досліджень [6]:

– до виникнення НС – у режимі повсякденного функціонування. При цьому головною метою є прогнозування місця, часу, уражаючих факторів і оцінка ризиків для населення;

– у момент загрози виникнення НС – у режимі підвищеної готовності. Головною метою є своєчасне визначення місця, часу, уражаючих факторів та прогнозування можливих наслідків;

– після виникнення НС – у режимі НС. Головною метою є прогнозування місця, часу, можливості виникнення нових осередків небезпеки, оцінка ризику для населення, підготовка управлінських рішень щодо локалізації та ліквідації НС.

Аналітичну підтримку моніторингових досліджень забезпечує інформаційна технологія (ІТ) моніторингу НС.

ІТ моніторингу НС складається із взаємопов'язаних інформаційних процесів - комплексу процедур збору та реєстрації супутникової інформації, підготовки інформаційних масивів, обробки, накопичення і зберігання даних, передачі даних від джерел виникнення до місця обробки, а результатів - до споживачів інформації для прийняття управлінських рішень (рис.1).

ІТ моніторингу НС базується на нейромережеских моделях та методах розпізнавання супутникових знімків високої роздільної здатності, методах комп'ютерного зору та дозволяє здійснювати оцінку та запобігати можливим ризикам виникнення та розповсюдження пожеж в геосистемах природного характеру.

ІТ моніторингу НС призначено для використання багатьма користувачами. Таким чином, було визначено такі основні ролі користувачів [6]:

1. Керівник робіт з ліквідації наслідків НС. Призначається для безпосереднього управління аварійно-рятувальними та іншими невідкладними роботами під час виникнення НС.
2. Керівник Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту (ОРС ЦЗ).
3. Командир відділення ОРС ЦЗ. Забезпечує участь відділення (у межах його тактико-технічних можливостей) у проведенні аварійно-рятувальних (пожежно-рятувальних) робіт у районі виникнення НС.
4. Начальник пожежно-рятувального підрозділу та його заступники.

Призначення ролей користувачів дозволяє контролювати дії, які кожен користувач може виконувати в ІТ, оптимізуючи робочий процес.

На рис. 2 подано приклад діаграми варіантів використання для ролі «Командир аварійно-рятувального відділення ОРС ЦЗ».

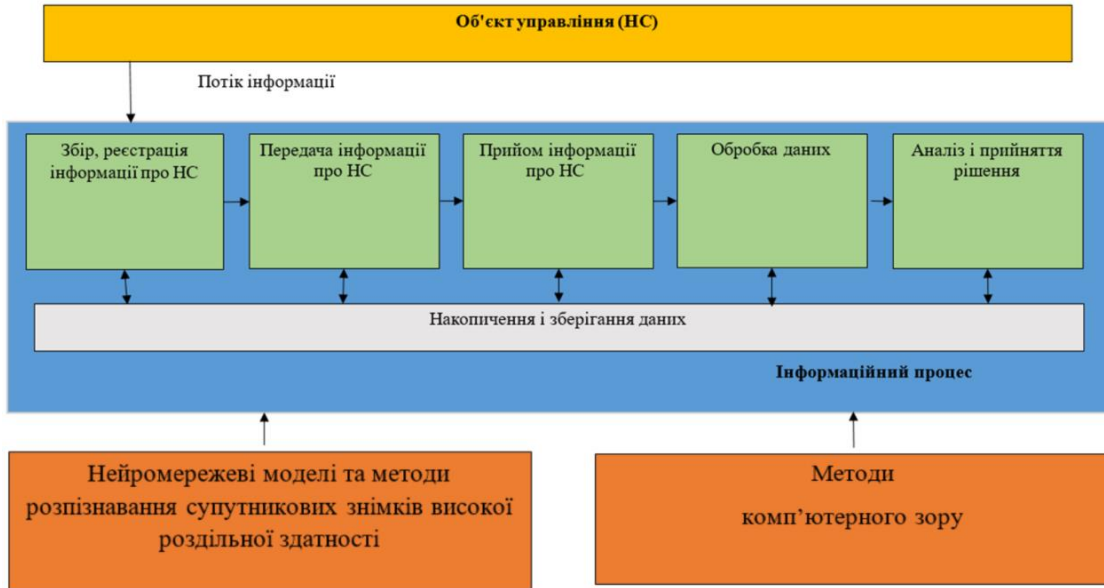


Рис.1. ІТ моніторингу НС

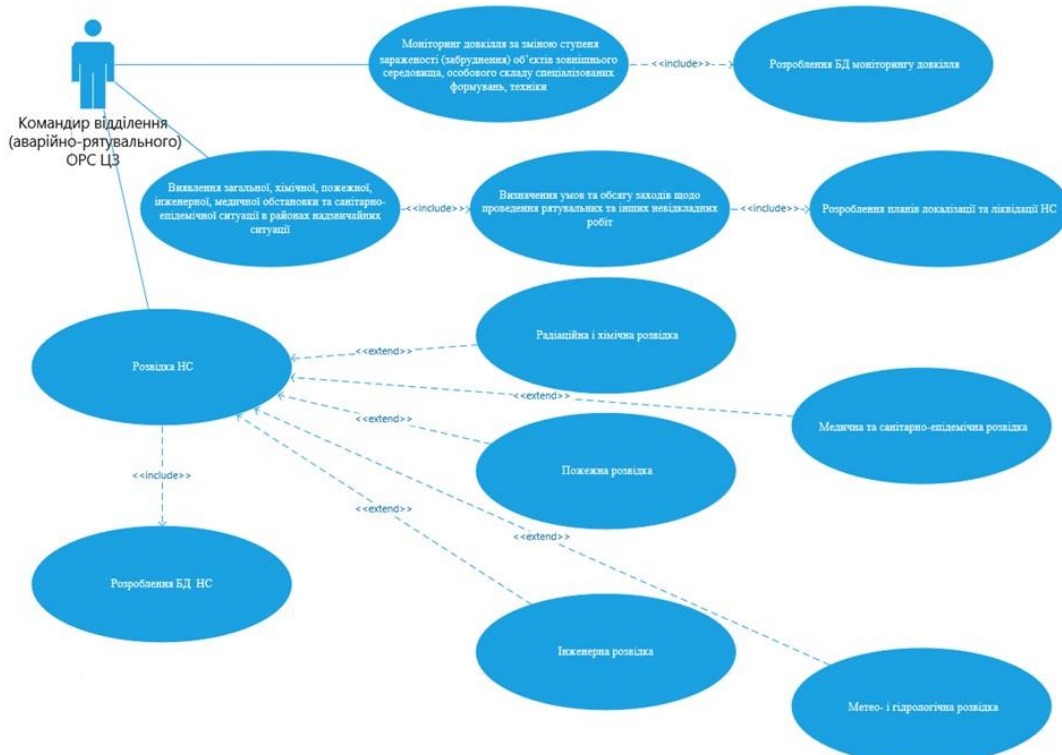


Рис.2. Приклад діаграми варіантів використання для ролі «Командир аварійно-рятувального відділення ОРС ЦЗ»

Командир відділення (аварійно-рятувального) ОРС ЦЗ здійснює:

- забезпечення моніторингу довкілля за зміною ступеня зараженості (забруднення) об'єктів зовнішнього середовища, особового складу спеціалізованих формувань, техніки, що ведуть рятувальні роботи, радіоактивними, хімічними речовинами, біологічними патогенними агентами в районах надзвичайних ситуацій на територіях, які до них прилягають;
- виявлення загальної, хімічної, пожежної, інженерної, медичної обстановки та санітарно-епідемічної ситуації в районах надзвичайних ситуації для визначення умов та обсягу заходів щодо проведення рятувальних та інших невідкладних робіт;
- установлення місць перебування людей, які постраждали при надзвичайній ситуації, визначення засобів порятунку;
- контроль за обстановкою і санітарно-епідеміологічним станом районів, розміщенням відселеного з небезпечних зон населення;
- організація розвідки НС: радіаційної і хімічної розвідки, пожежної розвідки, інженерної розвідки, медичної та санітарно-епідемічної розвідки, ветеринарно-санітарної та фітосанітарної розвідки; метео- і гідрологічної розвідки.

