Інститут систем управління
МНО Азербайджанської республіки

Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут"

Харківський національний
університет радіоелектроніки

Національний аерокосмічний університет
імені М. Є. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут"

Університет технології і гуманітарних наук
(м. Бельсько-Бяла, Польща)

ПРОБЛЕМИ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ

Тези доповідей тринадцятої міжнародної
науково-технічної конференції

27 – 28 листопада 2025 року

Том 4: секції 5, 6

Баку – Харків – Бельсько-Бяла –2025

УДК 004 : 681.3 doi: https://doi.org/10.32620/PI.25.t4

У збірнику подано тези доповідей тринадцятої міжнародної науково-технічної конференції “Проблеми інформатизації”. Розглянуті питання за такими напрямами: інформатизація навчального процесу; застосування, експлуатація та безпека функціонування телекомунікаційних систем та мереж; комп’ютерні методи і засоби інформаційних технологій та управління; методи швидкої та достовірної обробки даних в комп’ютерних системах та мережах; цивільна безпека та захист критичної інфраструктури (інформаційна підтримка); сучасні інформаційно-вимірювальні системи.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Співголови оргкомітету:

ГАШИМОВ Ельшан Гіяс огли (*д.н.б. & в.н., проф., ІСУ АР, Баку, Азербайджан*);
КАРПІНСЬКІ Міколай (*д.н., проф., Університет Бельсько-Бяла, Польща*);
КОВАЛЕНКО Андрій Анатолійович (*д.т.н., проф., ХНУРЕ, Харків, Україна*);
КУЧУК Георгій Анатолійович (*д.т.н., проф., НТУ «ХПІ», Харків, Україна*);
ФЕДОРОВИЧ Олег Євгенович (*д.т.н., проф., НАУ «ХАІ», Харків, Україна*).

Члени оргкомітету:

ГЛАВЧЕВ Максим Ігорович (*к.е.н., доц., НТУ «ХПІ», Харків, Україна*);
ГЛИВА Валентин Анатолійович (*д.т.н., проф., КНУБА, Київ, Україна*);
ДОРОНІН Євген Володимирович (*к.т.н., доц., ДУ «КАІ», Київ, Україна*);
ЗАЙЦЕВА Єлєна (*к.т.н., проф., Університет міста Жиліна, Жиліна, Словаччина*);
ЗАПОЛОВСЬКИЙ Микола Йосипович (*к.т.н., проф., НТУ «ХПІ», Харків, Україна*);
КАЛІНІН Євгеній Іванович (*д.т.н., проф., НУ БрПкУ, Київ, Україна*);
КОЛОМІЙЦЕВ Олексій Володимирович (*д.т.н., проф., НТУ «ХПІ», Харків, Україна*);
КОСЕНКО Віктор Васильович (*д.т.н., проф., НУ ПП, Полтава, Україна*);
ЛЕВАШЕНКО Віталій (*к.т.н., проф., Університет міста Жиліна, Жиліна, Словаччина*);
ЛЕВЧЕНКО Лариса Олексіївна (*д.т.н., доц., НТУУ «КПІ», Київ, Україна*);
ЛЕЩЕНКО Олександр Борисович (*к.т.н., проф., НАУ «ХАІ», Харків, Україна*);
МОЖАЄВ Олександр Олександрович (*д.т.н., проф., ХНУ ВС, Харків, Україна*);
ПОДОРОЖНЯК Андрій Олексійович (*к.т.н., доц., НТУ «ХПІ», Харків, Україна*);
РОМАНЕНКОВ Юрій Олександрович (*д.т.н., проф., ХНУРЕ, Харків, Україна*);
РУБАН Ігор Вікторович (*д.т.н., проф., ХНУРЕ, Харків, Україна*);
РУДНИЦЬКИЙ Володимир Миколайович (*д.т.н., проф., ДНДІ ОВТ, Черкаси, Україна*);
СЄВЄРІНОВ Олександр Васильович (*к.т.н., доц., ХНУРЕ, Харків, Україна*);
СЕМЕНОВ Сергій Геннадійович (*д.т.н., проф., ПУ, Краків, Польща*);
СМІРНОВ Олександр Анатолійович (*д.т.н., проф., ЦНТУ, Кропивницький, Україна);*
ТРЕТЬЯКОВ Олег Вальтерович (*д.т.н,, проф., ДУ «КАІ», Київ, Україна*);
ШЕФЕР Олександр Віталійович (*д.т.н., проф., ПНТУ, Полтава, Україна*).

Секретаріат оргкомітету:

КУЧУК Ніна Георгіївна (*д.т.н., проф., НТУ «ХПІ», Харків, Україна*);
ЛЯШЕНКО Олексій Сергійович (*к.т.н,, доц., ХНУРЕ, Харків, Україна*).

Institute of Control Systems
of the Ministry of Science and Education
of the Republic of Azerbaijan

National Technical University
Kharkiv Polytechnic Institute

Kharkiv National University
of Radio Electronics

National Aerospace University
Kharkiv Aviation Institute

University of Bielsko-Biala

PROBLEMS OF INFORMATIZATION

Proceedings of 13-th International
Scientific and Technical Conference

November 27 – 28, 2025

VOLUME 4: SECTIONS 5, 6

Baku – Kharkiv – Bielsko-Biala –2025

UDC 004 : 681.3 doi: https://doi.org/10.32620/PI.25.t4

The collection presents abstracts of reports of the Thirteenth International Scientific and Technical Conference "Problems of Informatization". Issues in the following areas are considered: informatization of the educational process; application, operation and safety of telecommunication systems and networks; computer methods and means of information technology and management; methods of fast and reliable data processing in computer systems and networks; civil security (information support); modern information and measurement systems.

ORGANIZING COMMITTEE

Тринадцята міжнародна науково-технічна конференція “Проблеми інформатизації” проводиться 27 та 28 листопада 2025 року в режимі ONLINE.

Тези доповідей доступні в INTERNET.

ТОМ 1

СЕКЦІЯ 1. Інформатизація навчального процесу.

Керівниця секції: д.т.н. проф. Н. Г. Кучук, НТУ «ХПІ», Харків.
Секретарка секції: к.т.н. доц. О. М. Бельорін-Еррера, НТУ «ХПІ», Харків.

СЕКЦІЯ 2. Застосування та експлуатація телекомунікаційних систем та мереж.

Керівник секції: д.т.н. проф. Г. А. Кучук, НТУ «ХПІ», Харків.
Секретар секції: к.т.н. доц. С. С. Бульба, НТУ «ХПІ», Харків.

ТОМ 2

СЕКЦІЯ 3. Безпека функціонування телекомунікаційних систем та мереж.

Керівник секції: д.т.н. проф. О. О. Можаєв, ХНУВС, Харків.
Секретар секції: к.т.н. доц. О. В. Сєвєрінов, ХНУРЕ, Харків.

СЕКЦІЯ 7. Сучасні інформаційно-вимірювальні системи.

Керівник секції: д.т.н. проф. О. В. Коломійцев, НТУ «ХПІ», Харків.
Секретар секції: к.т.н. доц. А. О. Подорожняк, НТУ «ХПІ», Харків.

ТОМ 3

СЕКЦІЯ 4. Комп’ютерні методи і засоби інформаційних технологій та управління.

Керівники секції: д.т.н. проф. І. В. Рубан, ХНУРЕ, Харків.
д.т.н. проф. А. А. Коваленко, ХНУРЕ, Харків.
Секретар секції: к.т.н. доц. О. С. Ляшенко, ХНУРЕ, Харків.

ТОМ 4

СЕКЦІЯ 5. Методи швидкої та достовірної обробки даних в комп’ютерних системах та мережах.

Керівник секції: д.т.н. проф. В. В. Косенко, НУ ПП, Полтава.
Секретар секції: к.т.н. доц. Д. О. Лисиця, НТУ «ХПІ», Харків.

СЕКЦІЯ 6. Цивільна безпека та захист критичної інфраструктури.

Керівник секції: д.т.н. проф. О. В. Третьяков, ДУ «КАІ», Київ.
Секретар секції: к.т.н. доц. Є. В. Доронін, ДУ «КАІ», Київ.

СЕКЦІЯ 5
МЕТОДИ ШВИДКОЇ ТА ДОСТОВІРНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ ТА МЕРЕЖАХ

Керівник секції: д.т.н. проф. В. В. Косенко, НУ ПП, Полтава
Секретар секції: к.т.н., доц. Д. О. Лисиця, НТУ «ХПІ», Харків

АВТОНОМНЕ ВИЯВЛЕННЯ МЕТАЛЕВИХ ТА ПЛАСТИКОВИХ ОБ'ЄКТІВ ПО ВІЗУАЛЬНИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Дергачов К.Ю., Гуртовий О.О.
Національний аерокосмічний університет "Харківський авіаційний інститут", Харків, Україна

Сучасні технології розпізнавання об'єктів мають високу ефективність автономної навігації та наведення БПЛА у невідомому просторі. Складні умови середовища, різкі перепади освітлення та відсутність сигналу значно впливають на точність методів, а існуючі алгоритми на базі ШІ вимагають значних обчислювальних ресурсів [1, 2]. Тому, оптимізація методів та підвищення їх точності за рахунок адаптивних підходів, а також візуального сприйняття є актуальним завданням, що вимагає удосконалення.

Метою доповіді є розробка стратегії фрагментації зображення безпілотника, для визначення цифрового значення пікселів, що відповідають реальному типу матеріалу. Дані доповіді показують необхідність створення програмного застосунку для БПЛА в умовах змін освітлення та динамічності.

Основи відтворення об'єктів, їх блиску, рефлексів, взаємодії кольорів та світлотіні вже давно використовується як у нарисній геометрії так і в інших сферах життєдіяльності, що фундаментально впливають на сприйняття. Огляд існуючих підходів дозволив провести якісну оцінку при співставленні результатів налаштування шейдерів до характеристик матеріалу реальних об'єктів [3, 4]. Висока реалістичність текстури досягається при врахуванні всіх можливих реакцій зразка до будь-якого освітлення. Завдяки базам значень цифрових матеріалів, як Disney BRDF Model, Epic Games PBR Guide, Allegorithmic, Quixel кожен об'єкт оточення підлягає реалізації з нуля у 3D сцені, за наявності лише одного референсу. Швидкість моделювання 3D сцени малогабаритними платформами може знижуватися через громіздкість геометричної сітки моделей [5]. Тому, функції обробки потребують методів оптимізації на базі принципів Alpha-brushes та алгоритму Level of Detail (LOD).

Розробка текстури для кожної 3D моделі — це дефрагментований набір шарів (текстур), синтез яких надає достовірне значення матеріалу. Карта Albedo (базовий колір) представляє собою виміряне дифузне відбиття матеріалу; Metalness (чорно-біла) у діапазоні від 0 (діелектрик) до 1 (метал); Roughness (у відтінках сірого) із значеннями від 0 (дзеркальна) до 1 (повністю матова) поверхня об'єкту [4]. Також при ідентифікації використовуються мапи

з більшою деталізацію об’єкту, а саме глибиною (Height, Displacement, Normal), відзеркаленням (Specular), чи затіненням (Ambient Occlusion).

Фрагментування секвенції кадрів здійснюється у декілька паралельних потоків, де відбувається одночасний пошук логічних (True) ознак приналежності ділянки до відповідного типу матеріалу серед діапазонів шороховатості, кольору, металіку, прямолінійних форм, наявності кутів та симетрії об’єктів, а також природи походження (Organics, Hard-Surface, Machinery) [6]. Звідси, вірогідність виявлення металу чи пластику, навіть, якщо його було пофарбовано збільшується за рахунок отримання кількісного набору позитивних ознак області інтересу на зображені до відповідних критеріїв PBR. Ідентифікація та аналіз кадрів становлять основу механізмів виявлення у межах розробки. У попередніх дослідженнях було реалізовано базову модель розпізнавання об’єктів за маскою кольору з обмеженим спектром відтінків. Подальший розвиток спрямований на вдосконалення алгоритмів ідентифікації шляхом урахування форми, текстури та варіацій освітлення, що забезпечить підвищення точності розпізнавання й розширення діапазону виявлення. Отже, алгоритм виявлення металу та пластику на основі комплексного аналізу зображення з камери може бути використаний у системах відтворення цифрової сцени, а також для підвищення точності позиціонування БПЛА, що покладаються на алгоритми комп’ютерного зору без машинного навчання. Використання цифрових значень поверхні значно збільшує вірогідність їх майбутнього виявлення, а також оптимізує роботу автономної системи.

Список літератури

1. Hurtovyi, O., Dergachov, K., Yaremenko, A. (2025). Visual Positioning of the UAV in Conditions of Impossibility of Using External Navigation Signals. In: Advances in Civil Aviation Systems Development. ACASD 2025. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1418. Springer, Cham. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-91992-3_36.

2. Dergachov, K., Hurtovyi, O., Hashimov, E. (2025). Adaptive algorithm for visual positioning of UAVs in the local environment. In CMSE’25: International Workshop on Computational Methods in Systems Engineering (Kyiv, Ukraine, June 12, 2025). CEUR Workshop Proceedings. URL: https://ceur-ws.org/Vol-3981/paper09.pdf.

3. Baslamisli A. S., Liu Y., Karaoglu S., Gevers T. Physics-based shading reconstruction for intrinsic image decomposition // Computer Vision and Image Understanding. – 2021. – Vol. 205. URL: https://doi.org/10.1016/j.cviu.2021.103183.

4. Wang, L., Tran, D. M., Cui, R., TG, T., Dahl, A. B., Bigdeli, S. A., Chandraker, M. (2025). Materialist: Physically based editing using single-image inverse rendering. URL: https://arxiv.org/abs/2501.03717.

5. Єльчанінов, Д. Б., Скрипка, Б. Ю. (2024). Огляд та шляхи пришвидшення прикладних задач візуалізації і моделювання засобами розподілених систем. У І (VII) МНПК «Інформаційні технології: теорія і практика» (Т. 1, Вип. 1, с. 329–331). Україна, Харків: НТУ «ХПІ». URL:https://ir.nmu.org.ua/server/api/core/bitstreams/d81be8a9-b3a9-4ff3-8547-1f1718e035fa/content.

6. Hou, L., Lu, K., Xue, J., & Li, Y. (2022). Shape-Adaptive Selection and Measurement for Oriented Object Detection. Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, 36(1), 923-932. URL: https://doi.org/10.1609/aaai.v36i1.19975

СИНТЕТИЧНІ ДАНІ ДЛЯ НАВЧАННЯ МОДЕЛЕЙ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ В ЗАВДАННЯХ БПЛА

Айзацький О.М., Дергачов К.Ю.
Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна

Останнім часом спостерігається стрімке зростання популярності використання комп'ютерного зору у задачах, пов'язаних із безпілотними літальними апаратами (БПЛА). Однак, однією з ключових перешкод на шляху розвитку цих технологій є нестача доступних та точно анотованих реальних наборів даних. Процес збору та ручного маркування реальних зображень є надзвичайно дорогим та трудомістким, що, до того ж, часто призводить до неточності у розмітці [1]. Наприклад, за деякими оцінками, ручне створення масок для семантичної сегментації може займати до 90 хвилин роботи на один кадр [2]. Створення наборів даних для авіації є особливо складним завданням, на яке впливають численні фактори та обмеження. Існують без польотні зони та безпекові обмеження для зйомки з БПЛА. Крім того, закони про конфіденційність, зокрема GDPR в Європі, суттєво обмежують збір та використання реальних даних, що містять персональну інформацію.

Метою доповіді є представлення результатів дослідження щодо створення та оцінки ефективності синтетичних наборів даних для вирішення складних завдань комп'ютерного зору, на прикладі детекції автомобілів у міських умовах з перспективи БПЛА. Синтетичні дані були згенеровані у середовищі Unity з використанням програмного пакета Unity Perception Package. Дослідження включає порівняльний аналіз ефективності моделей на базі архітектури YOLOv8, навченої виключно на реальних даних з використанням набору даних VisDrone2019-DET, та моделей, навчених на розроблених синтетичних наборах даних, а також аналіз ефективності тонкого налаштування (fine-tuning) синтетичної моделі на обмеженій кількості реальних даних.

В доповіді наводяться результати порівняння моделей, навчених на реальних та синтетичних даних, для задачі однокласової детекції авто. Базова модель YOLOv8, навчена на відфільтрованому за відповідним класом наборі даних VisDrone, показала тестовий результат mAP@0.5 = 0.6723. Для генерації синтетичних даних було створено проект у Unity, що включає динамічну систему зміни погоди та освітлення, систему симуляції трафіку автомобілів і пішоходів, систему автономної генерації зображень з анотаціями та систему глибокої рандомізації параметрів сцени, положення об'єктів і камери. Було розроблено 8 сцен (4 денні та 4 нічні), що відтворюють різноманітні міські умови та сценарії. На даному етапі дослідження було створено два ітеративні синтетичні набори даних. Модель, навчена на першому наборі, досягла mAP@0.5 = 0.2467, тоді як другий, покращений набір, показав значне зростання ефективності – mAP@0.5 = 0.4015. Покращення було досягнуто шляхом збагачення сцен (додано парковки, рослинність), вдосконалення нічного освітлення та збільшення різноманітності планів камери. Кількість 3D-моделей

автомобілів було збільшено з 34 до 63, реалізовано більш реалістичну систему траєкторії руху камери, що імітує політ БПЛА, на основі шляхів Безьє з рандомізацією кута нахилу, створено фотореалістичні ефекти нічних фар автомобілів з використанням відблисків лінз та ефектів об'ємного світіння. Для визначення розбіжностей між синтетичними та реальними даними використовувався як статистичний аналіз, так і візуальна обробка результатів. Статистичний аналіз показав різницю в дисперсії Лапласа, у синтетичних даних вищий рівень деталізації та інший рівень різкості, а також вужчий динамічний діапазон і помітні колірні зсуви по H-каналу. Візуальна обробка результатів виявила фундаментальну проблему різниці в анотаціях amodal/modal (Unity анотує лише видимі частини об'єктів, тоді як VisDrone розмічений повними обмежувальними рамками навіть якщо об'єкти частково перекриті). Також виявлено нестачу складних нічних сцен з великою кількістю об'єктів у синтетиці через обмеження продуктивності рендерингу в реальному часі. Якість синтетичних даних у цьому контексті можна охарактеризувати через "розрив з реальністю" (Reality Gap), який, у свою чергу, поділяють на "розрив змісту" (Content Gap) та "розрив зовнішнього вигляду" (Appearance Gap) [6]. Вважається, що розрив змісту, тобто різноманітність об'єктів, сценаріїв та оточення, впливає на кінцевий результат значно більше, ніж фотореалізм [4]. Проте наше дослідження показує, що у складних задачах наближення до фотореалізму також дає відчутний результат. Наприклад, додавання різноманітності планів камери та розміщення авто на дорозі значно покращило детекцію, але й створення фотореалістичних ефектів фар дало помітний приріст на нічних сценах, а додавання 3D-моделей авто зі специфічними рисами, наприклад панорамний дах, значно покращило розпізнавання моделей, що до цього не розпізнавались. Ключовим експериментом стало тонке налаштування (fine-tune), модель, попередньо навчена на синтетичних даних, після до навчання лише на 400 реальних зображеннях досягла mAP@0.5 = 0.5892, що становить 87% ефективності порівняно з моделлю, навченою на повному реальному наборі даних. У більш простих задачах, синтетичні дані здатні показувати результати, близькі до реальних [1], але у таких складних умовах, як аерофотозйомка міського середовища, модель, навчена виключно на синтетиці, не демонструє такої ж ефективності [2]. Однак використання стратегії тонкого налаштування, коли модель попередньо навчається на синтетиці, а потім до навчається на дуже малій кількості реальних даних, показує високу ефективність [2, 4, 6]. Цей підхід дозволяє значно зекономити ресурси на зборі та дорогому анотуванні великих реальних наборів даних.