Для проектування та розроблення бази даних ІТ моніторингу НС було обрано MySQL Workbench - графічний інструмент для роботи з серверами та базами даних MySQL. Структурну схему бази даних програмного забезпечення подано на рис.3.

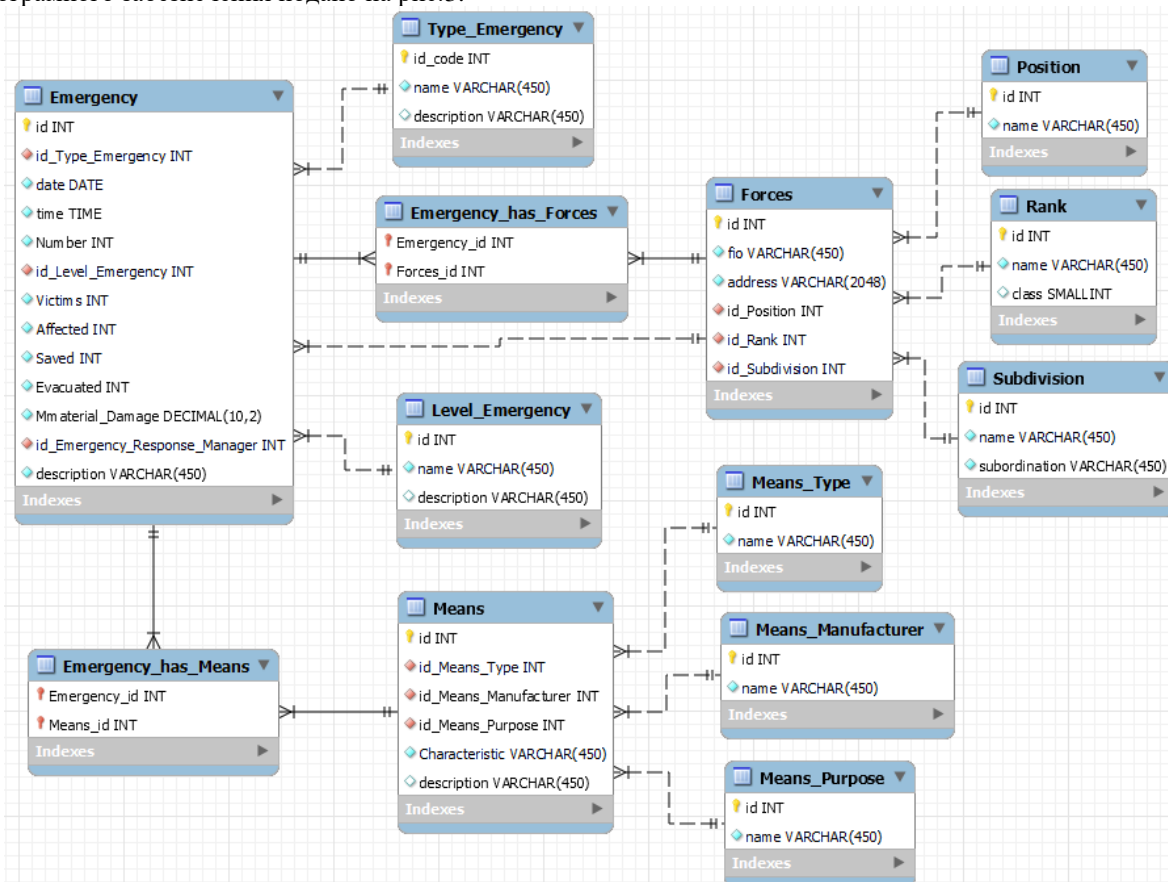


Рис.3. Структурно-логічна схема бази даних ІТ моніторингу НС

У БД виділено наступні сутності: Надзвичайна ситуація, Тип_Надзвичайної ситуації, Рівень_Надзвичайної ситуації, Сила, Посада, Категорія, Підпорядкованість, Засоби, Тип_Засобів, Виробник Засобів, Призначення_Засобів.

Перелічимо далі сутності зі зв'язком 1 до N:

1. Надзвичайна ситуація – Тип_Надзвичайної ситуації.
2. Надзвичайна ситуація – Рівень_Надзвичайної ситуації.
3. Сила – Посада.
4. Сила – Категорія.
5. Сила – Підпорядкованість.
6. Засоби – Тип_Засобів.
7. Засоби – Виробник_Засобів.

8. Засоби – Призначення_Засобів.

Сутності N до M:

1. Надзвичайна_ситуація – Сила.

2. Надзвичайна_ситуація – Засоби.

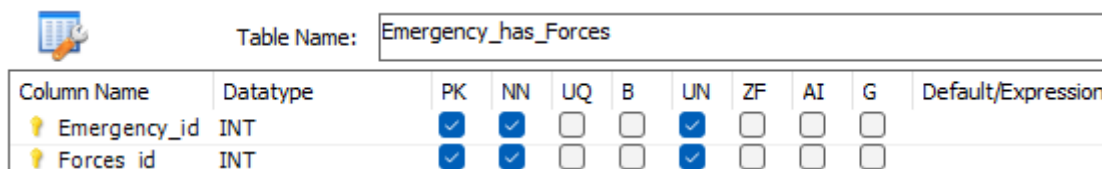
Сутності Надзвичайна_ситуація відповідає таблиця «Emergency». Сутності Тип_Надзвичайної_ситуації відповідає таблиця «Type_Emergency». Сутності Рівень_Надзвичайної_ситуації відповідає таблиця «Level_Emergency». Сутності Сила відповідає таблиця «Forces».

Для зв'язку сутності Сила та Надзвичайна ситуація було розроблено таблицю зв'язку «Emergency_has_Forces» яка містить 2 атрибути, що необхідні для отримання ступеня зв'язку N до M:

- Emergency_id: зовнішній ключ на таблицю «Emergency», а також ключове поле, що входить до первинного ключа, ціле значення, беззнакове поле, не може зберігати значення NULL;

- Forces_id: зовнішній ключ на таблицю «Forces», а також ключове поле, що входить до первинного ключа, ціле значення, беззнакове поле, не може зберігати значення NULL;

Приклад розроблення таблиці «Emergency_has_Forces» в середовищі розробки Workbench подано на рис.4.



Column Name	Datatype	PK	NN	UQ	B	UN	ZF	AI	G	Default/Expression
Emergency_id	INT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Forces_id	INT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Рис. 4. Таблиця «Emergency_has_Forces» в середовищі розробки Workbench

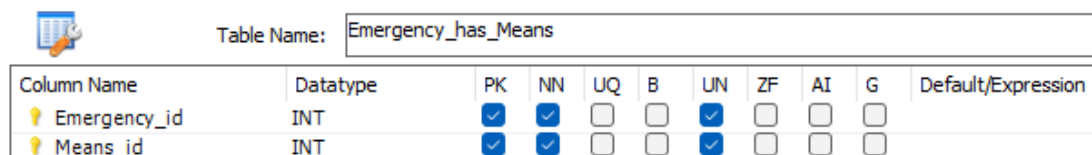
Сутності Посада відповідає таблиця «Position». Сутності Категорія відповідає таблиця «Rank». Сутності Підпорядкованість відповідає таблиця «Subdivision». Сутності Засоби відповідає таблиця «Means».