Список літератури

1. M. Wisniewski, Z. Rana, I, Petrunin, A. Holt, and S. Harman. 2024. Drone Detection using Deep Neural Networks Trained on Pure Synthetic Data. arXiv preprint arXiv:2411.09077 (2024).

2. C. Hinniger and J. Rüter, “Synthetic Training Data for Semantic Segmentation of the Environment from UAV Perspective,” Aerospace, vol. 10, no. 7, p. 604, 2023. doi: 10.3390/aerospace10070604

3. Jacobsen, B. N. (2023). Machine learning and the politics of synthetic data. Big Data & Society, 10(1). https://doi.org/10.1177/2053951722114537

4. **S**. Borkman et al., "Unity Perception: Generate Synthetic Data for Computer Vision," arXiv preprint, arXiv:2107.04259, 2021**.**

5. Rizzoli, G., Barbato, F., Caligiuri, M., & Zanuttigh, P. (2023). SynDrone - Multi-modal UAV Dataset for Urban Scenarios. Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV) Workshops. https://doi.org/10.48550/arXiv.2308.10491

6. Krump, M., & Stütz, P. (2023). Deep Learning Based Vehicle Detection on Real and Synthetic Aerial Images: Training Data Composition and Statistical Influence Analysis. Sensors, 23(7), 3769. DOI: 10.3390/s23073769

АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗРАХУНКУ ПОЛЯРІВ НА ОСНОВІ ПАРАМЕТРИЗОВАНОГО ОПИСУ ГЕОМЕТРІЇ ЛІТАЮЧОГО КРИЛА ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПОЛЬОТУ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

Дубінін В.А., Пугач Д.В., Дергачов К.Ю.
Національний аерокосмічний університет
«Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна

Розробка літальних апаратів є складним і ресурсозатратним процесом, що вимагає багаторазових етапів випробувань і доопрацювань. Традиційний підхід із численними циклами «проектування — тестування» часто призводить до пошкодження або втрати прототипів і значно залежить від погодних умов, доступності полігонів та кваліфікованого персоналу. Одним із ефективних способів оптимізації є перенесення випробувань у віртуальне середовище, що дозволяє мінімізувати витрати, прискорити тестування й уникнути фізичних ризиків. Проте більшість існуючих симуляторів або надто повільні для роботи в реальному часі, або базуються на спрощених фізичних моделях, що знижує достовірність результатів [1].

Метою роботи є створення архітектури системи, що забезпечує автоматичний розрахунок аеродинамічних поляр літального апарату на основі параметричного опису його геометрії та використання отриманих даних для моделювання польоту в реальному часі. Основою розробки став підхід відкладених обчислень, коли складні аеродинамічні розрахунки виконуються заздалегідь, а результати у вигляді коефіцієнтів зберігаються у таблицях [2]. Під час симуляції система лише звертається до цих таблиць, що забезпечує швидкодію й дозволяє виконувати реалістичне моделювання навіть на звичайних обчислювальних системах. Також використано модель незалежних аеродинамічних поверхонь, у межах якої літальний апарат описується як набір простих геометричних елементів — крил, стабілізаторів, рулів, фюзеляжу. Для кожного з них визначаються власні сили та моменти, що підвищує точність і гнучкість симуляції [3].

Для автоматизації розрахунків використано взаємодію зі сторонніми програмними пакетами, такими як XFLR5, AVL або SU2, які забезпечують

отримання поляр і аеродинамічних характеристик. Інтеграція відбувається через проміжний модуль, що узгоджує формати даних і автоматизує процес запуску розрахунків. Це дозволяє будувати повний цикл — від опису геометрії до отримання готових коефіцієнтів без ручного втручання користувача [4,5]. Потенційні проблеми сумісності вирішуються за рахунок попереднього спрощення геометрії та оптимізації параметрів сітки, що зберігає баланс між точністю та швидкістю розрахунків. Отримані аеродинамічні коефіцієнти використовуються у симуляторі, який відтворює сили, моменти, положення та швидкість апарату, забезпечуючи реалістичну динаміку польоту. Завдяки інтеграції з графічними рушіями на кшталт Unity або Unreal Engine система може застосовуватись для навчання, досліджень і відпрацювання алгоритмів керування безпілотниками. Серед поточних обмежень — відсутність урахування кінцевих вихорів і взаємного впливу поверхонь. Подальший розвиток передбачає впровадження спрощених моделей потенціального потоку та використання методів машинного навчання для апроксимації складних аеродинамічних залежностей [6].

Таким чином, запропонована програмна система, що поєднує точність розрахунків із можливістю моделювання польоту у реальному часі. Використання відкладених обчислень і моделі незалежних поверхонь забезпечує гнучкість, швидкодію та достовірність результатів. Розробка має перспективи практичного використання у сфері досліджень, освіти та випробувань систем керування безпілотних літальних апаратів, а подальша інтеграція технологій штучного інтелекту відкриває можливості для створення адаптивних моделей, здатних самостійно уточнювати свої параметри за результатами симуляцій чи реальних польотних даних.

Список літератури

1. K. Dergachov, V. Dubinin, E. Ovdiyuk, I. Bychkova, D. Puhach, "Simulation Platform for Testing and Validating of UAV Visual Guidance Algorithms", Advances in Civil Aviation Systems Development. 2025. С. 548–565. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-91992-3_37

2. W. Khan and M. Nahon, "Real-time modeling of agile fixed-wing UAV aerodynamics," 2015 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS). 2015. С. 1188-1195. DOI: https://doi.org/10.1109/ICUAS.2015.7152411

3. Dai, X., Ke, C., Quan, Q., Cai, K.-Y.: RFlySim: Automatic Test Platform for UAV Autopilot Systems with FPGA-Based Hardware-in-the-Loop Simulations. Aerospace Science and Technology. 2021. doi: https://doi.org/10.1016/j.ast.2021.106727

4. Shmelova, T., Sikirda, Y., Rizun, N., Kucherov, D., & Dergachov, K. (Eds.). (2019). Automated Systems in the Aviation and Aerospace Industries. IGI Global.

5. Hashimov, E., Sabziev, E., Huseynov, B. & Huseynov, M. (2023). MATHEMATICAL ASPECTS OF DETERMINING THE MOTION PARAMETERS OF A TARGET BY UAV. Advanced Information Systems, 7(1), 18–22. https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.1.03

6. M.D. Messaoudi, B.A.J. Menelas, H. Mcheick, “Review of navigation assistive tools and technologies for the visually impaired,” Sensors, vol. 22, no. 20, 7888, 2022. https://doi.org/10.3390/s22207888

ГІБРИДНИЙ МЕТОД ВІЗУАЛЬНОГО СУПРОВОДУ ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ АВТОНОМНИХ БПЛА В УМОВАХ ОБМЕЖЕНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ РЕСУРСІВ

Овдіюк Є.М., Дергачов К.Ю.
Національний аерокосмічний університет
«Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна

В умовах захисту інфраструктури від атак агресора ключова роль відводиться знищенню ворожих БПЛА. Одним із потенційно ефективних засобів вирішення цього завдання є використання ударних БПЛА з сучасною системою керування. Розробка такої системи, а також створення алгоритмів виявлення, супроводу цілі висвітлені у роботах "Simulation System for Modelling UAV Visual Guidance" [1] та " Brightness Differences Matrix Comparison Method for Region of Interest Tracking" [2].

Нещодавні досліди у сфері комп'ютерного зору, зокрема застосування гібридного підходу на основі детектора YOLOv3 у поєднанні з кореляційним фільтром KCF, демонструють високий потенціал для інтеграції систем відстеження об'єктів у БПЛА. Це забезпечує точну ідентифікацію та супроводження об'єктів інтересу в режимі реального часу під час автономних місій, досягаючи швидкості високої обробки кадрів на бортових обчислювальних модулях. [3].

Однією з ключових проблем таких систем є обчислення області інтересу (ROI) на малопотужних обчислювальних платформах без використання спеціалізованих графічних прискорювачів (GPU). Хоча навіть бюджетні мінікомп’ютери оснащені багатоядерними центральними процесорами (CPU), можливості підвищення продуктивності за рахунок паралельних обчислень фундаментальні обмеження, що демонструється в дослідженні Intel Parallel Computing Labs [4]. Це особливо критично у задачах відстеження області інтересу, де обробка кожного відеокадру залежить від результатів попереднього, що унеможливлює паралельне опрацювання відеопотоку. Експериментальні дані показують, що при спробі паралелізувати обробку одного кадру на кількох ядрах CPU накладні витрати на синхронізацію потоків виявилися більшими, ніж отримана вигода через обмежений паралелізм [4].

Метою цієї роботи є запропонувати новий гібридний підхід до візуальної навігації БПЛА, який забезпечує підвищення точності відслідковування ROI. Варто підкреслити, що запропонований метод не покращує швидкість обробки відео, натомість спрямований на підвищення надійності визначення положення цілі. Ми пропонуємо гібридний метод, що поєднує кілька високопродуктивних алгоритмів, які працюють паралельно на окремих ядрах CPU. Результати обробки кожного з потоків порівнюються, і навіть у разі втрати цілі одним або кількома алгоритмами система зберігає здатність до стабільного відстеження.

У дослідженні "Brightness Differences Matrix Comparison Method for Region of Interest Tracking" [2] запропоновано ефективний метод відстеження

області інтересу та проведено його порівняльний аналіз з іншими підходами. Серед високопродуктивних методів, придатних до інтеграції в гібридну систему, можна виокремити BDMC, MOSSE, а також NanoTrack — надлегку нейромережу з високою швидкодією. Таким чином, навантаження може бути розподілено між трьома ядрами CPU, кожне з яких обробляє окремий алгоритм в окремому потоці, тоді як четверте ядро відповідає за координацію та об’єднання результатів.

Попередні випробування прототипу такого підходу продемонстрували, що загальна швидкість системи обмежується найповільнішим з використаних алгоритмів.

Це є прийнятним компромісом з огляду на підвищення точності. Проте було виявлено затримки на етапі ініціалізації паралельних процесів: після першого визначення області інтересу системі потрібно декілька секунд на запуск усіх потоків. Автори активно працюють над усуненням цього технічного обмеження.

Поєднання класичних методів та нейромереж у межах єдиного рішення дозволяє створити надійну гібридну систему для бойових БПЛА, здатну ефективно функціонувати навіть у разі відмови одного з алгоритмів.

Інтеграція нейронних мереж для розпізнавання об'єктів, застосування методів доповнення даних та надійного виділення ознак зображень суттєво підвищує рівень автономності БПЛА.

Легкі нейромережі в поєднанні з класичними математичними моделями забезпечують практичні переваги для виконання обчислень на борту в умовах обмежених ресурсів. У подальших дослідженнях доцільно зосередитися на вдосконаленні методів злиття даних та проведенні польових випробувань із метою перевірки ефективності запропонованої системи в різних умовах експлуатації.

Список літератури

1. K. Dergachov, V. Dubinin, E. Ovdiyuk, I. Bychkova, D. Puhach, Simulation Platform for Testing and Validating of UAV Visual Guidance Algorithms. Advances in Civil Aviation Systems Development. 2025. С. 548–565. DOI: 10.1007/978-3-031-91992-3_37

2. K. Dergachov; E. Ovdiyuk, Brightness Differences Matrix Comparison Method for Region of Interest Tracking. 2025 15th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), September 17, 2025. DOI: 10.1109/acit65614.2025.11185717

3. Saribas H, Uzun B, Benligiray B, Eker O, Cevikalp H., A hybrid method for tracking of objects by UAVs. InProceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops 2019 (pp. 0-0). DOI: 10.1109/CVPRW.2019.00082

4. Tithi JJ, Aananthakrishnan S, Petrini F. Online and Real-time Object Tracking Algorithm with Extremely Small Matrices. WHPC 2020 Summit. 2020 Mar 26. DOI: 10.48550/arXiv.2003.12091

ГІБРИДНА RAG-СИСТЕМА З АДАПТИВНИМ БАГАТОВЕКТОРНИМ КОДУВАННЯМ ТА ГЕНЕРАЦІЄЮ ГІПОТЕТИЧНИХ ДОКУМЕНТІВ

Філіп'єв Є.В., Бакуменко Н.С.
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна

Системи генерації з доповненням через пошук (Retrieval-Augmented Generation, RAG) [1] набули широкого застосування в сучасних системах штучного інтелекту, оскільки дозволяють великим мовним моделям (LLM) працювати з актуальними даними та суттєво зменшують проблему галюцинацій. Традиційний підхід до підвищення ефективності таких систем полягає у додатковому навчанні моделей на спеціалізованих наборах даних, однак це вимагає значних обчислювальних ресурсів та великих обсягів розмічених текстів. У роботі представлено гібридний підхід до побудови систем інформаційного пошуку з доповненням через генерацію (Retrieval-Augmented Generation) на основі інтеграції методу гіпотетичних документів (HyDE) [2] з багатовекторною архітектурою пізньої взаємодії (ColBERT) [3]. Метод ColBERT забезпечує високу ефективність та точність пошуку завдяки збереженню окремих векторних представлень для кожного токена документа, проте така детальність призводить до надмірного споживання пам'яті при індексуванні великомасштабних корпусів. Метод HyDE (Hypothetical Document Embeddings) [2] дозволяє покращити якість пошуку через генерацію проміжних гіпотетичних документів, які містять спеціалізовану термінологію, однак його інтеграція з багатовекторними архітектурами залишається недостатньо дослідженою.

Метою дослідження є розробка гібридної системи інформаційного пошуку, яка ефективно працює на спеціалізованих задачах без додаткового навчання моделей. Формально, маючи колекцію документів $D = \{d_1, d_2, ..., d_n\}$ з певної спеціалізованої області та набір запитів Q від користувачів, для кожного запиту q система повинна повертати ранжований список найбільш релевантних документів, максимізуючи якість пошуку відповідно до стандартних метрик оцінювання фреймворку BEIR [4]. За основну метрику обрано NDCG@10 (Normalized Discounted Cumulative Gain at 10), яка оцінює релевантність документів у топ-10 результатів з урахуванням їх позиції у списку.

Розроблена система реалізує триетапний підхід до інформаційного пошуку. На першому етапі здійснюється генерація проміжних гіпотетичних документів за допомогою мовної моделі Llama-2 [5]. Для кожного запиту користувача модель генерує три документи з використанням різних значень параметра температури (0.3, 0.5, 0.7), що забезпечує різноманітність варіантів відповідей. Згенеровані документи імітують відповідь на питання, використовуючи спеціалізовану термінологію предметної області, що покращує якість подальшого пошуку.

На другому етапі згенеровані документи разом з оригінальним запитом перетворюються в векторні представлення через модель ColBERTv2 [3]. На відміну від традиційних методів, які створюють один вектор для всього

документа, ColBERT формує окремий вектор розміром 128 чисел для кожного токена тексту, що дозволяє точніше враховувати контекст кожного слова при порівнянні документів.

Для вирішення проблеми надмірного використання пам'яті розроблено алгоритм адаптивного пулінгу токенів, який аналізує семантичну складність тексту через обчислення дисперсії та стандартного відхилення векторів токенів. Для простих фрагментів тексту вектори сусідніх токенів об'єднуються, тоді як для складних фрагментів векторне представлення кожного токена зберігається окремо. Такий підхід забезпечує суттєве зменшення обсягу даних без деградації якості пошуку.

На третьому етапі виконується пошук та ранжування документів з використанням метрики MaxSim [3]. Для кожного токена запиту обчислюється косинусна подібність з усіма токенами документа, після чого береться максимальне значення. Фінальна оцінка релевантності документа визначається як сума максимальних значень подібності по всіх токенах запиту:

$$MaxSim(Q, D) = \sum_{i=1}^{|Q|} \max_{j=1,\dots,|D|} (q_i \cdot d_j),$$

де Q – множина векторів токенів запиту, D – множина векторів токенів документа, q_i – вектор i-го токена запиту, d_j – вектор j-го токена документа, а $\cdot$ позначає скалярний добуток. Підсумкова оцінка релевантності обчислюється як зважена комбінація двох оцінок: оцінки на основі згенерованих гіпотетичних документів (вага 0.7) та оцінки на основі оригінального запиту (вага 0.3). Таке співвідношення визначене експериментально шляхом перевірки значень від 0.3 до 0.9 з кроком 0.1.

Експериментальна апробація проведена на чотирьох спеціалізованих наборах даних з бенчмарку BEIR [4], які охоплюють різні предметні домени: TREC-COVID (біомедичний домен, 171 тисяча документів), SciFact (наукова верифікація фактів, 5 тисяч документів), FiQA-2018 (фінансові питання-відповіді, 57 тисяч документів) та ArguAna (пошук контраргументів, 8.6 тисяч документів). Порівняльний аналіз з базовими методами продемонстрував суттєві переваги розробленої системи. Базовий метод BM25 показав середнє значення NDCG@10 на рівні 0.3712. Стандартний dense retrieval підхід забезпечив покращення до 0.4663 (+25.6% відносно BM25), гібридний метод досяг 0.4744 (+27.8%), а чистий ColBERT [3] – 0.4530 (+22.0%). Інтеграція методу HyDE з dense retrieval (HyDE+Dense) [2] продемонструвала найкращий результат серед усіх підходів – 0.5051, що на 36.1% перевищує базовий BM25. Розроблена система HyDE+ColBERT показала результат 0.4716, що відповідає 27.0% покращенню порівняно з BM25.

Аналіз додаткових метрик підтверджує ефективність запропонованого підходу. За метрикою Precision@10 система HyDE+Dense досягла найвищого значення 0.2270, тоді як HyDE+ColBERT показав 0.2133, що все ще перевершує базовий BM25 (0.1620). Метрика Recall@10 для HyDE+Dense склала 0.5086, а для HyDE+ColBERT – 0.4428. За метриками MAP@10 та MRR@10 система HyDE+Dense також продемонструвала найкращі результати

(0.2985 та 0.5290 відповідно), що на 31% та 24% перевищує показники базового методу.

Важливим результатом є те, що алгоритм адаптивного пулінгу токенів забезпечив скорочення обсягу зберігання векторних представлень у середньому на 35-40% без суттєвої деградації якості пошуку, що підтверджує можливість ефективного масштабування системи на великі корпуси документів.

Дослідження підтвердило ефективність інтеграції генерації гіпотетичних документів з багатовекторним пошуком на рівні токенів у системах інформаційного пошуку з доповненням через генерацію [1,2]. Розроблена гібридна система HyDE+ColBERT продемонструвала значне покращення якості пошуку на спеціалізованих доменах без необхідності донавчання моделей, що підтверджує практичну доцільність запропонованого підходу. Ключовим внеском роботи є розробка алгоритму адаптивного пулінгу токенів, який динамічно визначає коефіцієнт стиснення на основі семантичної складності документа, забезпечуючи оптимальний баланс між обсягом зберігання та якістю пошуку. Експериментальні результати свідчать про можливість досягнення 27-36% покращення якості пошуку порівняно з традиційними методами при одночасному скороченні обсягу зберігання на 35-40%. Перспективи подальших досліджень включають розширення експериментальної бази на більшу кількість спеціалізованих доменів, дослідження оптимальних стратегій налаштування параметрів генерації гіпотетичних документів для різних типів запитів, а також розробку методів автоматичного визначення оптимальних ваг для комбінування оцінок релевантності.

Список літератури

1. Lewis P., Perez E., Piktus A., Petroni F., Karpukhin V., Goyal N., Küttler H., Lewis M., Yih W., Rocktäschel T., Riedel S., Kiela D. Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks. Proceedings of the 34th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2020). 2020. P. 9459–9474.

2. Gao L., Ma X., Lin J., Callan J. Precise Zero-Shot Dense Retrieval without Relevance Labels. Proceedings of the 61st Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. 2023. P. 1762–1777.

3. Santhanam K., Khattab O., Saad-Falcon J., Potts C., Zaharia M. ColBERTv2: Effective and Efficient Retrieval via Lightweight Late Interaction. Proceedings of the 2022 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics. 2022. P. 3715–3734.

4. Thakur N., Reimers N., Rückle A., Srivastava A., Gurevych I. BEIR: A Heterogeneous Benchmark for Zero-shot Evaluation of Information Retrieval Models. Proceedings of the 35th Conference on Neural Information Processing Systems Datasets and Benchmarks Track. 2021.

5. Touvron H., Martin L., Stone K., Albert P., Almahairi A., Babaei Y., Bashlykov N., Batra S., Bhargava P., Bhosale S., et al. Llama 2: Open Foundation and Fine-Tuned Chat Models. arXiv preprint arXiv:2307.09288. 2023.

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ БАЛАНСУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ МІЖ ШАРАМИ МЕРЕЖІ ПІДТРИМКИ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Кожевніков Г.К., Кучук Г.А., Тарасов О.А.
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

Технології Інтернету речей (IoT, Internet of Things) розвиваються надшвидкими темпами [1–3]. Відповідно, розвиваються й системи підтримки IoT, тому що величезна кількість даних, котрі згенеровані пристроями IoT, вимагають подальшої обробки і аналізу. Деякі запити і транзакції, що надходять від пристроїв IoT, потребують оперативної обробки у режимі реального часу. Тому стандартна хмарна система підтримки IoT повинна розширюватися за рахунок периферійних шарів, наближених до джерел даних. Таку роль на сьогодні виконують граничний та хмарний шари [4, 5].

Метою доповіді є обґрунтування алгоритму балансування навантаження між шарами мережі підтримки Інтернету речей, котрий враховує всі особливості та вимоги периферійних шарів мережі підтримки IoT, в тому числі і питання, пов’язані з енергозбереженням для мобільних пристроїв.

Запропонований алгоритм орієнтований на зменшення часу виконання запитів і транзакцій IoT. При цьому враховуються обмеження щодо енергозбереження для мобільних пристроїв граничного та туманного шарів, час відгуку на запит IoT та ресурсні обмеження на кожному рівні. Для прискорення розрахунків використовуються усереднені результати моніторингу параметрів функціонування системи підтримки Інтернету речей

Список літератури

1. Алексанов Д. О., Заковоротний О. Ю. Кластеризація пристроїв граничного шару Інтернету речей. Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: чотирнадцята міжнародна науково-технічна конференція. Баку, Харків, Жиліна, 25-26 квітня 2024 р. Том 1. С. 56.

2. Лавро І. М., Філатова Г. Є. Перспективи розвитку і використання систем візуалізації засобами доповненої реальності. Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління : чотирнадцята міжнародна науково-технічна конференція. Баку, Харків, Жиліна, 25-26 квітня 2024 р. Том 1. С. 57.

3. Кожевніков Г. К., Черниш Д. С., Матяш О. Ю. Онтологічний підхід до перерозподілу навантаження Інтернету речей. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава : Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2024. Вип. 2(76). С. 91–94.

4. Заковоротний О.Ю., Штефан В.С. Організація мереж Інтернету речей високої щільності. Проблеми інформатизації : одинадцята міжнародна науково-технічна конференція. Баку, Харків, Бельсько-Бяла, 16-17 листопада 2023 р. Т.3, с. 96. DOI: https://doi.org/10.32620/PI.23.t3

5. Заковоротний О., Орлова Т. Порівняльний аналіз хмарних та туманних середовищ Інтернету речей. *Системи управління, навігації та зв’язку*. Збірник наукових праць. Полтава: ПНТУ, 2023. Вип. 3(73). С. 152-154. doi: https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.3.152.

ЛОКАЛЬНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕРАТИВНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

Порошенко А.І., Коваленко А.А.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Генеративні моделі штучного інтелекту активно впроваджуються у сферу створення візуального контенту, забезпечуючи автоматичне формування фотореалістичних зображень за текстовими описами чи іншими параметрами. Їх використання відкриває нові можливості для автоматизованого дизайну, візуалізації даних, медіавиробництва та креативних індустрій, де важлива швидкість і гнучкість створення контенту.

Серед найпоширеніших архітектур виділяють дифузійні моделі, генеративно-змагальні мережі [1] та поєднання VQGAN+CLIP, які демонструють високий рівень деталізації та гнучкості. Проте використання хмарних сервісів для генерації зображень пов'язане з ризиками порушення конфіденційності [2], обмеженням доступу до моделей і залежністю від зовнішніх обчислювальних ресурсів.

Тому зростає інтерес до локального використання генеративних систем, що дозволяють виконувати повний цикл обробки даних без виходу за межі користувацького пристрою.

Метою доповіді є аналіз переваг і викликів застосування генеративних моделей штучного інтелекту для створення зображень у локальному середовищі. Розглядаються підходи до реалізації таких систем із використанням платформ типу ComfyUI, які забезпечують модульну побудову процесів генерації, контроль за параметрами та інтеграцію кількох моделей у межах одного робочого простору.

У доповіді наводяться результати теоретичного аналізу основних переваг локального підходу, серед яких високий рівень конфіденційності, повний контроль над ресурсами та можливість адаптації алгоритмів до індивідуальних потреб користувача. Водночас залишаються суттєві виклики, серед яких висока вартість апаратного забезпечення, складність налаштування програмного середовища та обмежена доступність якісних відкритих моделей.

Подальший розвиток таких рішень пов'язаний із вдосконаленням оптимізації архітектур і спрощенням користувацьких інтерфейсів.

Список літератури

1. R. Arya, D. Joshi, K. Sharma, V. S. Bhakuni, S. Vats and V. Sharma, "Stacked Generative Adversarial Networks (StackGAN) Text-to-Image Generator," 2024 IEEE 3rd World Conference on Applied Intelligence and Computing (AIC), Gwalior, India, 2024, pp. 1095-1101, doi: 10.1109/AIC61668.2024.10730994.

2. A. Golda et al., "Privacy and Security Concerns in Generative AI: A Comprehensive Survey," in IEEE Access, vol. 12, pp. 48126-48144, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3381611.

АНАЛІЗ ПРОДУКТИВНОСТІ МІКРОСЕРВІСНИХ СИСТЕМ НА .NET

Фомічов М.О., Федорченко В.М.
Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, Харків, Україна

Оцінка ефективності мікросервісних архітектур є ключовим аспектом їх розробки та експлуатації. Зростання корпоративних інформаційних систем вимагає рішень, що забезпечують високу продуктивність, масштабованість та надійність. Наприклад, дослідження показують, що мікросервісна архітектура суттєво впливає на підтримуваність і масштабованість програмних систем [1]. Інші праці демонструють, що вибір комунікаційної технології між сервісами (REST, gRPC) має значний вплив на продуктивність і використання ресурсів [2]. ікросервісна архітектура, побудована за допомогою фреймворку ASP.NET Core та платформи .NET 9, має широке поширення завдяки можливостям швидкого розгортання, ефективного масштабування та модульного управління. Зокрема, результати досліджень підтверджують, що такі підходи дозволяють створювати більш гнучкі, підтримувані системи [3]. Однак для досягнення справді високої продуктивності важливо враховувати низку ключових параметрів: комунікаційний протокол між службами, розмір і структура payload-запитів, налаштування середовища виконання, ізоляцію ресурсів та конфігурацію контейнерів чи віртуальних машин.

В доповіді окрема увага приділяється аналізу способів комунікації між сервісами — через HTTP-запити (REST/gRPC) та через брокери повідомлень (наприклад, RabbitMQ чи Apache Kafka). Різні дослідження показують, що технологія передачі та протокол можуть суттєво впливати на затримку, пропускну здатність та використання ресурсів [2]. Тестування продуктивності мікросервісних систем найчастіше здійснюється із застосуванням інструментів навантажувального тестування, таких як Apache Benchmark, k6 та Apache JMeter [4]. Ці інструменти дозволяють зібрати метрики: latency (затримка), throughput (пропускна здатність), CPU/memory використання, стійкість під навантаженням. Відповідно до сучасних досліджень, важливо поєднувати короткочасні пікові тестування з тривалими стрес-тестами, щоб отримати повну картину продуктивності системи [1]. У подальших дослідженнях рекомендується провести порівняльний аналіз існуючих підходів до тестування з метою визначення найефективнішого методу оцінки продуктивності мікросервісних систем. Для практичної перевірки обраних методів використовується відкритий (опенсорсний) мікросервісний застосунок, який буде реалізований на базі ASP.NET Core / .NET 9. Додаток має бути протестовано за допомогою обраних інструментів – Apache Benchmark, k6 та JMeter. Отримані результати дозволять визначити оптимальний підхід до оцінки продуктивності мікросервісної архітектури у реальних умовах. Розвиток мікросервісної архітектури є важливим напрямком оптимізації корпоративних інформаційних систем. Збільшення обсягів оброблюваних даних та необхідність високої швидкості обробки вимагають не лише нових технологій, а й розробки чітких критеріїв оцінки продуктивності. Оскільки мікросервіси на

платформах ASP.NET Core / .NET 9 дозволяють створювати високопродуктивні системи з ефективним управлінням ресурсами, простотою інтеграції та зручним розгортанням — надзвичайно важливо проаналізувати різні конфігурації системи та знайти найкращі практики.

Список літератури

1. Jarmoszewicz, J., Iwanowski, P., & Plechawska-Wójcik, M. (2024). Analysis of the performance and scalability of microservices depending on the communication technology. Journal of Computer Sciences Institute, 33, 323-330. DOI: https://doi.org/10.35784/jcsi.6499

2. Niswar, M., Safruddin, R. A., Bustamin, A., & Aswad, I. (2024). Performance Evaluation of Microservices Communication with REST, GraphQL, and gRPC. Int. Journal of Electronics and Telecom., 70(2). DOI: https://doi.org/10.24425/ijet.2024.149562

3. Krekora, K. (2024). Performance analysis of .Net and Spring Boot microservices on Microsoft Azure. Journal of Computer Sciences Institute, 33, 258-263. DOI: https://doi.org/10.35784/jcsi.6268

4. Urias, I., & Rossi, R. (2023). Evaluation of Frameworks for MLOps and Microservices. EAI Endorsed Transactions on Smart Cities, 7(3). DOI: https://doi.org/10.4108/eetsc.3661

ПАРАЛЕЛЬНІ АЛГОРИТМИ ОБРОБКИ ВЕЛИКИХ ДАНИХ У РОЗПОДІЛЕНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Ні Я.С., Ні О.В., Шостак М.В., Шостак В.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

У сучасному світі обсяг даних, що генерується в різних сферах діяльності, від фінансових систем до телекомунікаційних мереж і наукових досліджень, зростає експоненційно. Це створює необхідність у застосуванні ефективних методів обробки великих даних, здатних забезпечити швидке і точне отримання результатів. Одним із найбільш перспективних підходів є використання паралельних алгоритмів у розподілених обчислювальних середовищах, таких як кластери, хмарні платформи та суперкомп'ютери.

Паралельна обробка великих даних дозволяє розподіляти обчислювальні задачі між кількома вузлами системи, що значно підвищує продуктивність і скорочує час обробки. Сучасні фреймворки, такі як Apache Hadoop, Apache Spark та Dask, надають можливість реалізовувати алгоритми паралельного виконання, зокрема для задач сортування, агрегації, аналізу потоків даних та машинного навчання. Розподілена обробка також дозволяє підвищити відмовостійкість системи: у випадку виходу з ладу одного вузла обчислення можуть бути автоматично перенаправлені на інші вузли без втрати даних. Особливо важливим є застосування паралельних алгоритмів у сфері аналітики великих даних (Big Data Analytics). Завдяки можливості одночасного опрацювання великих масивів даних можна реалізувати складні алгоритми прогнозування, виявлення закономірностей, кластеризації та пошуку аномалій. Це дозволяє оперативно отримувати корисну інформацію з даних, яка має критичне значення для прийняття рішень у бізнесі, науці та державному управлінні.

Важливим аспектом є оптимізація комунікацій між вузлами розподіленої системи. Паралельні алгоритми повинні враховувати затримки при передачі даних, обмеження пропускної здатності та балансування навантаження, щоб забезпечити максимальну ефективність обчислень. Сучасні дослідження приділяють значну увагу розробці алгоритмів, які мінімізують обмін даними між вузлами та оптимально використовують локальні ресурси пам'яті та процесорного часу. Ключовим напрямом розвитку є поєднання паралельних алгоритмів із хмарними технологіями та контейнеризацією. Це дозволяє створювати масштабовані обчислювальні середовища, де ресурси динамічно розподіляються залежно від обсягів оброблюваних даних. Наприклад, використання Kubernetes для управління контейнерами дає змогу автоматично масштабувати обчислювальні ресурси, що забезпечує ефективне виконання паралельних задач у змінних умовах навантаження.

Особливу увагу приділяють інтеграції паралельних алгоритмів із технологіями штучного інтелекту та машинного навчання. Великі дані часто використовуються для тренування моделей машинного навчання, і паралельна обробка дозволяє суттєво скоротити час навчання моделей, підвищити їхню точність та забезпечити можливість обробки потокових даних у режимі реального часу. Розподілені обчислювальні середовища стають платформою для комплексних аналітичних процесів, включаючи обробку даних із сенсорів, мережевих пристроїв та соціальних платформ.

Застосування паралельних алгоритмів також сприяє підвищенню енергоефективності обчислень. Оптимальне розподілення задач між вузлами та мінімізація зайвих обчислювальних операцій дозволяють зменшити енергоспоживання великих обчислювальних систем, що є важливим для сучасних екологічно орієнтованих IT-інфраструктур.

Метою доповіді є дослідження методів реалізації паралельних алгоритмів обробки великих даних у розподілених обчислювальних середовищах, оцінка їхньої ефективності, оптимізації ресурсів та визначення перспектив розвитку цієї технології в сучасних інформаційних системах.

У доповіді проаналізовано сучасні підходи до побудови паралельних алгоритмів, досліджено їх застосування у різних галузях, визначено ключові проблеми та методи оптимізації обчислювальних ресурсів для забезпечення високої продуктивності та масштабованості систем.

Список літератури

1. Сидоренко А.В., Литвиненко К.М. Паралельні алгоритми обробки великих даних у розподілених обчислювальних середовищах. – Київ: Комп'ютерні науки, 2024. – 248 с. DOI: 10.34725/bigdata.2024.012

2. Dean J., Ghemawat S. MapReduce: Simplified data processing on large clusters. Communications of the ACM. – 2023. – 65(8). – P. 107–113. DOI: 10.1145/3298981

3. Zaharia M., et al. Apache Spark: A unified engine for big data processing. Communications of the ACM. – 2022. – 59(11). – P. 56–65. DOI: 10.1145/2934664

4. Grolinger K., et al. Data management in cloud environments: Big data, security, and performance. Journal of Cloud Computing. 2023. 12(1). DOI: 10.1186/s13677-023-00405-1

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ БЕЗ ВТРАТ

Земський О.О., Харченко Н.А., Томак В.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

У сучасному цифровому світі зображення є одним із головних способів представлення, передачі та зберігання інформації. Зростання обсягів графічних даних вимагає ефективних методів їх стиснення без втрат, які дозволяють зменшити обсяг файлів, зберігаючи при цьому повну відповідність між оригінальним та відновленим зображенням. Це особливо важливо у сферах, де навіть мінімальні спотворення є неприпустимими - наприклад, у медичній візуалізації, супутниковій аналітиці чи архівуванні даних. Методи стиснення без втрат ґрунтуються на усуненні статистичної надмірності даних. До основних алгоритмів цього класу належать Хаффманівське кодування [1], коди Шеннона–Фано, арифметичне кодування та алгоритм Deflate, який комбінує LZ77 і Хаффманівське кодування [2, 3].

Метою дослідження є дослідження підвищення ефективності методів стиснення зображень при використанні кодування без втрати інформації.