Для зв'язку сутності Засоби та Надзвичайна ситуація було побудовано таблицю зв'язку «Emergency_has_Means» яка містить 2 атрибути, що необхідні для отримання ступеня зв'язку N до M:

- Emergency_id: зовнішній ключ на таблицю «Emergency», а також ключове поле, що входить до первинного ключа, ціле значення, беззнакове поле, не може зберігати значення NULL;

- Means_id: зовнішній ключ на таблицю «Means», а також ключове поле, що входить до первинного ключа, ціле значення, беззнакове поле, не може зберігати значення NULL;

Приклад розроблення таблиці «Emergency_has_Means» в середовищі розробки Workbench подано на рис.5.



Column Name	Datatype	PK	NN	UQ	B	UN	ZF	AI	G	Default/Expression
Emergency_id	INT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Means_id	INT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Рис. 5. Таблиця «Emergency_has_Means» в середовищі розробки Workbench

Сутності Тип_Засобів відповідає таблиця «Means_Type». Сутності Виробник_Засобів відповідає таблиця «Means_Manufacturer». Сутності Призначення_Засобів відповідає таблиця «Means_Purpose».

Оперативне розв'язання завдань моніторингу НС в геосистемах природного характеру (лісових пожеж) здійснюється за матеріалами мультиспектральних космічних зйомок, отриманих із супутника Landsat 8. Landsat 8 отримує дані, використовуючи два різних сенсори - Operational Land Imager (OLI) та Thermal Infrared Sensor (TIRS), які збирають дані в дев'яти короткохвильових діапазонах та двох довгохвильових теплових діапазонах.

Для виявлення контуру лісової пожежі було застосовано метод сегментації шляхом виділення кордонів об'єктів. Таким чином, виявлення контуру лісової пожежі супроводжуються процедурами побудови кордонів об'єктів із відповідних послідовностей пікселів.

Одним із підходів з'єднання точок контуру є аналіз характеристик пікселів в околиці кожної точки (x, y) образу, який вже зазнав процедури виявлення контуру. Всі точки, що є подібними, з'єднуються, утворюючи кордон із пікселів, що володіють деякими властивостями [7].

При такому аналізі для встановлення подібності пікселів контуру необхідно визначити [7]:

1. Величину градієнта, необхідного для побудови контурного пікселя $G[f(x, y)]$;

2. Напрямок градієнта. Таким чином, піксель контуру з координатами (x', y') подібний до величині у визначеній раніше околиці (x, y) пікселю з координатами (x, y), якщо справедлива нерівність:

$$|G[f(x, y)] - G[f(x', y')]| \leq T, \quad (1)$$

де T – порогове значення.

Напрямок градієнта встановлюється за кутом вектора градієнта:

$$\theta = \arctg \left[\frac{G_y}{G_x} \right] \quad (2)$$

де θ – кут (щодо осі x), вздовж якого швидкість зміни має найбільше значення. Тоді можна сказати, що кут пікселя контуру з координатами (x', y') в деякій околиці (x, y) подібний до кута пікселя з координатами (x, y) при виконанні наступної нерівності [7]:

$$|\theta - \theta'| < A, \quad (3)$$

де A - порогове значення кута.

Ґрунтуючись на цих припущеннях, було з'єднано точку в околиці (x, y) з пікселем, що має координати (x, y) , якщо задовольняються критерії за величиною та напрямом. Рухаючись від пікселя до пікселя і представляючи кожен точку, що приєднується як центр околиці, процес повторюється для кожної точки образу.

Для практичної реалізації завдання сегментації лісових пожеж в межах ІТ моніторингу НС було обрано бібліотеку алгоритмів комп'ютерного зору, обробки зображень та чисельних алгоритмів загального призначення з відкритим кодом OpenCV та мову програмування java.

Для виділення кордонів об'єктів було застосовано статичний метод Canny() із класу Imgproc бібліотеки OpenCV [8,9].

Формати методу [8]:

```
import org.opencv.imgproc.Imgproc;
public static void Canny(Mat image, Mat edges, double threshold1, double threshold2)
public static void Canny(Mat image, Mat edges, double threshold1, double threshold2, int
apertureSize, boolean L2gradient);
```

У параметрі image вказується вихідне зображення у відтінках сірого (8 біт, один канал). У матрицю, вказану в параметрі edges, буде записано результат операції у вигляді чорно-білого зображення. Параметр threshold1 задає мінімальне граничне значення, а параметр threshold2 - максимальне граничне значення. У apertureSize можна додатково вказати розмір ядра фільтра для методу Sobel() [8,9].

Після виділення кордонів об'єктів, було виконано пошук контурів. Для цього було використано статичний метод findContours() із класу Imgproc бібліотеки OpenCV [8].

Формати методу [8]:

```
import org.opencv.imgproc.Imgproc;
public static void findContours(Mat image, List<MatOfPoint> contours, Mat hierarchy, int mode,
int method)
public static void findContours(Mat image, List<MatOfPoint> contours, Mat hierarchy, int mode,
int method, Point offset);
```

У першому параметрі вказується вихідне чорно-біле зображення (8 біт, один канал). Будь-яке значення більше 1 вважається 1, а нульові значення так і залишаються нульовими. У другому параметрі вказується посилання на список, до якого додаватимуться знайдені контури. Параметр hierarchy визначає посилання на матрицю, в яку буде записана інформація про рівень вкладеності контуру. Ця матриця матиме стільки ж елементів, що й список із знайденими контурами. Якщо контур не є вкладеним, значення буде негативним [8,9].

Параметр mode визначає режим пошуку контурів. В роботі було застосовано такі константи з класу Imgproc [8]:

–RETR_EXTERNAL - знаходження лише крайніх зовнішніх контурів. Формат: public static final int RETR_EXTERNAL;

–RETR_LIST - знаходження контурів без встановлення ієрархії. Формат: public static final int RETR_LIST;

–RETR_CCOMP - знаходження всіх контурів та організація їх у дворівневу структуру. Формат: public static final int RETR_CCOMP;

–RETR_TREE - знаходження всіх контурів та організація повної ієрархії вкладених контурів. Формат: public static final int RETR_TREE.

Приклад супутникового знімку Landsat 8 подано на рис.6. Присутність вогнища горіння визначається наявністю у видимій частині спектра на супутниковому знімку основної ознаки лісових пожеж - димового шлейфу.



Рис.6. Приклад супутникового знімку Landsat 8. Виявлення пожежі в лісовому фонді Херсонської області

Приклад сегментації зображення за допомогою методу Сanny() подано на рис.7.



Рис.7. Приклад сегментації зображення за допомогою методу Сanny(). Виявлення контуру лісової пожежі

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Результатами, які можна кваліфікувати як такі, що дістали подальшого розвитку або поглиблення, є:

1. Розроблення ІТ моніторингу НС, яка дозволяє здійснювати моніторинг природного, техногенного та соціального середовища, а також прогнозування процесів виникнення та розвитку НС. Система показників та структура інформаційних потоків ІТ моніторингу НС заснована на даних моніторингу стану небезпечних природних явищ та процесів, моніторингу джерел НС, моніторингу довкілля (екологічному моніторингу), моніторингу пожеж у геосистемах природного характеру.

2. Розроблення моделі розпізнавання лісових пожеж на супутникових зображеннях на основі методів комп'ютерного зору, включаючи виявлення джерел вогню та диму.

3. Подальший розвиток методу сегментації зображень, що полягає у виділенні на зображенні областей, кожна з яких відповідає певній ознаці та супроводжуються процедурами побудови кордонів об'єктів із відповідних послідовностей пікселів.

В подальшому планується розроблення моделі сегментації лісових пожеж на основі згорткових нейронних мереж, які забезпечать високу стійкість до спотворень об'єктів, наявності шумів, зсувів та зміни ракурсу зйомки.

Література

1. Ковівчак Я.В. Розробка автоматизованої системи моніторингу надзвичайних ситуацій у лісових екосистемах/ Я.В. Ковівчак, В.І. Дубук, А.Я.Дмитришин//Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. –2022. –№47. – С.26-34.
2. Тютюнник В. В. Особливості функціонування системи ситуаційних центрів на різних стадіях розвитку надзвичайних ситуацій / В. В. Тютюнник, О. А. Ященко, І. В. Рубан та ін. // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2022. – № 1 (43). – С. 41-52.
3. Попов В.М. Прогнозування наслідків можливої надзвичайної ситуації при формуванні програми розвитку територіальної системи техногенної безпеки/ В.М. Попов, І.А. Чуб //Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2015. – №22. – С.99-105.
4. Прачик В.В. Розроблення інформаційної системи моніторингу природних катастроф з використанням об'єктно-орієнтованої методології та технології Java SE 11. / В.В. Прачик, О.М. Ляшенко// «Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки» . – 2021. –№4 32 (71) . – С. 150-156.
5. Biswajit Mukhopadhyay. Use of Information Technology in Emergency and Disaster Management./ Biswajit Mukhopadhyay, Buddhadev Bhattacharjee// American Journal of Environmental Protection. – 2015. – №4(2) . – С. 101-104.
6. Liashenko O. Development of information technology for monitoring of forest ecosystems under conditions of wildfires/O. Liashenko, D. Kyryichuk, N. Holovina, V. Prachyk, S. Bunkus// International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management. – 2022. – № 22(3.2). – С. 307–314.
7. Кветний Р.Н. Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обробки: навчальний посібник за заг. ред. Р.Н. Кветного/ Р.Н. Кветний, І.В. Богач, О.Р. Бойко, О.Ю. Софіна, О.М. Шушура. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 193 с.
8. Daniel Lélis Baggio. OpenCV 3.0 Computer Vision With Java: Create Multiplatform Computer Vision Desktop and Web Applications Using the Combination of Opencv and Java/ Daniel Lélis Baggio. – Packt Pub Ltd, 2015. – 147 с.
9. Gary Bradski. Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library/ Gary Bradski, Adrian Kaehler. – O'Reilly Media, 2008. –555 с.

References

1. Kovivchak YA.V. Rozrobka avtomatizovanoi sistemi monitoringu nadzvichajnih situacij u lisovih ekosistemah/ YA.V. Kovivchak, V.I. Dubuk, A.YA.Dmitrishin//Komp'yuterno-integrovani tekhnologii: osvita, nauka, virobniectvo. –2022. –№47. – S.26-34.
2. Tyutyunik V. V. Osoblivosti funkcionuvannya sistemi situacijnih centriv na riznih stadiyah rozvitku nadzvichajnih situacij / V. V. Tyutyunik, O. A. YAshchenko, I. V. Ruban ta in. // Suchasni informacijni tekhnologii u sferi bezpeki ta obroni. – 2022. – № 1 (43). – S. 41-52.
3. Popov V.M. Prognozuvannya naslidkiv mozhливої nadzvichajnoi situacii pri formuvanni programi rozvitku teritorial'noi sistemi tekhnogennoi bezpeki/ V.M. Popov, I.A. CHub //Problemi nadzvichajnih situacij. – 2015. – №22. – S.99-105.
4. Prachik V.V. Rozroblennya informacijnoi sistemi monitoringu prirodnih katastrof z vikoristannyam ob'ektno-orientovanoi metodologii ta tekhnologii Java SE 11. / V.V. Prachik, O.M. Lyashenko// «Vcheni zapiski Tavrijs'kogo nacional'nogo universitetu imeni V.I. Vernads'kogo. Seriya: Tekhnichni nauki» . – 2021. –№4 32 (71) . – S. 150-156.
5. Biswajit Mukhopadhyay. Use of Information Technology in Emergency and Disaster Management./ Biswajit Mukhopadhyay, Buddhadev Bhattacharjee// American Journal of Environmental Protection. – 2015. – №4(2) . – S. 101-104.
6. Liashenko O. Development of information technology for monitoring of forest ecosystems under conditions of wildfires/O. Liashenko, D. Kyryichuk, N. Holovina, V. Prachyk, S. Bunkus// International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management. – 2022. – № 22(3.2). – S. 307–314.
7. Kvetnij R.N. Komp'yuterne modelyuvannya sistem ta procesiv. Metodi obrobki: navchal'nij posibnik za zag. red. R.N. Kvetnogo/ R.N. Kvetnij, I.V. Bogach, O.R. Bojko, O.YU. Sofina, O.M. SHushura. – Vinnicya: VNTU, 2012. – 193 s.
8. Daniel Lélis Baggio. OpenCV 3.0 Computer Vision With Java: Create Multiplatform Computer Vision Desktop and Web Applications Using the Combination of Opencv and Java/ Daniel Lélis Baggio. – Packt Pub Ltd, 2015. – 147 с
9. Gary Bradski. Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library/ Gary Bradski, Adrian Kaehler. – O'Reilly Media, 2008. –555 с.

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-46>

UDC 004.02

YAHODZINSKYI Serhii

Private Higher Educational Establishment "European University"
<https://orcid.org/0000-0001-8755-2235>
e-mail: serhii.yahodzinskyi@e-u.edu.ua

YAROVYI Roman

Private Higher Educational Establishment "European University"
<https://orcid.org/0000-0001-8978-8137>
e-mail: roman.yarovyiy@e-u.edu.ua

KOTSUN Volodumir

Private Higher Educational Establishment "European University"
<https://orcid.org/0000-0003-2363-8157>
e-mail: volodumir.kotsun@e-u.edu.ua

SKLIARENKO Olena

Private Higher Educational Establishment "European University"
<https://orcid.org/0000-0001-6555-1223>
e-mail: olena.skliarenko@e-u.edu.ua

GLOBAL CONSCIOUSNESS AS A CULTURAL AND HISTORICAL CONCEPT IN THE INFORMATION ENVIRONMENT

The article analyses the ideas of philosophy of cosmic representatives. Cultural, historical and civilizational character of the phenomenon of global consciousness is grounded. It is proved that global consciousness is a part of social and cultural potential of global information networks and may indicate the prospects of mankind as a mind barer.

Key words: globalization, global consciousness, cosmic, information society, cultural and historical concept.