У межах дослідження основну увагу приділено саме підходам, що використовуються у форматі PNG - одному з найпоширеніших стандартів для збереження зображень без втрат [4]. Формат PNG забезпечує багаторівневу оптимізацію: перед стисненням кожен рядок пікселів проходить фільтрацію для зменшення кореляції між сусідніми елементами, а потім отримані дані стискаються за допомогою алгоритму Deflate [3]. Використання фільтрів типів Sub, Up, Average, Paeth або адаптивного вибору фільтра дозволяє суттєво знизити кількість бітів, необхідних для представлення зображення [4].

Окрему роль відіграє квантування палітри кольорів, яке використовується для зменшення кількості унікальних кольорів у зображенні. Квантування кольорів – це ключовий процес, який дозволяє відображати зображення з великою кількістю кольорів на пристроях, що мають обмежені можливості кольоропередачі. Це обмеження часто зумовлене нестачею пам'яті. Зазвичай для квантування використовується таблиця кольорів. Вона дозволяє одному 8-бітному індексу представляти до 256 різних 24-бітних кольорів. Однак, навіть з оптимальним набором з 256 кольорів, деякі зображення можуть виглядати незадовільно. Однією з найчастіших проблем є поява чітких контурів (так званих "сходинок") навколо областей, де колір змінюється поступово. Щоб подолати це, застосовується відомий метод обробки зображень – дифузійне згладжування помилок (Error Diffusion Dithering, EDD).

При дослідженні розглянуто алгоритми локальних K-середніх і NeuQuant, які дозволяють зменшити обсяг даних при мінімальній втраті візуальної якості [5]. Це забезпечує більш ефективне стиснення для складних кольорових сцен, особливо при роботі з PNG, що не використовує втратних перетворень [6]. У ході експериментів було проведено аналіз залежності між показником якості PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) та бітрейтом зображення. Для серії

напівтонових зображень у відтінках сірого отримано графік, який показує, що використання комбінації Deflate + квантування палітри дозволяє підвищити ефективність стиснення до 25-30% порівняно зі стандартними методами PNG без квантування [3]. Результати дослідження свідчать, що ефективність стиснення значною мірою залежить від вибору алгоритму кодування та характеристик зображення. Так, для зображень з великою кількістю дрібних деталей квантування може призвести до незначної втрати PSNR, тоді як для однорідних областей воно забезпечує значну економію пам'яті без помітних втрат якості. Отже, оптимальне рішення полягає у комбінуванні статистичного аналізу з адаптивним вибором фільтрації та квантування [3, 5]. У підсумку доведено, що поєднання економного кодування з адаптивним квантуванням палітри є найбільш збалансованим підходом для безвтратного стиснення зображень. Цей підхід дозволяє досягти високої ефективності зберігання графічної інформації без втрати якості, що є актуальним для телекомунікаційних систем, онлайн-сервісів зберігання даних, а також мультимедійних застосувань, де важлива точність і швидкість обробки. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення комбінованих методів стиснення з використанням машинного навчання, яке здатне автоматично визначати оптимальні параметри квантування та фільтрації для конкретних типів зображень. Це відкриває перспективи для створення інтелектуальних систем обробки візуальної інформації у реальному часі.

Список літератури

1. Алгоритм Хаффмана на пальцях // Хабр. – 2012. http://surl.li/ttfzq
2. John M. Compressed Image File Formats JPEG, PNG, GIF, XBM, BMP / Miano John., 1999. – 266 с. – (Addison Wesley Longman, Inc).
3. Roelofs G. PNG The Definitive Guide / Greg Roelofs., 1999. – 354 с. – (O'Reilly & Associates, Inc).
4. PNG–файли // Adobe. – 2024. – http://surl.li/tybqi
5. Reduce Image Sizes with Color Quantization // filestack. – 2018. –http://surl.li/ulxwj
6. Color Quantization [// Cloudinary. – 2023. –: http://surl.li/ulxwy

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РЕЖИМІВ КОМПРЕСІЇ З ВТРАТАМИ І БЕЗ ВТРАТ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ

Калін М.С., Харченко Н.А., Томак В.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Стиснення зображень є одним із ключових завдань сучасної цифрової обробки інформації. З розвитком мультимедійних технологій та збільшенням обсягів цифрових даних постає необхідність ефективного зберігання і передавання зображень без істотної втрати якості. Одним із найпоширеніших методів стиснення є алгоритм JPEG, який базується на дискретно-косинусному перетворенні (ДКП). У процесі роботи JPEG дані можуть стискатися з втратами або без втрат, що визначає співвідношення між якістю та розміром зображення [1]. **Метою дослідження** є оптимізація рівня стиснення при обробці зображень, та

визначення впливу методів кодування на якість та об'єм результуючого зображення. Для визначення оптимальних методів обробки було проведено аналіз режимів кодування JPEG з втратами та без втрат. Розглянуто принципи роботи дискретного косинусного перетворення (ДКП), квантування та ентропійного кодування [3]. Досліджено відмінності у коефіцієнті стиснення, якості зображень та значеннях метрики PSNR для тестових зображень різної роздільності. Режим з втратами (Lossy) забезпечує значне зменшення розміру файлу за рахунок видалення малопомітних деталей, що призводить до незначного зниження якості, але підвищує ефективність зберігання [4]. Режим без втрат (Lossless, JPEG-LS) зберігає всі вихідні дані, що критично важливо у сферах, де точність відтворення є пріоритетною - зокрема, у медицині, технічній візуалізації та архівуванні [2].

Результати порівняльного аналізу підтверджують, що JPEG із втратами забезпечує високу ефективність стиснення при прийнятній втраті якості, тоді як JPEG-LS доцільно застосовувати у випадках, коли важлива повна відповідність оригіналу. Отримані результати можуть бути використані для оптимізації систем зберігання та передачі зображень, а також при виборі компромісу між якістю та обсягом даних у практичних застосуваннях.

Список літератури

1. Алгоритм JPEG [Електронний ресурс] // Алгоритми стиснення. – 2006. – Режим доступу до ресурсу: http://surl.li/ulclc

2. Стиснення зображень [Електронний ресурс] // Алгоритми стиснення. – 2006. – Режим доступу до ресурсу: http://surl.li/ulclt

3. David S. Data Compression: The Complete Reference / Salomon David. – Northridge: California State University, Northridge, 1998. – 920 с.

4. JPEG-LS [Електронний ресурс] // wikiwand. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: http://surl.li/ulcok

ОПТИМІЗАЦІЯ ОБРОБКИ ДАНИХ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ В РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ

Скорик Ю.В., Оліярник С.Я.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Сучасні розподілені системи, такі як Інтернет речей (IoT), генерують експоненційні обсяги даних, що вимагають обробки в режимі реального часу. Традиційні хмарні архітектури стикаються з обмеженнями пропускної здатності та затримки, що є неприйнятним для критичних застосунків. У відповідь на ці виклики розвивається парадигма периферійних обчислень (Edge Computing), яка переносить обчислення ближче до джерел даних. Однак, для інтелектуального аналізу цих даних без порушення конфіденційності необхідні нові підходи. Таким підходом є федеративне навчання (Federated Learning, FL) – техніка розподіленого машинного навчання, що дозволяє тренувати спільну модель, не передаючи необроблені дані на центральний сервер [1, 2]. **Метою доповіді** є огляд та аналіз існуючих архітектурних підходів та методів оптимізації, що

інтегрують периферійні обчислення та федеративне навчання для швидкої, достовірної та конфіденційної обробки даних у розподілених системах. В роботі проведено аналіз гібридної архітектури Edge-FL, яка є взаємовигідною: периферійні обчислення надають інфраструктуру для FL, а FL забезпечує інтелектуальну складову, дозволяючи створювати точні глобальні моделі при збереженні локалізації даних. Розглядались багаторівневі архітектури, що включають кінцеві пристрої, периферійні сервери для проміжної агрегації та глобальний хмарний сервер, що дозволяє зменшити навантаження на мережу та прискорити процес навчання. Також в роботі аналізуються методи підвищення достовірності та оптимізації. Для вирішення проблеми гетерогенності пропонуються методи адаптивного вибору клієнтів та обчислювального розвантаження завдань з менш потужних пристроїв на периферійні сервери, що може скоротити час навчання до 50%.

Список літератури

1. Thomas S. G., Myakala P. K. Beyond the Cloud: Federated Learning and Edge AI for the Next Decade. Journal of Computer and Communications. 2025. Vol. 13, No. 2. DOI: https://doi.org/10.4236/jcc.2025.132015

2. Ali M., Karim A., Barnawi A., Al-marzuki A., Tubaishat A. A Survey on Federated Learning in Edge Computing. Sensors. 2022. Vol. 22, No. 2. P. 450. DOI: https://doi.org/10.3390/s22020450

МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛЬНОЇ АКТИВНОСТІ В СИСТЕМАХ МОНІТОРИНГУ ПРОДУКТИВНОСТІ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ПОВЕДІНКОВОГО АНАЛІЗУ

Муліка Я.В., Піскарьов О.М.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

У сучасних комп'ютерних системах, таких як хмарні платформи, розподілені мережі та IoT-екосистеми, аномальна активність проявляється у формі відхилень від нормальної поведінки, наприклад, несподіваного навантаження на CPU, аномального мережевого трафіку чи незвичайних патернів використання ресурсів. За даними ENISA, кількість кіберінцидентів, пов'язаних з аномаліями продуктивності, зросла на 50% за 2020–2025 роки [1]. Традиційні методи моніторингу, базовані на порогових значеннях чи сигнатурах, неефективні в динамічних середовищах через статичність і високий рівень хибнопозитивних спрацьовувань (до 30%) [2].

Метою доповіді є розробка та обґрунтування гібридного методу виявлення аномалій на основі поведінкового аналізу, який інтегрує ізоляційні ліси (Isolation Forest) з рекурентними нейронними мережами (LSTM) для моделювання нормальної поведінки системи та реального часу обробки даних. Запропонований підхід враховує контекстуальні патерни метрик продуктивності (CPU, RAM, мережевий трафік), що дозволяє адаптуватися до змін у системі. Поведінковий аналіз ґрунтується на принципах моделювання нормальної поведінки,

контекстуальності та адаптивності [3]. Нормальна поведінка системи описується як функція M(d), де d — набір метрик {CPU_t, RAM_t, traffic_t} на часовому штампі t. Аномалія виявляється за відхиленням $\Delta = |v\_t - M(d\_t)| > \theta$, де θ — адаптивний поріг, обчислений як $\theta = \mu + k \cdot \sigma$ (k=3, Z-score, адаптований до LSTM-прогнозу). Гібридний скоринг $S = \alpha \cdot IF\_score + (1-\alpha) \cdot LSTM\_error$ (α=0.6) поєднує швидкість ізоляційних лісів (O(n log n)) з точністю LSTM для послідовностей часових рядів. Для реалізації обрано модульну архітектуру: шар збору даних (Prometheus для метрик, Kafka для потокової обробки), шар попередньої обробки (Pandas для нормалізації: $z = (v - \mu)/\sigma$), шар аналізу (Scikit-learn для Isolation Forest, TensorFlow для LSTM з 2 шарами, 64/32 нейрони, epochs=50) та шар візуалізації (Grafana для дашбордів). Система розгортається в Kubernetes для масштабованість (до 1 млн метрик/с). Апаратне забезпечення: сервер Intel Core i7, 16 GB RAM, GPU NVIDIA RTX 3060. Результати моделювання на датасетах BGL (IBM) та HDFS (Hadoop) показують, що гібридний метод досягає precision 0.96, recall 0.93 та F1-score 0.94, що на 25–35% перевищує традиційні порогові методи (precision 0.75–0.85) [4]. Час обробки — <1 с, false positives зменшено на 30% порівняно з Datadog. Запропоноване рішення має практичну цінність для корпоративних мереж та критичної інфраструктури, дозволяючи раннє виявлення DDoS-атак чи апаратних збоїв. Перспективи розвитку: інтеграція з edge-обчисленнями та тестування на реальних IoT-даних. Розроблений метод підвищує надійність систем моніторингу, зменшуючи витрати на відновлення (за оцінками Gartner, на 20–25% [5]).

Список літератури

1. Tanenbaum A. S. Modern Operating Systems / A. S. Tanenbaum, H. Bos. – 5th ed. – Upper Saddle River, NJ : Pearson, 2022. – 1136 p. – ISBN 978-0133591620.
2. Goodfellow I. Deep Learning / I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville. – Cambridge, MA : MIT Press, 2016. – 800 p. – ISBN 978-0262035613.
3. Aggarwal C. C. Outlier Analysis / C. C. Aggarwal. – 2nd ed. – Cham : Springer, 2017. – 474 p. – ISBN 978-3319475777.
4. Stallings W. Cryptography and Network Security: Principles and Practice / W. Stallings. – 8th ed. – Hoboken, NJ : Pearson, 2025. – 752 p. – ISBN 978-0-13-768465-1.
5. Шаккун Г. В. Машинне навчання та аналіз даних : навч. посіб. / Г. В. Шаккун, О. В. Бондаренко. – Харків : ХНУРЕ, 2024. – 320 с. – ISBN 978-966-7999-56-7.

МІКРОКОНТРОЛЕРНА СИСТЕМА ДЛЯ ДЕНСІТОМЕТРІЇ

Янковський О.А.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна
Олейнічук В.В.
Харківський національний університет ім.В.Н. Каразіна, Харків, Україна

Остеопороз є міждисциплінарною проблемою, займаючи за своїми медичними та соціально-економічними наслідкам одне з провідних місць серед неінфекційних захворювань Значна поширеність остеопорозу у світі дозволяє розглядати цю патологію, як епідеміологічне явище.

Провідним симптомом остеопорозу є зниження мінеральної щільності кісткової тканини. Системність, прихований характер розвитку, відсутність симптоматики на початкових стадіях, і як наслідок – відсутність своєчасного лікування, призводять до значних порушень опірно-м'язового аппарату. Остеопоротичні переломи хребців, переломи стегнових, гомілкових кісток, остеопоротичні враження суглобів. втрата зубів, внаслідок демінералізації кісткової тканини щелеп – ось далеко не повний перелік важких патологічних станів, що виникають внаслідок остеопорозу. Золотим стандартом діагностики остеопорозу вважається двоенергетична рентгенівська.абсорбціометрія та кількісна комп'ютерна томографія. І хоча ультразвукова денситометрія поступається в інформативності рентгенівській, за рахунок доступності, портативності обладнання, низькій собівартості та простоти використання – вона займає ведучі позиції в ранній діагностиці остеопорозу. Розробка нових та удосконалення існуючих приладів для ультразвукової денситометрії триває, і з розвитком мікроелектронних та мультимодальних технологій штучного інтелекту має обнадійливі перспективи. **Мета доповіді -** розробка малогабаритної, автономної електронної системи для попереднього дослідження щільності тканин у стоматології. Структура пропонованої системи показана на рис. 1.

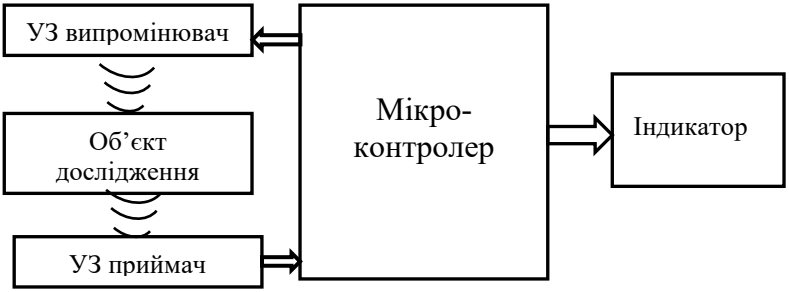


Рис. 1. Структура пропонованої системи

Працює вона наступним чином. Мікроконтролер виробляє ультразвукові імпульси з частотою 40КГц, які подаються на малогабаритний спеціалізований ультразвуковий випромінювач. Ультразвукові хвилі проходять крізь зуб або кісткову тканину щелепи і приймаються ультразвуковим приймачем. На індикаторі відображається час затримки проходження ультразвуку через досліджуваний об'єкт, на підставі чого можна зробити висновки про щільність тканини досліджуваного об'єкта. Запропонована система безпечна, неінвазивна, має невеликі габарити, можливість тривалої роботи від автономного джерела живлення, що робить її зручною для застосування в якості інструменту скринінгу та підтримки прийняття клінічних рішень.

Список літератури

1. Operative Dentistry. Endodontics: in 2 volumes. Volume 1: textbook / M.Yu. Antonenko, L.F. Sidelnikova, O.F. Nesyn et al. — 2nd edition. «Медицина»,2020. – 384 с.

МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ЗАПИТІВ У РОЗПОДІЛЕНИХ БАЗАХ ДАНИХ

Ткаченко Т.А., Мартовицький В.О.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Розподілені бази даних (РБД) є ключовим елементом сучасних інформаційних систем, що забезпечують обробку великих обсягів даних у хмарних обчисленнях та корпоративних додатках. Однак продуктивність виконання складних SQL-запитів у таких системах залишається критичною проблемою через необхідність передавання даних між вузлами та неефективне планування запитів. Це призводить до затримок у роботі систем, що є неприйнятним для сервісів реального часу.

Метою доповіді є дослідження методів оптимізації запитів у розподілених базах даних та розробка рекомендацій щодо підвищення їх ефективності.

В доповіді аналізуються основні підходи до оптимізації запитів у РБД. Розглянуто методи фрагментації та реплікації даних, які дозволяють зменшити обсяг міжвузлової передачі інформації та вплив різних стратегій планування запитів (rule-based та cost-based) на продуктивність системи. Особлива увага приділяється використанню індексації, кешування результатів та матеріалізованих представлень для часто повторюваних запитів [1].

Результати аналізу літературних джерел показують, що найбільш ефективними є гібридні підходи, які поєднують декілька методів оптимізації одночасно. Зокрема, значну роль у підвищенні ефективності виконання запитів відіграє використання матеріалізованих представлень, що дає змогу повторно використовувати проміжні результати запитів і скорочувати загальну вартість їх виконання [2].

Дослідження також підтверджують, що такі методи зменшують середній час обробки запитів і покращують загальну продуктивність системи. Додаткове використання механізмів кешування підсилює ефект оптимізації, скорочуючи кількість повторних обчислень і міжвузлових передач.

Підвищення продуктивності запитів у розподілених базах даних вимагає комплексного підходу, що включає оптимізацію структури даних, вдосконалення механізмів планування та ефективне використання традиційних методів оптимізації. Поєднання таких методів забезпечує збалансоване використання ресурсів і покращує масштабованість розподілених баз даних, що є критично важливим для стабільної роботи сучасних інформаційних систем.