ЯГОДЗІНСЬКИЙ Сергій, ЯРОВИЙ Роман, КОЦУН Володимир, СКЛЯРЕНКО Олена

Приватний вищий навчальний заклад «Європейський університет»

ГЛОБАЛЬНА СВІДОМІСТЬ ЯК КУЛЬТУРНО-ІСТОРИЧНИЙ КОНЦЕПТ В ІНФОРМАЦІЙНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

У час глобальних інформаційних мереж прагнення до єдності людства перетворилося на великий концептуальний соціальний проект. Державні кордони геополітичного Заходу умовно окреслили сфери впливу завдяки успішній реалізації ряду інноваційних рішень на рубежі XXI ст. Посилення інтеграційних процесів у сферах економіки, культури, права, освіти, війни спонукало дослідників до створення термінів глобального мислення, глобальної свідомості, планетарної особистості тощо. Навряд чи буде перебільшенням назвати розуміння функціонування механізмів відповідальності, втручання та залежності в соціальній системі глобалізованого суспільства поверхневим і лабільним на рівні соціальної психології. На нашу думку, головною причиною соціальних поразок, революцій, війн і міжнародних конфліктів є відсутність методології в узгодженні окремих дій, суспільної діяльності та цивілізаційних наслідків. Тому аналіз феномену глобального в світлі індивідуального сприйняття планетарних ефектів, викликаних соціальними діями, є актуальною соціально-філософською темою.

У статті аналізуються ідеї філософії представників космосу. Обґрунтовано культурно-історичний та цивілізаційний характер феномену глобальної свідомості. Доведено, що глобальна свідомість є частиною соціального та культурного потенціалу глобальних інформаційних мереж і може вказувати на перспективи людства як розуму.

Ключові слова: глобалізація, глобальна свідомість, космос, інформаційне суспільство, культурно-історична концепція.

Statement of the problem

In the time of global information networks the pursuit of unity of the humankind has transformed into a major conceptual social project. State borders of the geopolitical West have conventionally outlined the spheres of influence due to successful implementation of a range of innovative solutions at the turn of the XXI century. Intensification of integration processes in the realms of economics, culture, law, education, and warfare urged researches to coin the terms of global thinking, global consciousness, planetary personality etc.

The conditions, which enabled the person to identify themselves with the entire humanity both in the civilizational and sociocultural dimensions, presented a non-biased frame for the respective social discourse. In the days of Socrates, Leonardo da Vinci, G. Galilei, J.J. Rousseau, G. Hegel, the idea of all-encompassing unity was of a contemplative nature and was not rooted into social facts, on the other hand in the globalized world any developments can influence the security and stability of individuals, groups, states. Nevertheless, mastering the innovational, and, correspondingly, sociocultural potential of the system of global information networks, the person cannot totally comprehend the correlation of their own activity and the changes in the social space.

It is hardly an exaggeration to label the understanding of functioning of responsibility, interference, and dependence mechanisms in the social system of the globalized society as superficial and labile on the level of social psychology. We are of the opinion that the lack of methodology in coordination of particular actions, social activity, and civilization consequences constitutes the main reason for social fallouts, revolutions, wars and international conflicts. That is why the analysis of the phenomenon of the global in the light of individual perception of planetary effects caused by social actions is a topical social and philosophical issue.

Within the problem outlined we will focus on the analysis of historical and philosophical origins of the global consciousness notion, and on its representation as a cultural and historical concept of the information society. Foremost we will narrow down the notion of cultural and historical concept. In the present paper it is used in the context of social-constructivist school in philosophy and we understand it as a set of ideas, principles, theories, which can be accepted by society as normative and ensure the survival of the humankind. With the necessity of objectivities acknowledged, sociocultural constructs become ontologically equal to the structural components of the social reality. Morals, money, public authority, classes, ranks, titles etc. belong to the constructs implemented into social space. Each historical epoch on the basis of its inherent cultural and civilization coordinates generates new constructs and transforms existing. Playing the role of socio-cultural factors, they provide the procedure for the legitimation of social institutions. Consequently, the information society also produces its constructs, in an effort to embody in them the ideal social model.

However, the expediency of removing the concept of global consciousness on the level of cultural-historical construct remains unanswered. No less a debate among scientists is also the content and place specified construct with the implementation of the social potential of the information age. The reasons for this skepticism, in our opinion, there are several. Firstly, modern civilization challenges are so unpredictable and global, that seems illusory opinion about their solution by imposing the public consciousness another theoretical construct. Secondly, the postmodern experience of overcoming narratives (which include social constructs) approved distrust and hindered their development and implementation. Thirdly, the ethical orientation of most cultural and historical structures reduces social trust to them in the conditions of intensification the technologies for manipulating of public opinion.

With this in mind, the only way to attract the innovative, educational, cultural potential of some construct believes identifying its historical-cultural and cultural-civilization sources. Like any other form of development, social development is the combination of evolutionary and commercial components. At the same time, any internal combinations of events and their causes, the trajectory of development is logical. Therefore, each historically conditioned phenomenon in one form or another should be reflected in the following socio-cultural transformation of society.

Looking for conceptual analogues of construct of global consciousness, researchers have repeatedly appealed to the philosophical heritage of representatives cosmic (V. Vernadskiy, O. Chizhevskiy, M. Kholodniy, K. Tsiolkovskiy, S. Frank, P. de Charden and others). As a scientific-philosophical system, cosmic forms the idea of the wholeness of the universe and the relationship of Space with the processes of social life. For representatives of the philosophy of cosmic characteristic position, according to which the universe is the house that mankind has to understand and master. Socio-philosophical and anthropological essence of cosmic can be expressed as follows: humanity is not only planetary phenomenon, but also cosmic origin, and therefore in the future it will become a factor of change not only of the earth but also of the cosmic nature. Following the aim of our study, we note that such views were typical of the ancient Greeks, after which they received the support of a number of religious thinkers of the Middle Ages, the Renaissance natural philosophers, representatives of the philosophy of the New Time and non-classical science of the early twentieth century. However the first opportunity to implement these ideas in practice of social life had the precursors of the space age. According to their vision the Universe had to prepare for its' space destiny. Searching for the ways of such a transition made it possible to divide the cosmic into three directions: the natural-scientific, religious and artistic. But the integrity of the study, the conceptual ideas were not affected and were presented in the way of public discourse about the future of planetary civilization.

Although there are some concerns, that in spite of the predictable ideas, the cosmic did not receive the wide spread and remained a set of theoretical constructions, this article tries to focus on those aspects that are significant for the progress of humanity in the information age. Thus, at once it will be dissociated from the ecological, ethics, religious and futurist interpretation of social philosophical inheritance of cosmic. Developing these aspects (which quite often were just the passionarity phantasmagoria), researchers move away from the main idea of this direction, by adding to it an absurd, contradictory, obviously incorrect guesses.

As an example, there's a quote from the typical scientific research, where the ideas of cosmic are originally regenerated: «Mankind needs a new Prophet, who'd manage to engage people to search the road to the future, but not the past, to touch their souls and put a fire in the hearts, directing the human energy to spiritual revival.... The gift of creation, which owns the man, originally divided the World on smaller entities eventually penetrated so deeply that stumbled on the 'spine' of generalization. A circle was locked, creation, as unique noumen... lays a way to the reunion with General» [1, p. 296]. Obviously, such thoughts not only distort the perception of conclusions and predictions of cosmic, and is an occasion to put their work on the shelf of history.

For this reason, addressing the formation of cultural and historical concept of global consciousness to cosmists' art, there is a limitation among the opinions of representatives of this scientific direction. Only defining the framework of the construction, it will be possible to discover another aspects. The largest heuristic potential in the context of this study belongs to the Ukrainian scientist, the first president of National Academy of Sciences of Ukraine V. Vernadskiy. As well as other cosmists, he went out of existing in that time scientific knowledge, considering that «in science there is no awareness that the phenomenon of life and the phenomenon of dead nature, taken from geological, i.e. planetary perspective, are the manifestation of a single process» [3, p. 12]. Thus, life is not a random phenomenon, but a natural result of the world evolution. Actively affecting the biosphere by science and innovation, Humanity turns it into the noosphere. Being explored by means of devices and mechanisms, the noosphere newly organizes the biosphere.

The course of history must transform the social consciousness into global consciousness. In such a way the thinker has shifted the responsibility for further destiny of Earth, nature, humankind to every individual who, once started transforming the biosphere, is not able to stop, slow down or turn the process in the opposite direction. Thereupon the researcher makes the conclusion that the existence of factors independent from the environment is impossible [5, p. 342]. Going further in his conclusions he suggests that subsequently the Cosmos will become the environment of human livelihoods. Focusing on the cosmic space, from our point of view, contained the function of human ascension to the level of global consciousness, diverting us from wars, typical for past epochs, redistribution of resources, the imposition of power and so on. On the level of social consciousness there had to be stated the priority of space exploration, searching new energy resources, innovative materials, health care improvement, targeting the technological breakthrough in the fields of science, education and technologies.

Other representatives of cosmic philosophy also justified the idea of the necessity of escaping from the planet scope. Thus, Ukrainian biologist M. Kholodniy was inclined to the idea of space origin of human intellect. The convincing argument for «organic relationship of the mind with the whole universe is the effectiveness of mathematic analysis methods for accurate description, explanation and prediction of natural phenomena» [8, p. 146] that proves the mutual origin and co-evolution of human and the cosmos. Having taken the concept «anthropocentrism» as a basis for his analysis, he eventually suggested to replace it by the concept «anthropocosmic», the point of which is that the attitude of a human to the nature is currently changing, he endeavors not only to conquer it but also to comprehend the mysteries of the cosmos and matter structure and evolution.

The problem of new concept expediency and its role in human social progress is appropriate in such a context. And though the ideas about connection of the Cosmos and humankind, suggested by M. Kholodniy, do not meet the status of instrumental knowledge, they bear the conclusions, important for information age. Globalization, accelerated by information network, has given a human the reasons to recognize himself as a citizen of the world. But this fact, in itself, does not impose on human the commitments for restructure the relationship to themselves and to society. According to the idea of Ukrainian explorer, the concept of the basic provisions of antropocosmic should contribute to the development of new forms of public relations. These forms should be focused on humanity has recognized the mission to fulfill the tasks adjacent to the achieved cosmic horizons. As opposed to the scientist V. Vernadskiy, M. Kholodniy holds the each individual responsible for the future [8, p. 178]. Rising above blind historical necessity, people should realize consequences of their acts, and will directions to activation of human evolution as bio-cosmic being. When analyzing the key ideas of a natural-science direction of cosmic it is impossible to ignore the scientific achievements of K. Tsiolkovskiy. His achievements are still quoted in astrophysics, aerodynamics and rocket building works. The famous scientist one of the first has described relationships between man and nature as the ratio of elements of a single system. Therefore, together with scientific findings ethical, religious, sociological and futurist aspect have found place in his works. Comparative analysis of the human history has found an original cyclicality. Every consecutive circle of the cycle brings complications of the famous vital functions arrangement forms [9, p. 30-31]. Such wave processes of coevolution have allowed K. Tsiolkovskiy to form concept of the Citizen of the Universe.

And while his views on this concept can be called as metaphysical, anyway it indicates the place of the man in Evolution of the Universe. When the humanity has recognized the secrets, laws of miracle, beauty, the paradoxes and promises it has no rights to return to the previous era, and instead – it obliged to enter a new era and be ready for new trial and achievements. On the basis of scientific discoveries K. Tsiolkovskiy has built the coherent social utopia. With sincere hope for human desire for happiness, he has proposed to develop actively the humanity consolidation projects and to search for an optimal model of administrative management, and also to involve the nations into universal foundations of moral discipline. In general, these social and philosophical ideas which were developed within the philosophy of cosmic have both their supporters and critics alike. In any case there is an undeniable thesis that humanity cannot progress without having to overcome the baggage of contradictions which had been accumulated by centuries. While achieving a high level of social self-organization, revealing the globalization potential, introducing a system of information networks we are convinced that humanity must be away from religious, ethical, aesthetic, legal, educational and other types of the contradictions.

They should be as decoration of the nations and countries, but not their burden, the cause of conflict, death and suffering. Apparently, such changes require the evolution of social consciousness, to achieve the global level which is indifferent to disagreements. Such thoughts of scientists appear to express nothing more than their worldview orientation and cannot be verified by means of scientific facts, hypotheses and theories. If it is true, then the conclusions cannot be the arguments not only in exact or natural sciences but also in humanities discussions.

In order to refute these accusations let's turn to the creative heritage of prominent scientist, inventor and philosopher O. Chizhevskiy. Investigating solar activity, he proved its connection with civilization processes. Having studied the background of this problem, he found out that «a millennium before the beginning of the research study of nature, there was a deep conviction that the life was only the trembling of cosmic forces, the flow of cosmic energy» [10, p. 502]. That is, the life of a human being and the vital activity of humanity are determined by cosmic processes among which one can observe the transition of cosmic energy to mental states. O. Chizhevskiy grounded that according to the cycles of solar activity weather conditions change as well as crop yield, animal migration, the activity of microorganisms, the level of epidemiological diseases, frequency of sudden deaths etc. Thus, we cannot exclude the human personality from the general structure of nature, and tear it away from mechanics of the Universe. At the same time O. Chizhevskiy emphasized that this influence was not direct and obvious; it should be detected, developed and extended.

The conclusions of the representatives of philosophy of cosmic correlate with modern natural-scientific theories and humanities works. So, V. Stiopin and L. Kuznetsova discovered «the coincidence of basic principles of philosophy of cosmic and many fundamental ideas of modern scientific picture of the world and its worldview conclusions» [7, p. 242]. Comparing philosophy of cosmic with postnonclassical science, L. Drotianko notes: «thinkers of this school involved the terminology of modern science at the beginning of the 19th century» [6, p. 185]. The laws of non-equilibrium thermodynamics, representing non-linear, stochastic, co-operative and similar properties of open self-regulating systems finally convinced the researchers of the rightness of the worldview orientation (outlined by cosmists) on Space interpretation as a part of social space.

Therefore we agree with A. Bazaluk's opinion, who believes that «the basis of a future person's outlook should be laid on the realization that his life is a life of the civilization, and the civilization activity will wide scaled and productive to that extend at which each person realizes oneself in life» [2, p. 4]. Consequently, modern scholars are unanimous in actuality of cosmic ideas to understand the historical, cultural and civilizational progress of mankind.

Conclusions

All mentioned above allows us to make several conclusions which specify the purpose of our research. First of all, let's pay attention to cosmists' thesis on the relationship between life and natural processes. Translating this into the systems language, we get the law of direct dependence of social actions for the whole social space at the condition of its globalization. Meanwhile the global information networks, which determine the current social metrics, are not able to lead humanity beyond a global scale. Thus, a social space is not expanding as the creators of the digital revolution dreamt of, but shrinking with every technological or social and humanitarian innovation. Secondly, the noosphere provided social space with the third dimension, by having extended it physically. To move in three directions – civilizational, cultural and noospheric – mankind must aim all forms of social consciousness on a global perspective. Therefore, the task of understanding the global consciousness as a cultural and historical concept is considered to be a relevant social and philosophical issue. By solving it, humanity not only will gradually get rid of the burdens of past conflicts but also outline prospects for further development, deploy a new horizon, fully understand its essence as a universe intelligence carrier.