Список літератури

1. Панасюк В., Майданюк В. Оптимізація продуктивності розподілених баз даних через розділення складних запитів // LIV Всеукраїнська науково-технічна конференція факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії. – 2025.

2. Bachhav A., Kharat V., Shelar M. QOTUM: The Query Optimizer for Distributed Database in Cloud Environment // Технічний вісник. – 2023. – Т. 18. – С. 172-177. DOI: https://doi.org/10.31803/tg-20230501083155

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АПАРАТНОЇ КОРЕКЦІЇ ПОМИЛОК НА ПЛІС

Сергієнко В.І., Філіппенко І.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

У розподілених комп'ютерних системах реального часу важливо забезпечити достовірну передачу даних навіть за умов нестабільності каналу зв'язку.

В односторонніх каналах зв'язку зворотна передача контрольних даних неможлива, тому традиційні методи оцінки кількості помилок на основі BER є непридатними.

Це потребує створення нових апаратних рішень, здатних адаптувати параметри кодування без зворотного зв'язку.

Метою доповіді є представлення розробленої моделі апаратної адаптивної корекції помилок на ПЛІС, у якій адаптація відбувається на основі аналізу рівня шуму каналу із динамічною перебудовою структури перевірочної матриці LDPC у реальному часі.

Запропоновано метод адаптації параметрів LDPC-кодування в залежності від енергетичних характеристик сигналу.

Для цього в системі реалізовано блок оцінювання шуму, який виконує аналіз прийнятого потоку та обчислює коефіцієнт співвідношення сигнал/шум (SNR). Залежно від цього показника система динамічно перемикає набір кодових параметрів (довжину коду, щільність перевірочної матриці, глибину конвеєра).

На рівні апаратної реалізації ПЛІС використовується конфігураційний контролер, що змінює структуру зсувних регістрів і маршрут потоків даних без зупинки основного процесу. Це забезпечує режим реального часу навіть при коливаннях SNR у широкому діапазоні.

Моделювання показало, що динамічна перебудова кодування на основі рівня шуму дозволяє знизити середню кількість помилок та зменшити енергоспоживання ПЛІС порівняно зі статичними реалізаціями.

Таким чином, розроблена модель демонструє ефективність підходу до апаратної адаптивної корекції помилок без зворотного зв'язку, що забезпечує надійну передачу даних у розподілених системах реального часу.

Список літератури

1. Sharif, A., Vidyasagar, V. and Ahmad, R.F. (2010), "Adaptive Channel Coding and Modulation Scheme Selection for Achieving High Throughput in Wireless Networks", in *Proceedings of the IEEE 24th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (AINAW)*, pp. 200–207. DOI: 10.1109/WAINA.2010.197

2. Філіппенко І. В. Система завадостійкого кодування даних на ПЛІС / І. В. Філіппенко, Е. М. Кулак, В. І. Сергієнко // Radioelectronics & Informatics – 2019. – №4. – С. 38–45.

ВИЯВЛЕННЯ ФАЛЬСИФІКАЦІЙ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ РОЗПОДІЛУ КВАНТОВАНИХ КОЕФІЦІЄНТІВ ДКП

Главчева Ю.М., Главчев М.І.
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

Цифрова криміналістика стикається з проблемою швидкого та прихованого маніпулювання зображеннями. **Метою доповіді** є дослідження використання Дискретного косинусного перетворення (ДКП) як інструмента для ідентифікації прихованих артефактів подвійного стиснення JPEG [1,2]. Аналіз розподілу квантованих коефіцієнтів ДКП дозволяє виявити «сліди» перередагування або з'єднання фрагментів, що є важливим для підтвердження цілісності візуальних доказів.

ДКП є математичною основою стандарту стиснення JPEG та більшості сучасних відеокодеків. ДКП переводить зображення з просторової області у частотну, зосереджуючи увагу на низькочастотних коефіцієнтах. Фальсифікація зображення часто включає збереження оригінального файлу з новими налаштуваннями якості (рівень стиснення) або вставку відредагованого фрагмента з іншого джерела. Редагування та повторне збереження при фальсифікації призводить до того, що його частина стискається вдруге, використовуючи Матрицю квантування. Друге квантування руйнує оригінальний розподіл коефіцієнтів ДКП, створюючи характерну статистичну періодичність або аномалію у гістограмах. Ця аномалія, відома як артефакт подвійного квантування, є невидимим, але математично вимірним «слідом» редагування.

Однак, метод має обмеження у випадках складних маніпуляцій, за низької якості зображення.

Таким чином, ДКП можна застосовувати для ефективного підтвердження фальсифікацій зображень. Аналіз артефактів подвійного квантування у частотній області є методом виявлення змін в зображеннях. Подальший розвиток полягає у вдосконаленні алгоритмів інтеграції цих методів із сучасними нейронними мережами для автоматичного та високоточного виявлення прихованих маніпуляцій.

Список літератури

1. Image Forgery Detection Using Dct And Quantization Matrix Techniques. (2019b). *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, *8*(6), 4575–4581. https://doi.org/10.35940/ijeat.f8883.088619.

2. Zhu, N., Shen, J., & Niu, X. (2019). Double JPEG Compression Detection Based on Noise-Free DCT Coefficients Mixture Histogram Model. *Symmetry*, *11*(9), 1119. https://doi.org/10.3390/sym11091119

УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ У БАГАТОВУЗЛОВИХ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

Коваленко А.А., Моруга А.І., Алігусейнов А.Н.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Сучасні багатовузлові децентралізовані системи потребують ефективного управління ресурсами для стабільної роботи. Зростання обсягів даних і кількості вузлів у мережі підсилює важливість оптимального розподілу обчислювальних потужностей. Децентралізація створює нові виклики у координації, моніторингу та балансуванні ресурсів між вузлами. Правильні стратегії управління дозволяють підвищити продуктивність і надійність системи навіть за високих навантажень. Потрібний розподіл процесорного часу, котрий ґрунтується на принципах справедливості, пріоритетності та ефективного використання ресурсів. Серед найпоширеніших методів планування розглядаються кругове обслуговування, пріоритетне планування та багаторівневі черги. Вибір конкретного методу залежить від вимог системи щодо швидкодії, затримок та прогнозованості виконання задач. Правильне регулювання процесорного часу мінімізує конфлікти між задачами та забезпечує стабільну роботу системи в цілому.

Метою доповіді є вивчення принципів та методів регулювання розподілення процесорного часу між задачами, аналіз ефективності алгоритмів планування та формування підходів до оптимізації роботи багатозадачних обчислювальних систем з метою забезпечення стабільної, продуктивної та передбачуваної роботи процесора. Очевидно, що програмно-апаратна реалізація багатовузлових обчислювальних систем з децентралізованою структурою суттєво залежить від функціональних завдань, які вирішують подібні системи в рамках їх цільового призначення; особливості програмно-апаратних рішень, що лежать в основі обчислювальних вузлів, представлених мобільними терміналами. Ряд досліджень присвячено програмній реалізації подібних систем загального призначення, що дозволяють як обчислювальний сайт використовувати будь-який мобільний термінал [1], тоді як інші розробки спеціалізовані для використання в розподілених обчислювальних системах на основі IoT-пристроїв. Узагальнення представлених вище рішень дозволило виявити їх архітектурні особливості, що істотно впливають на особливості їхньої програмно-апаратної реалізації, такі як гетерогенність та спосіб реалізації розподілених обчислень.

Список літератури

1. Панченко, В. І., Сергієнко, В. М. (2024), “Дослідження алгоритмів планування процесорного часу в операційних системах UNIX/LINUX”, Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-2024), Kharkiv: НТУ «ХПІ». С. 109.

2. Zhao, S., Xu, H., Chen, N., Su, R., Chang, W. (2024), ‘FRAP: A Flexible Resource Accessing Protocol for Multiprocessor Real-Time Systems’, arXiv preprint, arXiv:2408.13772. URL: https://arxiv.org/abs/2408.13772.

КОНТРОЛЬ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ВИКОРИСТАННЯ ПРОЦЕСОРІВ У ГРІД-СИСТЕМІ

Андрусенко Ю.А., Кучук Н.Г.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

У сучасних обчислювальних системах ефективне використання процесорних ресурсів є ключовою умовою забезпечення стабільної продуктивності та високої пропускної здатності. Зростання складності програмного забезпечення, поява багатоядерних та гетерогенних архітектур, а також широке застосування систем реального часу вимагають розробки механізмів, здатних динамічно та збалансовано розподіляти навантаження між процесорними елементами. Неефективне управління ресурсами може призвести до деградації продуктивності, збільшення затримок, перевантаження окремих вузлів та зниження стійкості системи. Керування розподілом процесорних ресурсів охоплює комплекс методів і алгоритмів, що дозволяють оптимізувати планування задач, рівномірно розподіляти обчислення між ядрами, мінімізувати простої та забезпечувати адаптивність до змінних умов виконання. Застосування таких механізмів є актуальним як для локальних багатопроцесорних платформ, так і для розподілених систем, хмарних сервісів та високопродуктивних обчислювальних середовищ. Таким чином, дослідження стратегій і підходів до регулювання процесорного навантаження є важливим етапом у підвищенні ефективності обчислювальних систем та створенні надійних, масштабованих і енергоощадних архітектур.

Метою доповіді є дослідження підходів, методів та алгоритмів керування розподілом процесорних ресурсів з метою забезпечення ефективного балансування навантаження, підвищення продуктивності обчислювальних систем та оптимального використання апаратних компонентів.

У доповіді запропоновано ідею виділяти все менше і менше процесорів для кожної роботи зі збільшенням навантаження, тим самим збільшуючи продуктивність. Максимальне прискорення роботи програми за рахунок вибору відповідного числа виділених процесорів передбачає, використовувати систему, яка динамічно вимірює ефективність роботи при різних розподілах та автоматично регулює процесорний розподіл для максимального прискорення виконання роботи.

Список літератури

1. Zhu, W. and Rosendo, A. (2021), “A functional clipping approach for policy optimization algorithms”. IEEE Access, vol. 9, pp. 96056–96063, doi: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3094566

2. Kuchuk, H. and Malokhvii, E. (2024), “Integration of IOT with Cloud, Fog, and Edge Computing: A Review”, *Advanced Information Systems*, vol. *8*(2), pp. 65–78, doi: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.2.08

3. He, K., Zhang, X., Ren, S. & Sun, J. Deep residual learning for image recognition. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2016, pp. 770-778. DOI: https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90

АРХІТЕКТУРА ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ПІДТРИМКИ ПРОЦЕСУ ПЕРЕРОЗМІЩЕННЯ ВІРТУАЛЬНИХ МАШИН ГЕТЕРОГЕННОГО ЦЕНТРУ ОБРОБКИ ДАНИХ

Пироженко С.С., Кучук Н.Г.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Під розподіленою системою розуміється група автономних комп'ютерних систем, які фізично розділені, але підключені до єдиної комп'ютерної мережі та керуються програмним забезпеченням розподіленої системи. Ці незалежні комп'ютери взаємодіють між собою, діляться ресурсами та файлами, а також виконують призначені їм завдання. Гетерогенний центр обробки даних пропонується розглядати як розподілену систему, оскільки він відповідає таким її характеристикам [1, 2]: 1) Спільне використання ресурсів: можливість використовувати будь-які апаратні засоби, програмне забезпечення або дані в будь-якому місці системи. 2) Відкритість: це стосується того, наскільки легко система може бути доповнена та покращена (тобто наскільки відкрито розробляється та передається програмне забезпечення). 3) Паралелізм: природно існує в розподілених системах, де аналогічні завдання можуть виконуватися різними користувачами, розташованими в різних місцях. Кожна локальна система включає свої власні операційні системи та ресурси. 4) Масштабованість: дозволяє збільшувати розмір системи, оскільки кілька процесорів взаємодіють із великою кількістю користувачів, збільшуючи швидкість реакції системи. 5) стійкість до відмов: забезпечує надійне функціонування системи навіть у разі збоїв в апаратному забезпеченні або програмному забезпеченні, не знижуючи загальної продуктивності. 6) Прозорість: приховує складність розподілених систем від користувачів та додатків, забезпечуючи конфіденційність у кожній системі. 7) Гетерогенність: різні компоненти розподіленої системи можуть відрізнятися за типом мережі, комп'ютерного обладнання, операційних систем, мов програмування та реалізації. ВЦОД враховує ці аспекти, пропонуючи рішення, які забезпечують високий рівень гнучкості та ефективності. По-перше, спільне використання ресурсів дозволяє компаніям оптимізувати використання обчислювальної потужності, розподіляючи робоче навантаження між різними серверами та вузлами. Це зменшує витрати на обладнання та підвищує продуктивність, використовуючи всі доступні ресурси на максимум. У таких системах можна динамічно додавати або видаляти ресурси в залежності від поточних потреб, що робить їх вкрай ефективними та стійкими до змін.

Список літератури

1. Barabash, O., Bandurka, O., Svynchuk, O. & Tverdenko, H. Method of identification of tree species composition of forests on the basis of geographic information database. *Advanced Information Systems*, 2022, vol. 6, no. 4, pp 5-10. DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2022.4.01

2. Kuchuk, H. and Malokhvii, E. (2024), “Integration of IOT with Cloud, Fog, and Edge Computing: A Review”, *Advanced Information Systems*, vol. *8*(2), pp. 65–78, doi: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.2.08

СИСТЕМИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ НА ОСНОВІ МУЛЬТИАГЕНТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кучук Н.Г., Радченко В.О.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Сучасні складні системи, що включають промислові процеси, транспортні мережі, інформаційні системи та енергетичні комплекси, характеризуються великою кількістю взаємопов'язаних компонентів та динамічною зміною умов функціонування. Ефективне управління такими системами потребує адаптивних підходів, здатних швидко реагувати на зміни середовища та забезпечувати оптимальну продуктивність. Мультиагентні технології, засновані на взаємодії автономних агентів із власними цілями та поведінкою, забезпечують гнучкий та масштабований механізм керування складними системами. Використання таких технологій дозволяє моделювати поведінку системи, прогнозувати наслідки рішень та приймати оптимальні стратегії управління у реальному часі [1–3].

Метою доповіді є дослідження та аналіз мультиагентних технологій як засобу адаптивного управління складними системами, визначення їхніх переваг і обмежень, а також формування підходів до застосування агентних моделей для підвищення ефективності, надійності та гнучкості управління складними системами.

Адаптивне управління складними системами потребує швидкої реакції на змінні умови, передбачення можливих відмов і забезпечення стабільності функціонування.

Мультиагентні системи базуються на взаємодії автономних агентів, які приймають рішення самостійно та координують свої дії для досягнення спільної мети.

Гнучкість, масштабованість, здатність до самонавчання та адаптації дозволяють ефективно управляти складними динамічними системами в реальному часі.

Мультиагентні технології використовуються в промислових процесах, транспортних мережах, енергетиці, інформаційних системах та інших складних структурах, де важлива швидка адаптація та оптимізація процесів.

Список літератури

1. Barabash, O., Bandurka, O., Svynchuk, O. & Tverdenko, H. Method of identification of tree species composition of forests on the basis of geographic information database. Advanced Information Systems, 2022, vol. 6, no. 4, pp 5-10. DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2022.4.01

2. Kovalenko, A. and Kuchuk, H. (2022), "Methods to Manage Data in Self-healing Systems", *Studies in Systems, Decision and Control*, vol. 425, pp. 113–171, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-96546-4_3

3. Kuchuk, H. and Malokhvii, E. (2024), "Integration of IOT with Cloud, Fog, and Edge Computing: A Review", *Advanced Information Systems*, vol. *8*(2), pp. 65–78, doi: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.2.08

МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ, МЕРЕЖЕВИХ СТРУКТУР І СИСТЕМ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ

Даценко С.С., Кучук Н.Г.
Національній технічний університет «ХПІ», Харків, Україна

Сучасні телекомунікаційні системи відіграють ключову роль у забезпеченні надійного обміну інформацією в приватному, корпоративному та державному секторах. Зростання обсягів передавання даних, поява нових стандартів зв'язку та ускладнення мережевої інфраструктури висувають підвищені вимоги до якості, стабільності й безпеки роботи обладнання та систем зв'язку. У цих умовах набуває особливого значення впровадження ефективних методів тестування й контролю, які дозволяють своєчасно виявляти помилки, оцінювати продуктивність, визначати відповідність технічним стандартам та прогнозувати надійність телекомунікаційних рішень.

Комплексне тестування телекомунікаційного обладнання, мереж та систем забезпечує не лише високу якість послуг, а й створює основу для подальшої модернізації інфраструктури та впровадження нових технологій. Тому вивчення методів тестування є важливим компонентом підготовки фахівців у сфері інформаційних і комунікаційних технологій [1].

Метою доповіді є дослідження та систематизація методів тестування телекомунікаційного обладнання, мереж і систем зв'язку, аналіз їх ефективності та особливостей застосування для забезпечення стабільної, надійної та безпечної роботи сучасних телекомунікаційних систем.

Тестування телекомунікаційного обладнання, мереж і систем зв'язку є критичним етапом забезпечення надійності, продуктивності та безпеки сучасних комунікаційних систем. Методи тестування можна розділити на функціональні, навантажувальні, стрес-тести, тестування на сумісність і безпеку. Кожен метод має свої особливості та призначений для оцінки різних аспектів роботи системи. Використовуються як програмні, так і апаратні засоби контролю, включаючи емулятори мереж, аналізатори протоколів, генератори трафіку та автоматизовані системи тестування. Тестові сценарії повинні враховувати різноманітні умови роботи мережі, типи навантажень та можливі відмови, щоб забезпечити комплексну перевірку системи. Після проведення тестів проводиться оцінка продуктивності, виявлення несправностей, порушень стандартів і слабких місць у мережевій або апаратній інфраструктурі. Регулярне тестування дозволяє виявляти проблеми на ранніх етапах, оптимізувати роботу системи та впроваджувати нові технології без ризику збоїв.