References

1. Drotianko L.H. Fenomen fundamentalnogo i prykladnogo znanntia (Postneklasychne doslidzhennia) / L. H. Drotianko. – K.: Vyd-vo Yevrop. un-tu finansiv, inform. system, menezhmen. i biznesu, 2000. – 423 s
2. Breus S.V., Yahodzinskiy S.M. Modeliuvannia ekonomichnoi bezpeky systemy zakladiv vyshchoi osvity u konteksti upravlinnia neiu u viiskoviyi chas. Nash 2023 rik. Formuvannia bezpekovooho seredovyshcha v umovakh voiennoho stanu: kolektyvna monohrafiia / za zah. nauk. red. O. I. Tymoshenko. — Kyiv: Yevropeiskiy universytet, 2023. — S. 203-216.
3. Skliarenko O.V., Yahodzinskiy S.M., Nikolaievskiy O.Iu., Nevzorov A.V. Tsyfrovii interaktyvni tekhnologii navchannia yak nevidienna skladova suchasnoho osvitnoho protsesu // Naukovyi zhurnal «Innovatsiina pedahohika», Vypusk 68, T.2. – 2024. - s. 250-257
4. Onoprienko M.V. Dorozhnia karta vysokoykh tekhnologii. Istoryko-naukovii ta filososfsko-naukoznavchii aspekty mehatekhnologii znannievoho suspilstva. — K.: Inform.-analit. ahentsov, 2011. — 359 s.

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-47>

UDC 519.6:001.5

LEVKIN Dmytro

State Biotechnological University
<https://orcid.org/0000-0002-1980-4426>
e-mail: dimalevkin23@gmail.com

ZAVGORODNIY Olexiy

State Biotechnological University
<https://orcid.org/0000-0003-2510-9160>
e-mail: alexey.z.2014@gmail.com

MAKAROV Olexander

V.N. Karazin Kharkiv National University
<https://orcid.org/0000-0002-9050-4987>
e-mail: makarovfamily07@gmail.com

KOTKO Yana

State Biotechnological University
<https://orcid.org/0000-0001-6611-8130>
e-mail: kotkoyana@ukr.net

GRID-STEP OPTIMIZATION OF THE PARAMETERS OF THERMAL IMPACT ON THE TECHNICAL SYSTEM

The article solves applied problems of optimizing the parameters of technical systems under the influence of concentrated, discrete sources of thermal load. To improve the accuracy and speed of solving applied optimization problems, the authors propose a generalized procedure for finding the optimal thermal load parameters. This procedure consists of well-known computational methods for solving boundary value problems and ensuring the optimization of the objective function and its parameters.

To calculate the values of the temperature field, it is necessary to solve a nonlocal boundary value problem of a system of nonlinear differential heat transfer equations. In order to find the conditions for the correctness of boundary value problems, the authors used the theory of pseudo-differential operators in the space of generalized slow power functions. This made it possible to guarantee the correctness of computational and applied optimization mathematical models.

The procedure for grid-step optimization of the parameters of thermal action on a multilayer material proposed by the authors is based on a grid approach with discretization of the main parameters of thermal load and grinding of a large uniform grid in the vicinity of the selected node of the large grid. The directed search for local extremes of the mesh model is carried out by the nodes of the crushed mesh. The search for local extrema is performed by selecting the next node of a large grid. This approach will increase the accuracy of solving applied optimization problems by allowing further mesh refinement and refinement of the values of local extremes, and, consequently, refinement of the values of the global extremum of the objective function. The optimization of the thermal impact parameters was carried out according to the criterion of reducing damage to the test material. This makes it possible to increase the accuracy of the technological process of thermal action on a multilayer material.

Keywords: technical system, boundary value problem, correctness, grid-step optimization.

ЛЕВКІН Дмитро, ЗАВГОРОДНІЙ Олексій

Державний біотехнологічний університет

МАКАРОВ Олександр

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

КОТКО Яна

Державний біотехнологічний університет

СІТКОВО-КРОКОВА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕРМІЧНОЇ ДІЇ НА ТЕХНІЧНУ СИСТЕМУ

В статті розв'язані прикладні задачі оптимізації параметрів технічних систем під дією зосереджених, дискретних джерел термічного навантаження. Для підвищення точності та швидкості розв'язання прикладних задач оптимізації авторами запропонована узагальнена процедура пошуку оптимальних параметрів термічного навантаження. Ця процедура складається з відомих обчислювальних методів для розв'язання крайових задач і забезпечення оптимізації функції мети та її параметрів.

Для розрахунку значень температурного поля потрібно розв'язати нелокальну крайову задачу системи нелінійних диференціальних рівнянь теплопровідності. З метою знаходження умов коректності крайових задач авторами використана теорія псевдодиференціальних операторів в просторі узагальнених функцій повільного степеневого зростання. Це дозволило гарантувати коректність розрахункових і прикладних оптимізаційних математичних моделей.

Запропонована авторами процедура сітково-крокової оптимізації параметрів термічної дії на багат шаровий матеріал заснована на сітковому підході з дискретизацією основних параметрів термічного навантаження та подрібненні великої рівномірної сітки в околі обраного вузла великої сітки. Спрямований пошук локальних екстремумів сіткової моделі здійснений вузлами подрібненої сітки. Перебір локальних екстремумів здійснений шляхом вибору чергового вузла великої сітки. Цей підхід дозволить підвищити точність розв'язання прикладних оптимізаційних задач за рахунок можливості наступного подрібнення сітки та уточнення значень локальних екстремумів, а, отже, і уточнення значень глобального

екстремуму функції мети. Оптимізація параметрів термічної дії здійснена за критерієм зменшення пошкодження піддослідного матеріалу. Це дозволяє підвищити точність технологічного процесу термічної дії на багатoshаровий матеріал.
Ключові слова: технічна система, крайова задача, коректність, сітково-крокова оптимізація.

Formulation of the problem

To improve the accuracy of optimizing the parameters of technical systems under the influence of sources of focused thermal load, it is necessary to increase the detail of the modeled processes and increase the number of implemented applied optimization mathematical models. This will increase the amount of memory consumed when they are implemented on a computer. This problem can be solved by using specialized analog and hybrid grid processors that almost instantly perform many iterations to solve boundary value problems. It should be noted that to calculate the temperature of action on multilayer systems, it is necessary to solve a system of nonlinear, inhomogeneous, multidimensional heat conduction equations. To substantiate the correctness of the calculated mathematical models, it is advisable to use specialized methods and estimates on the function of solutions in the space of generalized slow power functions bounded on a segment. The optimization of parameters is ensured through the multiple implementation of boundary value problems that describe the state of the modeled system. This connection between applied optimization and computational mathematical models creates the condition that the correctness of boundary value problems determines the correctness of applied optimization mathematical models.

Due to the nonlinearity of the constraints on the objective function and its parameters, the nonlinearity of the objective function, the multidimensionality of the solution function, and other specific features inherent in computational and applied optimization mathematical models, it is advisable to apply a generalized approach from known numerical methods to optimize the objective function and its parameters. It is based on the procedure of grid-step optimization of the main parameters of thermal action on a multilayer material to reduce its damage. Using the results of the research in this article, it will be possible to calculate the optimal parameters of thermal action on a multilayer material.

Analysis of the latest research

Articles [1–3] present fundamental studies of calculation and optimization mathematical models, as well as their application to solve a number of applied problems. Publication [4] is devoted to the development of logistics routes for fuel transportation between enterprises in Ukraine. The authors of publication [5] proposed mathematical models and methods for their implementation to control possible risks in energy supply at domestic manufacturing enterprises and to avoid interruptions in energy supply. Optimal modes of heat treatment of crops were obtained [6]. In [7], the authors modernized the methods of economic and mathematical modeling, in terms of taking into account the specifics of the modeled processes, to improve the efficiency of production activities of domestic agricultural enterprises. We also note the results of article [8], which describes the calculation and optimization of the parameters of technical means for reducing waste during sheet metal melting. The authors of publications [9, 10] calculated the optimal modes of laser embryo division.

The purpose of the work is to propose a procedure for grid-step optimization of the parameters of a technical system containing concentrated, discrete sources of thermal action.

Presenting main material

The authors propose a procedure of grid-step optimization of the main parameters (power and time) of thermal action on a multilayer technical system subjected to thermal action.

Step 1: Input information: spatial shape of the material; geometric dimensions of the material; material discretization steps; coefficients included in the formulation of the initial boundary value problem; parameters of the computational process for the numerical implementation of the boundary value problem; parameters of the computational process for the numerical implementation of the stepwise optimization method; criteria for stopping the search for a local extremum and enumeration of local extrema.

Step 2. On the basis of the specified steps of discretization of the required parameters (coarse grid) the formation of the grid model of the required parameters is carried out (discretization: power-time of thermal influence).

Step 3: Search and justification of conditions of correctness of nonlocal boundary value problem for the system of multidimensional, nonlinear differential equations of heat conduction, which describes the state of multilayer material under thermal influence. The corresponding boundary value problem is solved and the values of the material damage minimization criterion are determined for all nodes of a large uniform grid.

Step 4: Selection of the mesh model node by the criterion of material damage minimization is carried out.

Step 5. In the vicinity of the selected node the mesh model steps of the required parameters are chopped.

Step 6. Based on the step-by-step method, a directional improvement of the value of the criterion of minimizing the damage of the material under study is carried out by the node points of the chopped grid.

Step 7. The search for improvement of the value of the controlled criterion by node points of the crushed grid ends when there is no node point with the "best value" of this criterion. In this case it is considered that a local

extremum has been found, which is memorized for its further comparison with other values of local extrema.

Step 8: To implement the procedure of enumeration of local extrema, a new node point is selected on a large grid of the sought parameters (to step 4) and the process is repeated (steps 5, 6, 7, 8). In this case, each new obtained value of the local extremum is compared with the previous one and the best one is memorized.

It should be noted that the selection of the next node on the large grid can be carried out both randomly and, for example, according to the preliminary ranking of values of the criterion of minimization of material damage in the nodal points of the large grid. Criteria for termination of the search process of local extrema enumeration can be, for example: expiration of the allotted time for solving the problem; achievement of any small value of mismatch between the last two values of local extrema set in advance; enumeration of all node points of the coarse grid, with its subsequent refinement and analysis; achievement of the specified accuracy of the solution [11, 12].

Step 9: The values of power and duration of thermal impact on the multilayer material, as well as the value of the criterion for reducing the damage to the material (the volume of the damaged part of the material under study).

Conclusions

The paper proposes a procedure for optimizing the parameters of thermal action on a multilayer material. Its uniqueness lies in the definition and justification of the conditions for the correctness of the calculated mathematical models (boundary value problems) describing the state of a multilayer material of non-standard geometric shape and microscopic size. A method of studying the Cauchy problem for a system of perturbed pseudo-differential equations is proposed, on the basis of which the conditions for the correctness of this problem are determined, and it is also found out which pseudo-differential operators can perturb the right-hand side of the main equation of the boundary value problem (the source of influence) so that it remains correct. The obtained results allow us to apply the above method, for example, to determine and prove the conditions for the correctness of the boundary value problem of the heat conduction equations in spherical coordinates, which is the basis of the computational mathematical model for a spherical, inhomogeneous material under thermal influence. This makes it possible to guarantee the existence and uniqueness of the solution of the considered boundary value problem. The correctness of the computational mathematical models led to the correctness of the applied optimization mathematical models used to find the optimal parameters of this technical system. This made it possible to increase the accuracy of optimization of the main parameters of thermal action and reduce material damage in the process.

References

1. Yeromenko V. Periodic solutions of linear systems with asymmetric variable rank matrix in the derivatives / V. Yeromenko, A. Aliluiko. // Scientific Journal of TNTU. – Ternopil: TNTU, 2019. – Vol. 96. No.4. – Pp. 112–119. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2019.04.112
2. Fardigola L. Controllability Problems for the Heat Equation in a Half-Plane Controlled by the Dirichlet Boundary Condition with a Point-Wise Control. / L. Fardigola, K. Khalina. // Journal of Mathematical Physics, Analysis, Geometry. – 2022. – Vol. 18. Issue. 1. – Pp. 75–104.
3. Pavlichkov S. A finite-time small-gain theorem for infinite networks and its applications. / Pavlichkov S. // In: Proc. 2018 IEEE Conference on Decision and Control (CDC) (Miami Beach, FL, USA, December 17-19, 2018). – USA, 2018. – Pp. 700–705. <https://doi.org/10.1109/CDC.2018.8619208>
4. Bogoslavka O.Yu. [The Impact of Fuel Delivery Logistics on the Cost of Thermal Energy on the Example of Biofuels Boilers in Ukraine](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1049/1/012018). / Bogoslavka O.Yu., Stanytsina V.V., Artemchuk V.O., Maevsky O.V., Garmata O.M., Lavrinenko V.M., Zinovieva I.S. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2022. – Vol. 1049. – 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1049/1/012018>
5. Zghurovets O.V. Efektyvni metody upravlinnia spozhyvanniam elektrychnoi energii. / O.V. Zghurovets, H.P. Kostenko. // Problemy zagalnoi energetyky. – Kyiv, 2007. – No. 2(16). – S. 75–80.
6. Savchenko V. Pre-sowing treatment of sunflower seeds in a magnetic field. / Savchenko V., Synyavskiy O., Nesvidomin A. // 2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). – Kharkiv, 2022. – Pp. 1–5. DOI: 10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916403
7. Levkina R. Management of innovative marketing techniques as an effective business tool. / R. Levkina, A. Petrenko. // Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal. – 2019. – Vol. 5. No. 1. – Pp. 37–47.
8. Zakharov A.V. Metalurhiini protsesy plavlennia i perenesennia elektrodnoho ta prysadnoho materialiv u shlakovii vanni pry elektroshlakovomu naplavlenni. / Zakharov A.V., Rybalko I.M., Saichuk O.V. // Visnyk LTEU. Serii: «Tekhnichni nauky». – 2023. – No. 33 – S. 12–18. <https://doi.org/10.36477/2522-1221-2023-33-02>
9. Douglas-Hamilton D.H. Thermal effects in laser-assisted pre-embryo zona drilling / D.H. Douglas-Hamilton, J. Conia // Journal of Biomedical Optics. – 2001. – № 6(2). – Pp. 205–213.
10. Antinori S. Experience with the UV non-contact laser in a assisted hatching in human. / Antinori S. // Journal of Assisted Reproduction and Genetics. – 1997. – Vol.14. Issue 5. – 200 p.
11. Levkin D.A. Matematychni modeli optymizatsii parametriv dii lazernoho promenia na bahatosharovi biosystemy. / Levkin D.A. // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Zbirnyk naukovykh prats. Serii: «Mekhaniko-teknologichni systemy ta kompleksy». – Kh.: NTU «KhPI», 2014. – No. 60 (1102). – S. 77–84.
12. Kravtsov A. Development of a rheological model of stress relaxation in the structure of an oil film on the friction surface with fullerene additives. / Kravtsov A., Suska A., Biekirov A., Levkin D. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2021. – Vol. 3. No. 7 (111): Applied mechanics. – Pp. 93–99. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.235468>