Список літератури

1. Kovalenko, A. and Kuchuk, H. (2022), "Methods to Manage Data in Self-healing Systems", *Studies in Systems, Decision and Control*, vol. 425, pp. 113–171, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-96546-4_3

ЛЮДСЬКИЙ ФАКТОР У СИСТЕМАХ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ: УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ

Бельорін-Еррера О.М., Лисиця Д.О.
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

Системи інформаційної безпеки сучасних організацій значною мірою залежать від поведінки та компетенцій персоналу, оскільки більшість інцидентів з інформаційними системами пов'язані з помилками користувачів, соціальною інженерією та зловмисними діями співробітників. Згідно з дослідженнями, близько 60–68% інцидентів виникають через людський фактор. Ефективне управління ризиками, пов'язаними з людським чинником, вимагає комплексного підходу, який поєднує технічні, організаційні та освітні заходи. До технічних заходів належать системи багатофакторної аутентифікації, моніторинг поведінки користувачів та автоматичне блокування підозрілих дій. Організаційні заходи включають чітке формулювання політик безпеки, регламенти доступу до даних та регулярний аудит виконання процедур. Освітні програми та тренінги підвищують обізнаність співробітників про потенційні загрози та формують культуру відповідального ставлення до інформаційних ресурсів. Для структурованого управління ризиками людського фактору застосовуються міжнародні стандарти та методики, зокрема ISO/IEC 27005:2022, що рекомендує інтегрувати оцінку людських ризиків у загальний процес управління ризиками, та NIST SP 800-39, який пропонує структурований підхід до оцінки, реагування та моніторингу ризиків у контексті поведінки персоналу. Додатково методика MEHARI дозволяє оцінювати ризики людського фактора у відповідності до стандартів ISO та NIST. Рекомендовані заходи включають регулярні навчання з безпеки інформаційних систем, симуляції атак для розвитку навичок розпізнавання загроз, використання платформ управління людським ризиком, аналіз поведінкових даних та впровадження чітких політик і процедур. Комплексне поєднання цих заходів дозволяє зменшити ймовірність людських помилок, підвищити обізнаність співробітників та формувати стійку культуру захисту інформаційних ресурсів в організації.

Список літератури

1. ISO/IEC 27005:2022 — *Information security, cybersecurity and privacy protection — Information security risk management*; URL: https://www.iso.org/standard/75281.html.
2. NIST SP 800-39 — *Managing Information Security Risk: Organization, Mission, and Information System View*; URL: https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-39/final.
3. Verizon DBIR 2025 — *Data Breach Investigations Report*; URL: https://www.verizon.com/business/resources/reports/dbir/.
4. OutThink Research 2024 — *Human Factor in Information Security*; URL: https://www.outthink.com/human-factor-report-2024.
5. CLUSIF — *MEHARI Method for Harmonized Analysis of Risk*; URL: https://www.mehari.org.

ВПЛИВ РЕГЛАМЕНТУ DORA НА РОЗВИТОК СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЦИФРОВИМИ РИЗИКАМИ IT-КОМПАНІЙ

Бельорін-Еррера О.М., Шиман А.П.
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Харків, Україна

На початку 2025 року в країнах Європейського Союзу набрав чинності Регламент (ЄС) 2022/2554 — Digital Operational Resilience Act (DORA), спрямований на зміцнення цифрової стійкості організацій, що використовують інформаційні технології. DORA встановлює єдині стандарти управління ІКТ-ризиками, кібербезпекою та контролю за постачальниками ІТ-послуг, акцентуючи увагу на виявленні й реагуванні на інциденти, тестуванні цифрової стійкості та обміні інформацією про кіберзагрози між установами. Впровадження регламенту дозволяє уніфікувати підходи до управління ризиками, підвищити прозорість взаємодії між організаціями та постачальниками, а також знизити ймовірність системних збоїв у цифрових процесах. DORA має екстериторіальний ефект: будь-які ІТ-компанії, що надають послуги європейським установам, повинні адаптувати свої політики відповідно до його положень, що стає не лише правовою вимогою, а й показником технологічної зрілості та надійності бізнесу. Порівняно з іншими країнами, подібні принципи управління цифровою стійкістю реалізовані у США через *NIST Cybersecurity Framework*, у Канаді — через *OSFI Guideline B-13*, а в Китаї — через *Cybersecurity Law* та *Data Security Law*, проте лише DORA забезпечує комплексний та обов'язковий підхід для всього ЄС. Українські ІТ-компанії, що працюють з європейськими клієнтами, вже адаптують свої політики відповідно до вимог регламенту, що демонструє його вплив на формування нових стандартів управління цифровими ризиками. Таким чином, DORA стає важливим інструментом підвищення цифрової стійкості, зміцнення кібербезпеки та формування системного підходу до управління ІТ-ризиками у глобальному бізнес-середовищі.

Список літератури

1. Європейський Союз. (2022). *Regulation (EU) 2022/2554 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2022 on digital operational resilience for the financial sector*. EUR-Lex. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A32022R2554.

2. Milanesi, D. (2024). *Strengthening financial stability: Navigating evolving regulatory frameworks for operational resilience and third-party risk management*. TTLF Working Paper No. 120. Stanford Law School. URL: https://law.stanford.edu/wp-content/uploads/2024/08/TTLF-WP-120-Milanesi.pdf.

3. National Institute of Standards and Technology (NIST). (2024). *The NIST Cybersecurity Framework (CSF) 2.0*. NIST Cybersecurity White Paper (CSWP) No. 29. URL: https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/CSWP/NIST.CSWP.29.pdf.

4. Alcalá, A. T. (2025). *Strengthening the EU Cybersecurity Act: Strategic recommendations for coherence, certification, and systemic resilience*. SSRN. URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5326851.

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ РЕГУЛЯТОРНОЇ ВІДПОВІДНОСТІ В IT-СЕКТОРІ

Бельорін-Еррера О.М.
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна
Чепела С.П.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

В умовах стрімкого оновлення нормативно-правової бази та посилення міжнародних стандартів питання управління ризиками регуляторної відповідності набуває особливої актуальності для IT-сектору. У 2024–2025 роках спостерігається трансформація вимог до інформаційних технологій, пов'язана з імплементацією таких актів, як Директива NIS2 та Регламент DORA, що визначають нові підходи до управління операційною стійкістю, звітності про інциденти та контролю ризиків у ланцюгах постачання ІКТ-послуг. Ці документи закладають основу сучасної архітектури управління ризиками відповідності, орієнтованої на прозорість, стійкість і безперервність процесів. Сучасна парадигма управління ризиками переходить від формального дотримання вимог до інтегрованого підходу, коли управління відповідністю стає елементом корпоративної стратегії та частиною загального фреймворку GRC (Governance, Risk, Compliance). Такий підхід охоплює не лише внутрішні процеси організації, а й діяльність зовнішніх контрагентів, постачальників і хмарних сервісів, що значно підвищує складність управління, але водночас забезпечує комплексний контроль. Важливим напрямом розвитку є автоматизація процесів моніторингу, використання аналітики даних і систем підтримки прийняття рішень. Посилення вимог до звітності та прозорості управління ризиками відповідності вимагає від IT-компаній постійного оновлення політик, процедур і технічних механізмів контролю. Це включає безперервний моніторинг, оцінку впливу ризиків, оперативне реагування на інциденти та підвищення обізнаності персоналу. Таким чином, управління ризиками регуляторної відповідності сьогодні є ключовим чинником забезпечення цифрової стійкості організацій, що визначає їхню здатність відповідати вимогам часу й підтримувати довіру клієнтів і партнерів у сучасному регуляторному середовищі.

Список літератури

1. European Union. *Directive (EU) 2022/2555 on measures for a high common level of cybersecurity across the Union (NIS2 Directive).* Official Journal of the European Union, 2023; URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32022L2555.
2. European Union. *Regulation (EU) 2022/2554 on Digital Operational Resilience for the Financial Sector (DORA).* Official Journal of the European Union, 2023; URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2022/2554/oj.
3. IntentWire. *Compliance Risk Management Guide: 2025 US Trends.* 2025; URL: https://intentwire.com/insights/compliance-risk-management-guide-2025-us-trends.

ЕКОСИСТЕМА ПОБУТОВОГО ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Семенченко В.І., Кучук Г.А.
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

Екосистема Інтернету речей (IoT) є комплексом взаємопов'язаних пристроїв, сенсорів, програмного забезпечення, мережевих технологій та хмарних платформ, які взаємодіють між собою, збирають, передають та аналізують дані з фізичного світу для автоматизації процесів і підтримки прийняття рішень.

Отже, це середовище, де «розумні» пристрої обмінюються даними та працюють разом, забезпечуючи нові можливості для людей, бізнесу та інфраструктури. До основних компонентів екосистеми IoT відносяться пристрої та сенсори, що збирають дані; мережеві підключення для передачі даних; платформи IoT, що обробляють та зберігають дані; програми аналітики та обробки даних; інтерфейси користувача та системи забезпечення безпеки та управління [1].

У доповіді детально проаналізовані особливості екосистеми IoT.

Масштабованість IoT полягає в тому, що екосистема може включати десятки, тисячі або мільйони пристроїв, які працюють одночасно. *Гетерогенність* екосистеми IoT пов'язана з тим, що пристрої різних виробників, з різними протоколами, можливостями та призначенням в процесі функціонування взаємодіють між собою. *Наявність взаємодії в реальному часі* дозволяє миттєво передавати та аналізувати дані та швидко реагувати на зміни. Також IoT є *автоматизованою системою*, тобто вона може виконувати дії без участі людини: від увімкнення освітлення до складних промислових рішень. *Хмарна інтеграція* більшості IoT-платформ дозволяє використовувати хмарні технології для зберігання й аналізу великих обсягів даних. Екосистема IoT орієнтована на дані, які є її основною цінністю, їх можна аналізувати для оптимізації роботи відповідних систем.

Також у доповіді розглянута у якості прикладу екосистема розумного дому, визначені її специфічні особливості. Це автоматизація побутових процесів, тобто пристрої самостійно виконують завдання; взаємопов'язаність пристроїв, тобто всі елементи працюють як єдина система та обмінюються даними; дистанційне керування через смартфон, голосових асистентів або веб-панель; інтелектуальна адаптація та енергоефективність; можливість масштабування, тобто до системи легко додавати нові пристрої та функції без повного переобладнання житла.

Список літератури

1. Kuchuk, H. and Malokhvii, E. (2024), "Integration of IOT with Cloud, Fog, and Edge Computing: A Review", *Advanced Information Systems*, vol. *8*(2), pp. 65–78, doi: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.2.08

РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРИ AUTOMALORDO

Лазуренко В.В., Черних О.П., Гейко Г.В.
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Харків, Україна

Кількість користувачів персональних комп'ютерів, смартфонів та інших цифрових пристроїв кожного року постійно зростає і з'являється потреба у застосунках, які дозволяють зняти напруження і відпочити. Таким чином, задача розробки ігрових застосунків є актуальною.

Комп'ютерні ігри мають великий вплив на людей – процес гри може сприяти стимулюванню творчості та розвитку когнітивних навичок у гравців (увага, швидкість реакції, прийняття рішень), також ігри можуть сприяти соціальній взаємодії при об'єднанні гравців для спільної гри або спілкування. Для гравців важливою є якість ігрових проєктів, особливо в частині дизайну ігрових рівнів, які є основою геймплею і визначають цікавість, динаміку і складність гри.

Розробникам і дизайнерам комп'ютерних ігор важливо не тільки забезпечити захоплюючий ігровий процес, але ще й треба зробити так, щоб було швидке завантаження і оптимізована графіка для різних пристроїв і платформ.

У даній роботі було розроблено комп'ютерну гру Automalordo – це гра у жанрі автомобільних перегонів, в яку можна грати декільком гравцям, має два рівні проходження і режим тренування.

Для розробки було використано ігровий рушій Unity Engine, який має велику базу навчальних матеріалів і робіт спільноти, а також використовується для проєктування в 2D- і 3D-середовищі [1].

У розробленому застосунку спроєктовані модулі були реалізовані у вигляді скриптів, ігрових об'єктів і компонентів для них. Для розробки була використана мова програмування C++, вузлове програмування середовища Unreal Engine, а також Blender для моделювання об'єктів [2, 3]. Правильна розробка ігрових рівнів в розробленому застосунку дозволила досягти баланс між цікавістю гри та складністю її проходження.

Список літератури

1. Unreal Engine [Електронний ресурс] // Режим доступу: https://www.unrealengine.com/en-US (дата звернення 30.09.2025).

2. Microsoft C++, C, and Assembler documentation // Режим доступу: https://learn.microsoft.com/en-us/cpp/?view=msvc-170 (дата звернення 30.09.2025).

3. Blender [Електронний ресурс] // Режим доступу: https://www.blender.org (дата звернення 30.09.2025)

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ФАЛЬСИФІКОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Степаняк О.І., Гейко Г.В.
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

Швидке поширення непідтвердженого і неточного контенту, який називають фейковими новинами, сприяється доступністю інформації та відсутністю надійних процедур її перевірки [1]. Соціальні мережі є одним із каналів для іноді неконтрольованого поширення неправдивої інформації, тому що кілька фальшивих публікацій можуть швидко привернути багато уваги [2].

В даній роботі виконано аналіз методів виявлення фейкових новин. В методі опорних векторів виконується класифікація новин відповідно до джерела інформації та стилістичних особливостей, також можна робити прогнози в режимі реального часу. Баєсівське моделювання використовує теорію ймовірностей для роботи з даними (дозволяє дослідникам враховувати попередні знання про ймовірність того, що певні новини є правдивими чи хибними). Логістична регресія – це статистичний підхід, який ефективно виявляє неправдиві новини шляхом оцінки різних характеристик новинних статей. Однією з переваг такого методу є здатність моделі генерувати точні результати, незалежно від розмірів набору даних. Використання рекурентних нейронних мереж підходить для виявлення закономірностей і зв’язків, що вказують на обман, шляхом збереження у пам'яті інформації про попередні вхідні дані. Згорткові нейронні мережі здатні розпізнавати локальні особливості та закономірності в текстах, що вказують на обман. Ці моделі мають здатність ефективно керувати великими наборами даних.

Таким чином, можна зробити висновок, що існує велика кількість методів виявлення фейкової інформації, але внаслідок відсутності якісних і повних наборів даних та динамічний характер створення фейкових новин, боротьба з такою інформацією ще не завершена.

Для розробки більш ефективних методів виявлення фейкових новин треба поєднувати ідеї журналістики, інформатики та соціальних наук – це дозволить розробити більш точні і швидші інструменти, які будуть здатні обробляти більш широкий спектр типів інформації.

Список літератури

1. M. Tajrian, A. Rahman, M. A. Kabir, M. R. Islam, "A review of methodologies for fake news analysis" in IEEE Access, vol. 11, pp. 73879-73893, 2023. doi: 10.1109/ACCESS.2023.3294989.

2. B. Omar, O. D. Apuke, Z. M. Nor "The intrinsic and extrinsic factors predicting fake news sharing among social media users: the moderating role of fake news awareness". Current Psychology, vol. 43, pp. 1235 – 1247, 2024. https://doi.org/10.1007/s12144-023-04343-4.

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ТЯГОВИХ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ В АВАРІЙНИХ РЕЖИМАХ

Гавриленко С.Ю., Гейко М.В.
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

Завдання забезпечення високої надійності роботи тягових асинхронних двигунів (ТАД) з кожним роком стає дедалі актуальнішим, оскільки старіння обладнання значно випереджає темпи технічного переоснащення. Ця проблема також посилюється недостатньою ефективністю традиційних методів діагностики та контролю, що вимагає побудови математичної моделі системи тягового електроприводу, яка дозволяє повноцінно моделювати її роботу в режимі реального часу.

Аналіз існуючих методів показав, що проблема діагностики ТАД полягає у необхідності створення простого та універсального методу визначення їх технічного стану. Це дозволить до мінімуму знизити шкоду від пошкоджень двигунів за рахунок раннього виявлення дефектів, що виникають. Застосування надійного та ефективного захисту від аварійних режимів роботи дозволить скоротити кількість та частоту аварійних ситуацій, що значно продовжить термін експлуатації двигунів.

В роботі розроблено комп'ютерну модель для дослідження роботи ТАД в аварійних режимах роботи.

Ця модель дозволяє досліджувати роботу двигунів при різних умовах пуску, а також при обриві фази, наявності пошкоджень стрижнів ротора, при зниженій напрузі живлення. Виконані розрахунки показали можливість використання розробленої моделі для виявлення характерних ознак виникнення несправностей в ТАД.

Система діагностування, побудована з використанням математичних моделей, дозволяє розрахувати характеристики справного двигуна у певних умовах, а потім порівняти їх із показниками ТАД у процесі експлуатації. Це дозволяє на стадії проєктування виявляти несправності та дослідити якісні показники ТАД.

Список літератури

1. Стадній О.Ю. Аварійні ситуації в роботі асинхронних двигунів, заходи та засоби їх запобігання / О.Ю. Стадній, А.С. Васюра, Г.Д. Дорощенков // Оптико-електронні пристрої та компоненти в лазерних і енергетичних технологіях. – Том 37, вип. 1. – 2019. – С. 109 – 115.

2. Губаревич О.В. Імітаційне моделювання асинхронного електродвигуна для підвищення рівня діагностичних систем / О.В. Губаревич, І.В. Мелконова // Вісник східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – № 1 (271). – 2022. – С. 18 – 23.

ПЛАНУВАННЯ РОБІТ ІЗ ПРІОРИТЕТНИМ ПЕРЕХОПЛЕННЯМ

Андрусенко Ю.А., Кучук Н.Г.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Планування робіт є фундаментальною проблемою в теорії обчислень, операційних дослідженнях та управлінні виробництвом. Вона полягає у визначенні оптимальної послідовності та часу виконання набору робіт (завдань) на обмеженій кількості ресурсів (процесорів, машин) з метою мінімізації певного критерію, такого як загальний час виконання (довжина графіка), затримки чи витрати.

У класичних моделях планування часто передбачається, що робота, розпочата на процесорі, має бути завершена безперервно.

Проте в реальних системах – від багатозадачних операційних систем до гнучких виробничих систем – часто виникає необхідність переривання роботи [1]. Переривання дозволяє зупинити виконання поточної роботи, зберегти її стан, виконати іншу, більш пріоритетну чи термінову роботу, а потім продовжити оригінальну роботу з того місця, де вона була зупинена.

Проблема планування робіт із перериваннями є більш складною та реалістичною варіацією класичної задачі, оскільки вона вимагає не лише визначення послідовності, але й оптимальних моментів часу для перемикання між роботами [2].

Ефективне вирішення цієї проблеми має вирішальне значення для забезпечення справедливості розподілу ресурсів, підвищення пропускної здатності системи та, що найголовніше, гарантування своєчасного виконання робіт з жорсткими часовими обмеженнями [3].

Основна мета доповіді – це вирішення задачі планування робіт із перериваннями полягає у розробці та аналізі алгоритмів, які можуть генерувати оптимальні або близькі до оптимальних графіки виконання робіт з урахуванням можливості їх зупинки та відновлення.

В доповіді наводяться основні результати положення, що визначають структуру та ключові особливості задачі планування з перериваннями, дозволяючи однозначно її класифікувати та підбирати оптимальні стратегії.

Список літератури

1. Петровська І. Ю., Кучук Г. А. Розподіл обчислювальних ресурсів у хмарних системах. Системи управління, навігації та зв'язку. 2022. Вип. 2 (68). С. 75–78. DOI: http://dx.doi.org/10.26906/SUNZ.2022.2.075.

2. Kuchuk G., Nechausov S., Kharchenko, V. Two-stage optimization of resource allocation for hybrid cloud data store. Int. Conf. on Information and Digital Technologies. Zilina, 2015. P. 266-271. DOI: http://dx.doi.org/10.1109/DT.2015.7222982.

3. Кучук Г.А., Коваленко А. А., Лукова-Чуйко Н. В. Метод мінімізації середньої затримки пакетів у віртуальних з'єднаннях мережі підтримки хмарного сервісу. Системи управління, навігації та зв'язку. Полтава . ПНТУ, 2017. Вип. 2(42). С. 117-120.

ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ФУНКЦІЙ МОБІЛЬНОГО ЗАСТОСУНКУ FOOD FRIEND

Лавка О.О., Кучук Г.А.
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

У доповіді пропонується розробка серверної частини для мобільного застосунку Food Friend, призначеного для управління рецептами, інгредієнтами та персональним харчуванням. Серверна частина реалізується на NestJS із використанням PostgreSQL як основної бази даних, Meilisearch як високопродуктивного пошукового двигуна. Для автоматизації ключових функцій запропонована інтеграція з моделями штучного інтелекту (AI) [1, 2].

Штучний інтелект буде використовуватися для таких базових функцій:

- автоматичного заповнення інформації про рецепти;
- генерації (або пошуку в інтернеті) зображень страв;
- створення персональних раціонів харчування;
- надання рекомендацій користувачам;
- автоматичного аналізу інгредієнтів;
- покращення пошуку завдяки семантичній інтерпретації запитів.

Автоматизація створення рецептів з використанням AI призначена для спрощення процесу додавання нових рецептів та підвищення якості даних. Очікуваним ефектом є зменшення ручної роботи та підвищення стандартизації. Генерація (або пошук в інтернеті) зображень страв допоможе отримати якісні візуальні матеріали без потреби фотографувати блюдо. Формування за допомогою AI персонального харчування на день, тобто створення персонального добового раціону користувача, надасть застосунку персоналізований підхід. Інтелектуальний помічник з рецептів на базі AI буде зручним інструментом взаємодії та консультацій. Автоматичний аналіз інгредієнтів з використанням AI призначений для спрощення додавання нових інгредієнтів та супроводу відповідної бази. AI-пошук (семантичний пошук + Meilisearch) дозволить покращити точність пошуку завдяки розумінню змісту запиту. Планується використовувати такі функції AI: семантичне трактування запитів; перетворення запитів у структуру, придатну для Meilisearch; визначення ключових параметрів і фільтрів; поєднання AI-розуміння з повнотекстовим пошуком. Це буде сприяти отриманню релевантних результатів пошуку.

Список літератури

1. Taha, A., & Barukab, O. (2022), “Android malware classificationusing optimized ensemble learning based on genetic algorithms”, *Sustainability*, vol. 14(21), 14406, , doi: https://doi.org/10.3390/su142114406

2. Федун, В. (2024), “Проблеми використання технологій штучного інтелекту в додатках на смартфоні”, *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*, vol. 335(3(1), pp. 286–292, doi: https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-335-3-38

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ГРАНИЧНОГО ШАРУ ІНДУСТРІАЛЬНОГО ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Клівець С.І., Кулєшов О.В.
Харківський національний університет Повітряних Сил
імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

Характерні риси індустріального Інтернету речей (IIoT), що відрізняють його від звичайного Інтернету речей (IoT), є такими: жорсткі вимоги до надійності, стійкості, відмовостійкості, безпеки; детермінізм і низька затримка; складна інтеграція з існуючими системами; гетерогенність: різні типи сенсорів, виконавчих пристроїв, протоколів, різні реальні умови (температура, вологість, електромагнітні перешкоди); великий обсяг даних на периферії [1, 2].

Отже, IIoT має ті самі базові елементи, що й IoT, але з більш жорсткими вимогами, суворішими обмеженнями та вищим рівнем критичності [3]. При розгортанні IIoT виникає низка проблем, зокрема, пов'язаних з нестачею ресурсів на граничному шарі [4]. Для оптимізації використання ресурсів потрібно формалізувати відповідні процеси.

У доповіді пропонується математична модель процесу функціонування граничного шару IIoT, котра дозволяє формалізувати баланс черг, ресурси, передавання задач між вузлами.

В якості цільової функції розглядається мінімізація математичного сподівання функціоналу сукупних втрат та затримок. Для врахування витрат критичних ресурсів, таких як, наприклад, енергія для мобільних пристроїв, до цільової функції додається штраф за використання таких ресурсів. У математичній моделі розглядається як горизонтальне, так і вертикальне масштабування. До горизонтального масштабування відносяться такі дії: динамічне додавання або активація нових вузлів або переміщення задач на менш завантажені вузли. Вертикальне масштабування досягається за рахунок зміни доступного ресурсу для конкретних пристроїв граничного шару, наприклад, збільшення CPU частоти, алокації пам'яті тощо.

Список літератури

1. Zhang, X., Wang, X., Xu, X. & Duan, L. (2023) *Resource Management in Mobile Edge Computing: A Comprehensive Survey*. DOI: https://doi.org/10.1145/3589639

2. Li, H., Liu, Y., Zhou, X., Vasilakos, X., Nejabati, R., Yan, S. & Simeonidou, D. (2023) *Adaptive resource management for edge network slicing using incremental multi-agent deep reinforcement learning*. arXiv: URL: https://arxiv.org/abs/2310.17523

3. AlQerm, I., Wang, J., Pan, J. & Liu, Y. (2021) *BEHAVE: Behavior-Aware, Intelligent and Fair Resource Management for Heterogeneous Edge-IoT Systems*. IEEE Trans. on Mobile Computing. DOI: https://doi.org/10.1109/TMC.2021.3068632

4. Mhamdi, L. & Abdul Khalek, H. (2023) *Congestion control in constrained Internet of Things networks*. IET Wireless Sensor Systems, 13(6), pp.247–255. DOI: https://doi.org/10.1049/wss2.12072

ЗМЕНШЕННЯ ЧАСУ ЗАВАНТАЖЕННЯ 3D МОДЕЛЕЙ ДО КЛІЄНТСЬКИХ ЗАСТОСУНКІВ

Матвєєв М.І., Кучук Г.А.
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

Широке використання AR-застосунків посилює вимоги до швидкого завантаження та відтворення 3D-моделей. Нестабільні мережеві умови та обмежені ресурси клієнтських пристроїв створюють потребу в компактних математичних моделях, що дозволяють оцінювати затримки та визначати напрями оптимізації.

У якості об'єкту проведеного дослідження: розглядався процес отримання й візуалізації 3D-моделей у клієнтському AR-застосунку.

Метою даного дослідження була розробка спрощеної математичної моделі реалізації процесу завантаження 3D-контенту до вебзастосунку на Angular з урахуванням розміру моделі, пропускної здатності та затримок обробки. Запропонована модель може бути основою для скорочення часу завантаження.

В результаті проведених досліджень запропоновано модель, що описує загальний час завантаження та відображення 3D-моделей і враховує основні параметри системи, зокрема константу витрат і коефіцієнт оптимізації. Аналітичні залежності, котрі запропоновані у розробленій моделі, дають змогу оцінювати вплив параметрів мережі та характеристик обробки на час завантаження та використовувати їх для обґрунтування відповідних методів оптимізації.

Проведена перевірка показала відповідність розробленої моделі прийнятим припущенням.

Отже, запропонована спрощена модель є гнучкою й придатною до адаптації під різні мережеві умови та сценарії роботи AR-клієнтів.

Результати можуть бути використані для розробки практичних підходів до зниження часу завантаження та підвищення якості взаємодії користувача з AR-застосунками. Сферою застосування моделі можуть бути як мобільні та веб-AR-клієнти, так і системи доставки 3D-контенту або інструменти фронтенд-оптимізації.

Список літератури

1. Li L., Qiao X., Lu Q., Ren P., Lin R. Rendering Optimization for Mobile Web 3D Based on Animation Data Separation and On-Demand Loading // IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 88474-88486. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2993613

2. Rak T. Modeling Web Client and System Behavior // Information. 2020. Vol. 11, No. 6. P. 337. DOI:10.3390/info11060337

3. Arronategui U., Banares J. A., Colom J. M. Large scale system design aided by modelling and DES simulation: A Petri net approach // Software-Practice & Experience. 2025. Vol. 55, No. 2. P. 243–271. DOI: 10.1002/spe.3374

СЕКЦІЯ 6
ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА ТА ЗАХИСТ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Керівник секції: д.т.н. проф. О. В. Третьяков, ДУ «КАІ», Київ
Секретар секції: к.т.н. доц. Є. В. Доронін, ДУ «КАІ», Київ

ANALYSIS OF MONITORING PROCESSES IN THE SYSTEM ENVIRONMENTAL SAFETY AND COMMUNICATIONS INFRASTRUCTURE SPECIAL-PURPOSE

Ibrahimov B.G., Akhundov R.G., Hashimov E.G.
National Defense University; Baku, Azerbaijan
Azerbaijan Technical University; Baku, Azerbaijan

In this work, methods analysis of monitoring in the system environmental safety and communication infrastructure special purpose as multi-component management systems, summarizing the practical experience of building information systems monitoring [1, 2]. The method of asynchronous multicomponent information system and communication system is used to represent the application area, the dependence of its state on time is described by a set of hypotheses. Hypotheses are verified on the basis of signals from sensors that read the state of individual components - hardware and software complexes. The reliability of choosing one or another hypothesis determines the reliability of the information carried by the signals coming from the sensors of the ecological safety information system [1].

Methods analysis of monitoring processes in the environmental safety system of special purpose are proposed, they allow to identify repeated and contradictory signals of the communication system, as well as to group signals that carry information about independent information processes occurring simultaneously. In a broad sense, monitoring environmental safety systems and special-purpose communications infrastructure refers to the identification deviations in the characteristics of an information monitoring system from the normal operating mode, or the identification of trends in changing characteristics based on the systematic collection and analysis of information about the facility [2]. In this case, the monitoring task is typical for those activities where the object of study is environmental safety systems and special-purpose communications infrastructure, which represent a complex, multi-component information system whose state can be assessed by changes in the properties of the control system as a whole or the set of its component objects.

Examples activities that are an integral part environmental safety systems and special-purpose communications infrastructure, for which monitoring is a task, include epidemiological surveillance, control systems for large-scale technical facilities and production, and public safety [1, 2]. Data collection is an integral part monitoring, therefore, a large number of works are devoted to the tasks data collection, considering both technological and theoretical, for example, [1, 2] the foundations for solving this problem.

Thus, this work is devoted to the analysis of monitoring processes in the system of environmental safety and special-purpose communications infrastructure.

In the simplest cases, for which it is sufficient to solve the problem of collecting data in the communications and information system infrastructure, the sensor signal simultaneously serves as a signal of a deviation in the system's operating mode from the normal mode [2].

Let's assume that an alarm system in a communications infrastructure and information system is an obvious example, where the activation of a single sensor is a signal of a deviation from normal operating conditions at the monitored environmental safety system as an object.

The capabilities control and data collection systems in communications systems are insufficient for monitoring environmental safety systems, whose normal operation is characterized by the presence background sensor signals [2].

The presence background signals is typical for most complex environmental safety systems and special-purpose communications infrastructure, including critical information infrastructures, economics, medicine, and engineering.

A clear example is the monitoring of special-purpose communications infrastructure, where the transmission, processing, and reception of signals determines whether the hardware and software systems are no longer in the normal mode and exceed the threshold for processing and transmitting service or useful signals. Therefore, for monitoring such systems - environmental safety systems and communications infrastructure - more precise methods of message processing are required that operate in conditions of the presence of background in the information system.

References

1. Dena M. Bravata et al. Systematic Review: Surveillance Systems for Early Detection of Bioterrorism-Related Diseases. Ann Intern Med. 2004. Vol. 140. Pp. 910-922.

2. Ibrahimov B.G. Telecommunication systems and technologies. Textbook for higher education institutions. AzTU, Baku, 2021. 354 p.

3. Ganimat I. B., Qiyas H. E. Analysis and selection performance indicators multiservice communication networks based on the concept NGN and FN //Computer and information systems and technologies. – 2021.

4. Zulfugarov B. et al.Comparative analysis of the efficiency of various energy storages //Modeling, Control and Information Technologies: Proceedings of International scientific and practical conference. – 2023. – №. 6. – С. 42-45.

5. İbrahimov, B.G., Hashimov, E.G. Research and analysis of fiber-optic communication lines based on wave multiplexing technology. *İn* Сучасні напрями розвитку інф.-комунікаційних технологій та засобів управління. -2023, Том 2. -pp.4-5.

6. Islamov, I. et al. (2025). Big data analytics and machine learning for predicting radiation and chemical threats in the military sphere. İn *Theory and practice of modern science: (September 26, 2025, Kraków, Republic of Poland)* (pp. 30–38). https://doi.org/10.36074/scientia-26.09.2025

7. Tahirov, R. K. et al. (2024). Environmental aspects of information technology implementation. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 138–139).

DETECTION OF MINES WITH MODERN METHODS

Hasanzade R., Rzayev R.
Baku State University, Baku, Azerbaijan
Hasanli R.
Sumgait State University, Sumgait, Azerbaijan
Gasanov A.
National Defense University, Baku, Azerbaijan

There are numerous buried mines in the liberated Karabakh territory of Azerbaijan. Their detection by traditional methods is both dangerous for human life and creates difficulties from an economic point of view.

Traditional methods (mine-seeking animals, mine-seeking machines, special equipment directly controlled by humans, etc.) are dangerous and expensive. Therefore, the application of more accurate and safe alternative methods is necessary.

The goal is to prevent such unexpected accidents and create opportunities for more efficient use of the state budget. For these reasons, the proposed spectroscopic methods using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) are suitable for the detection of advanced mines.

In cases where metal detectors are not enough, it is necessary to investigate the effectiveness of airborne mine detection using spectroscopic methods. It is known that the negative feature of metal detectors is that it is very difficult to determine the location of mines with plastic bodies with them. To overcome this problem, it is necessary to use spectroscopic methods.

Mine detection using airborne spectroscopic methods is safer and more economical than existing methods. This approach allows for the rapid and safe detection of mines in large areas, regardless of the difficulties of the geographical relief of the area.

During the study, ground penetrating radar (GPR), infrared (IR) cameras and magnetometric methods mounted on UAVs are used. Infrared rays and radio waves allow analyzing the thermal and electromagnetic properties of objects underground [1-16].

- Radio waves reflect off objects underground, allowing the location of mines to be determined.
- Infrared cameras distinguish mines from their surroundings based on their ability to absorb heat.
- Analysis of the scientific literature and simulation results show that spectroscopic methods can accurately detect metal and plastic mines from long distances.

For this purpose, it is relevant to conduct real experimental studies [7-9].

References

1. Hamran, S. E., Gjessing, D., Hjelmstad, J., Aarholt, E. (1995). Ground penetrating synthetic pulse radar: Dynamic range and modes of operation. J. Appl. Geophys. 33, 7–14.

2. Soldovieri, F., Lopera, O., Lambot, S. (2010). Combination of advanced inversion techniques for an accurate target localization via GPR for demining applications. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 49, 451–461.

3. Oliveira, R.J., Caldeira, B., Teixidó, T., Borges, J.F. (2021). GPR clutter reflection noise-filtering through singular value decomposition in the bidimensional spectral domain. Remote Sens. 13.

4. Prager, S., Moghaddam, M. (2019). Application of ultra-wideband synthesis in software defined radar for UAV-based landmine detection. In Proceedings of the IGARSS 2019-2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, pp. 10115–10118.

5. Leuschen, C.J., Plumb, R.G. (2001). A matched-filter-based reverse-time migration algorithm for ground-penetrating radar data. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 39, 929-936.

6. Lombardi, F., Griffiths, H.D., Lualdi, M., Balleri, A. (2020). Characterization of the internal structure of landmines using ground-penetrating radar. IEEE Geosci. Remote Sens. Lett. 18, 266–270

7. M. (2023).: Explore UWB Radar from ILMSens. Available online: https://www.ilmsens.com/products/m-explore/ (accessed on 26 July 2023).

8. Shimoi, N., Huang, Q., Uchida, H., Komizo, D., Nonami, K. (2000).: The smart sensing for mine detection using IR camera, JSME ROBOMEC'2000, pp. 93-94

9. AGEMA In frat systems, Primer of Infrared technology. (1986). Nacc, pp. 18-126

10. Piriyev G. K. et al. Modelling of the battle operations //Monografiya, Herbi Nashriat", Baku. – 2017.

11. Hasanov A. H. Analysis of the effectivness of communication and automated management systems //Modern directions of development of information and communication technologies and management tools, Abstracts of reports of the 12th Int. Scientific and Technical Conf. – 2022. – T. 1. – p. 1-4.

12. Hashimov E.G. et al. Mathematical modeling of military systems. Textbook. -Baku: Military publishing house, -2018. -266 p.

13. Alieva, R. A., Pashaev, F. G., Gasanov, A. G., & Mahmudov, K. T. (2009). Quantum-chemical calculations of the tautomeric forms of azo derivatives of acetylacetone and determination of the stability constants of their complexes with rare-earth metals. *Russian Journal of Coordination Chemistry*, *35*(4), 241-246.

14. Gadzhieva S. R. et al. Thermodynamic characteristics of metal complexation with 3-[4-iodophenylazo]-2, 4-pentanedione in an aqueous ethanol solution //Russian Journal of Inorganic Chemistry. – 2007. – T. 52. – №. 4. – C. 640-644.

15. Aliyev A. A. et al. Earthquake and activation of mud volcano (causal link and interaction) //Proc. Geol. Inst. – 2001. – T. 29. – C. 26-39.

16. Ahmadov A. I. et al. Calculation of the Energy of the Interelectron Interaction in Molecules in a Basis of Slater Functions //Russian Physics Journal. – 2019. – T. 61. – №. 10. – C. 1848-1854.

17. İbrahimov, B.G. et al. (2022). Research and analysis indicators fiber-optic communication lines using spectral technologies. *Advanced information systems*, *6*(1), 61-64.

18. Ibrahimov, B.G. et al. (2024). Research and analysis mathematical model of the demodulator for assessing the indicators noise immunity telecommunication systems. *Advanced Information Systems*, *8*(4), 20-25.

EQUATIONS AND THEIR POSSIBLE APPLICATIONS IN EMERGENCY SITUATIONS

Mamedov İ.G.
Institute of Control Systems, Baku, Azerbaijan
Sumgait State University, Sumgait, Sumgait, Azerbaijan
Huseynov A.G., Abdullayeva A.J.
National Defense University, Baku, Azerbaijan

In this work, for a 4D equation with nonsmooth coefficients, a four-dimensional combined boundary value problem is considered - a 4D combined boundary value problem 2D in the geometric mid-1D in the mid-1D multipoint type with non-classical boundary conditions that do not require matching conditions.

The equivalence of these conditions to the four-dimensional boundary condition is substantiated classically if a solution to the problem in S. L. Sobolev's isotropic space is found. The equation under consideration, in the form of a hyperbolic equation, generalizes not only the classical equations of mathematical physics (the Laplace equation, the telegraph equation, the string vibration equation), but also many models of differential equations (the three-dimensional and four-dimensional telegraph equation, the three-dimensional equation, three-dimensional and four-dimensional wave equations, etc.). It is substantiated that 2D in the geometric mean - 1D in the midpoint - 1D multipoint combined boundary conditions in the classical and non-classical interpretations are equivalent to each other. Thus, in this article, a non-classical problem with a 4D combined boundary value problem of 2D in the geometric mean - 1D in the midpoint - 1D multipoint conditions is substantiated for a fourth-order hyperbolic equation. For simplicity, this was demonstrated for one model case in one of S.L. Sobolev's isotropic spaces. Let's consider a 4D equation

$$(V_{1,1,1,1}u)(x,y,z,t) \equiv \sum_{i=0}^{1}\sum_{j=0}^{1}\sum_{m=0}^{1}\sum_{n=0}^{1} A_{i,j,m,n}(x,y,z,t)D_x^i D_y^j D_z^m D_t^n u(x,y,z,t) = f_{1,1,1,1}(x,y,z,t), \quad (1)$$

$u(x, y, z, t)$ is the desired function defined on G. Are the given measurable function $A_{i,j,m,n}(x,y,z,t)$ where, is a given measurable function of $G = G_1 \times G_2 \times G_3 \times G_4$, where $G_2 = (y_0, h_2)$, $G_3 = (z_0, h_3), z_0 \geq 0$, $G_4 = (t_0, T)$; $f_{1,1,1,1}(x, y, z, t)$. Are the given measurable function G. Equation (1) is a four-dimensional $x = const$, $y = const$, $z = const$, $t = const$. Therefore, in a sense, we can consider equation (1) as a hyperbolic equation. Equations of the form (1) are used in modeling vibration processes [4].In this paper, four-dimensional equation (1) is considered in the general case where the $1 \leq p \leq \infty$ $D_\xi^i = \partial^i / \partial \xi^i$ coefficients are nonsmooth functions satisfying only the following conditions:

References

1. Arif Hasanov, Islam Islamov, Arzuman Gasanov and Aynura Abdullayeva. Methodology for Solving the Problem of Objects Having Memory. International Conference

on Managment and Control İn Solving Engineer Problems, March 13-15, 2025. Baku, Azerbaijan.

2. Mamedov I.G., Abdullaeva A.J. On an optimal control problem for 3D Bianchi integro-differential equations with nonsmooth coefficients under conditions in the geometric middle of the domain //Informatics and Control Problems. -2020. -T. 40. -№. 1. -C.32-40.

3. Mamedov I.G., Abdullayeva A.J. Fundamental solution of one boundary value problem on the geometric middle of the domain for the 3d Bianchi integro-differential equation //Journal of Contemporary Applied Mathematics. -2024. -T.14. -№. 2. -C.26-37.

4. Mamedov I., Abdullayeva A. Combined boundary value problem for the bianchi intego-differential equation with nonsmooth coefficients and its application in radio engineering weapons. – 2024.

5. Islamov I.J., Mamedov I.G., Abdullayeva A.J. Mathematical Modeling and Experimental Research of Microwave Waveguide Taking into Account Boundary Value Problems on the Geometric Middle of the Domain // International Journal of Microwave & Optical Technology. – 2024. – T. 19. – №. 6.

6. Islamov, I. et al. (2025). Hybrid communication models for UAV swarms: Towards scalable and energy-aware network optimization. *Scientific guidelines: Theory and practice of research – Proceedings of the VI International Scientific Conference* (Kyiv, Ukraine, October 3, 2025), pp. 185–195. https://doi.org/10.62731/mcnd-03.10.2025

7.Islamov, I. et al. (2025). Integrating environmental security into defense strategy with a focus on radiological and chemical risks. *Strategic directions of science development: Factors of influence and interaction: Collection of scientific papers with materials of the VII Int. Sc/ Conf. (September 26, 2025)* (pp. 115–125). https://doi.org/10.62731/mcnd-26.09.2025

8. Ivanchenko, O. V. et al. (2025). Technical aspects of wind energy production. In *Global perspectives on multidisciplinary research: Theory and practice: Proceedings of the II International Scientific and Theoretical Conference* (pp. 65–72). Florence, Italy: International Center of Scientific Research. https://doi.org/10.36074/scientia-24.10.2025

9.İskhandarov, X. et al. (2025). Artificial intelligence in logistics operations. In *Topical issues of science development: Proceedings of the VI International Scientific Conference* (pp. 433–442). https://doi.org/10.62731/mcnd-31.10.2025

10. Muradova, E. E. et al. (2025). Analytical evaluation of UAV-based logistical operations in contemporary military systems. In *Topical issues of science development: Proc. of the VI Int. Scientific Conference* (pp. 351–360). https://doi.org/10.62731/mcnd-31.10.2025

11. Tahirov, R. K. et al. (2024). Environmental aspects of information technology implementation. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 138–139).

POLICY-ORIENTED TECHNOLOGY SELECTION FOR ENVIRONMENTAL SECURITY ASSURANCE

Sakov A.A., Akhundov R.G.
National Defense University, Baku Azerbaijan
Hashimov E.G., İsmayıl İ.
Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

This article systematically assesses the burden that contemporary technological progress places on environmental security and proposes balancing governance

mechanisms. The scientific novelty of the study lies in unifying life-cycle assessment (LCA), multi-study databases, and comparative legal-policy analysis within a single framework, with results mapped to measurable indicators by specific classes of technologies. The aim is to optimize the management of carbon footprint, water use, energy consumption, and waste volumes while preserving the socio-economic benefits of technological development.

The methodology is interdisciplinary, integrating tools from environmental engineering, economics, law, and international relations. Using the LCA approach, indicators are calculated and normalized to benchmarks across extraction, production, operation, and end-of-life phases. Long-run time series from official sources such as EDGAR, Eurostat, the World Bank, and the IEA are extracted to analyze trends. International mechanisms are compared across the Paris Agreement, the Basel Convention, the Montreal Protocol, and the EU Circular Economy strategy. In parallel, alternative technologies including hydrogen energy, bioremediation, and anaerobic wastewater treatment are evaluated based on applications and pilot project outcomes. The main findings are grouped into four blocks. First, despite the transformative potential of lithium-ion batteries, LCA results reveal a sharp deterioration of indicators at the manufacturing stage due to pressure on water resources, high energy demand, and an end-of-life management crisis. A sustainable trajectory requires a large-scale recycling ecosystem and second-life applications. Second, the transport sector has a leading share in global CO_2 emissions, and the actual environmental effect of electric mobility depends on the energy mix. Decarbonization therefore cannot be confined to transport alone, and raising the share of renewables in power generation is decisive. Third, plastic waste poses a strategic threat to ecosystems. The trajectory can be altered not only by recycling but also by restricting single-use plastics and deploying substitute materials. Fourth, the effectiveness of international mechanisms is directly linked to political will, financing, and the harmonization of national law. A synchronized policy package reduces the transboundary transfer of technological risks and amplifies collective impact.

The analytical section differentiates hydrogen technologies. Green hydrogen, when produced with renewable energy, sharply reduces the emissions burden, whereas grey and blue hydrogen are assessed as transitional options and are sensitive to the real-world performance of carbon capture. The proposed governance mechanisms within the overall framework include LCA-based tax-credit incentives, extended producer responsibility schemes, green procurement criteria, technology sandboxes, and environmental education programs. The KPI set monitors, by sector, carbon intensity, water footprint, recycling share, volumes of hazardous waste, and the degree of integration into the circular value chain. Sensitivity analysis indicates that the highest abatement potential concentrates in decarbonizing the energy mix, scaling battery recycling, and substituting single-use plastics.

In sum, a stable balance between technological progress and environmental security is achievable only through the combined application of technical innovation, legal instruments, economic incentives, and public education. The proposed framework offers a practical roadmap for updating environmental security policies

at the national level, for LCA-oriented design decisions at the industry level, and for integrated cooperation mechanisms at the regional level.

References

1. Jabrayilov, A. R. et al. (2025). Development of a comprehensive environmental protection system for military facilities. Current directions of development of information and communication technologies and control tools (Vol. 4, pp. 82–83).
2. Islamov, I. et al. (2025). Integrating environmental security into defense strategy with a focus on radiological and chemical risks. *Strategic directions of science development: Factors of influence and interaction: Collection of scientific papers with materials of the VII International Scientific Conference (September 26, 2025, Cherkasy, Ukraine)* (pp. 115–125). https://doi.org/10.62731/mcnd-26.09.2025
3. Tahirov, R. K. et al. (2024). Environmental aspects of information technology implementation. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 138–139).
4. Kovtun, A. V. et al. (2025). Techno-economic assessment of a hybrid solar, wind, and biomass system for suburban power supply. In *The driving force of science and trends in its development: Collection of scientific papers «SCIENTIA» with proceedings of the IX International Scientific and Theoretical Conference* (pp. 112–119). London, England: International Center of Scientific Research. https://doi.org/10.36074/scientia-17.10.2025
5. Salmanov, E. I. et al. (2025). Ways to improve logistical support in the Azerbaijani Army. In *The driving force of science and trends in its development: Collection of scientific papers «SCIENTIA» with proceedings of the IX International Scientific and Theoretical Conference* (pp. 88–95). London, England: International Center of Scientific Research. https://doi.org/10.36074/scientia-17.10.2025
6. Tabunenko, V. et al. (2025). The dynamics of UAV flight integrated with route planning. In *Modern tools and methods of scientific investigations: Proceedings of the VI International Scientific and Theoretical Conference* (pp. 46–56). Antwerp, Belgium: Scientia. https://doi.org/10.36074/scientia-10.10.2025
7. Talibov, A. M. et al. (2025). Modeling and forecasting radiological and chemical threats in the military sphere. In *Current directions of development of information and communication technologies and control tools: Proceedings of the 15th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 1, pp. 120-121).
8. Mammadov, E. S. et al. (2025). Environmental impact of transportation systems: Challenges and sustainable solutions. In *Scientific review of the actual events, achievements and problems: Proceedings of the V International Scientific and Theoretical Conference* (pp. 120–128). Berlin, Germany: International Center of Scientific Research. https://doi.org/10.36074/scientia-03.10.2025

THE ROLE OF AZERBAIJANI WOMEN IN THE 44-DAY PATRIOTIC WAR: A COMPREHENSIVE ANALYSIS OF SOCIAL, MILITARY AND CULTURAL ASPECTS

Hacıyeva E.
National Defense University, Baku, Azerbaijan

War conditions deeply affect all strata of society, including gender relations. Historically, wars have been predominantly perceived as a male domain; however,

this stereotype has significantly changed in the modern era. During the Patriotic War, Azerbaijani women emerged as active participants, contributing directly to the military and political objectives of the state. The main context of this research highlights that women's wartime activities were not confined to the rear but, in accordance with the nature of modern warfare, also extended to the information and psychological fronts.

The efficiency of medical services during the war directly influenced the number of casualties and the survival chances of the wounded. In this regard, women working in the medical field played a vital role in the course of the war. According to data provided by the Ministry of Health of the Republic of Azerbaijan, hundreds of medical workers, most of whom were women-nurses and doctors-served in field hospitals near the front lines and in clinical institutions located in Baku [1]. Their activities can be classified as follows:

- **Emergency medical care.** Immediate first aid to the wounded brought from the front. In this process, female nurses and paramedics demonstrated exceptional professionalism and patriotism.
- **Rehabilitation and psychological support.** After the war, female psychologists and physiotherapists played a crucial role in the physical and psychological rehabilitation of wounded soldiers. Their support was decisive in helping the injured reintegrate into society.

Modern wars encompass not only military operations but also large-scale cyber and information warfare. Women played a significant role in this sphere as well, actively exposing the false propaganda that Armenia had been spreading for decades through various platforms [1].

- **Journalistic activity.** Traditionally dominated by men, the coverage of wars and conflict zones has recently witnessed a rapid increase in the participation of female journalists, reshaping the gender profile of the profession. Female reporters working in Azerbaijani media prepared reports directly from the front lines, delivering objective information to international audiences. By focusing on the human dimension of war—the impact on civilians and the emotional depth of the conflict—these women provided a rich and distinct perspective compared to the standard military discourse. Their contribution also ensured that civil society remained accurately informed about internal developments [2].
- **Social media engagement.** Young female bloggers and activists were actively involved in defending Azerbaijan's rightful position on social networks such as Twitter, Facebook, and Instagram. A tweet shared during the war read: "At the editorial office, they told me to go back because I'm a girl. I had to prove that the value of my report is not defined by my gender. Unfortunately, I faced the same attitude when I reached the front." Such posts illustrate how the focus of frontline reporting evolved. This form of communication became an essential source of information for both the Azerbaijani diaspora and the international community [3].

From the first days of the war, the volunteer movement within Azerbaijani society gained momentum through the active involvement of women. Their contributions can be analyzed in several directions:

- **Material support.** Through the initiative of women, large-scale aid was organized for soldiers, including food, clothing, warm garments, and other essential supplies. Considering the cold conditions at the front, women collectively knitted socks, scarves, and gloves—acts that provided not only practical help but also emotional warmth, symbolizing "a mother's breath" reaching the soldiers. Women also prepared packages containing dried fruits, nuts, sweets, and non-perishable foods. Personal hygiene kits (soap, toothpaste, wipes, etc.) were collected and sent to the front lines [1].
- **Psychological and moral support.** Women played a leading role in forming volunteer groups that provided psychological and moral assistance to the families of martyrs and war veterans. Such efforts contributed to strengthening the social resilience of society.

The most significant role of women during the war was associated with motherhood. The mothers of martyrs, who sacrificed their sons for the homeland and faced this loss with immense pride, contributed to the strengthening of the national spirit within Azerbaijani society [4]. Their phrase "Long live the Motherland!" became one of the most powerful moral motivators, inspiring perseverance and unity among the people [5].

Women also took an active part in creating cultural and artistic works reflecting the psychological impact of war, the spirit of victory, and national unity. The writing of song lyrics and poems dedicated to the war, as well as the creation of paintings, expressed collective emotions and strengthened the sense of national pride [3]. Female artists also produced documentary films and photo archives dedicated to the heroes of the Patriotic War, ensuring the preservation of historical memory for future generations.

After the war, women assumed new leadership roles in social and economic development. In the rapid reconstruction and revival of the Karabakh and East Zangezur economic regions, women played an essential role, introducing innovative leadership approaches. They were instrumental in reopening schools and kindergartens, contributing decisively to restoring community well-being. This highlights their exceptional role in shaping the upbringing and education of future generations in these territories. Women also engaged in agriculture, tourism, and small and medium-sized entrepreneurship, while female farmers and artisans began marketing their products domestically and internationally, thereby significantly contributing to the recovery process. At the same time, through their leadership of non-governmental organizations, women-initiated support projects for the families of martyrs and wounded soldiers, complementing the state's social policies [5].

Following the Patriotic War, women, alongside their sense of victory, have been working to create a sustainable environment of peace and development for future generations. They actively participate in educational initiatives for youth, peacebuilding dialogues, and programs promoting stability in the region.

The role of Azerbaijani women in the Patriotic War is not only significant from historical, social, and military perspectives but also serves as a vivid example of how gender roles are evolving in modern society. By participating actively in both the military

and informational fronts, women played a strategically important role in achieving victory. The facts analyzed in this study demonstrate that Azerbaijani women were not limited to traditional social roles but expanded their scope of activity to meet the demands of the modern era. Their active engagement in the post-war period indicates that contemporary Azerbaijani society is moving toward a new gender paradigm.

References

1. Azerbaijan National Academy of Sciences. (2021, June 25). *The role of Azerbaijani women in the Patriotic War*. https://science.gov.az/az/news/open/17344
2. Bayramov, S. (2020, November 27). *Psychological impact and tools forming the basis of information warfare. Hərbi And*, p. 17.
3. Aliyeva, R. (2021, January 27). *Azerbaijani women in the Patriotic War. 525th Newspaper*, p. 5. https://www.anl.az/down/meqale/525/2021/yanvar/743168.1
4. Bizimkiler.com. (2020, December 14). *Ilham Aliyev: "The unity of women and the people played a decisive role in achieving victory."* http://bizimkiler.com
5. AZERTAC. (2021, March 5). *Women are the driving force of society.* https://azertag.az/xeber/qadin_cemiyyetin_aparici_quvvesidir-1727915

AZERBAIJAN–TURKEY MILITARY COOPERATION AND CONSTITUTIONAL LAW: SOVEREIGNTY AND DEFENSE PRINCIPLES

Osmanlı Z.R.
National Defense University, Baku, Azerbaijan

The contemporary international relations system, marked by the reconfiguration of global power centers, necessitates a new phase in inter-state cooperation frameworks. Within this context, Azerbaijan–Turkey relations have transcended a bilateral cooperation paradigm to emerge as a defining element of regional geopolitical dynamics. In recent years, military cooperation between Azerbaijan and Turkey has become a priority in terms of regional security, the protection of national sovereignty, and the maintenance of strategic stability. The legal and institutional foundations of this cooperation are reflected in the constitutions of both states, reinforced by international law norms and bilateral military agreements.

Constitutional Provisions of the Republic of Azerbaijan on Defense and Security. The Constitution of the Republic of Azerbaijan serves as the primary legal basis for nation-building and the protection of sovereignty. The provisions established therein aim to safeguard state sovereignty and ensure the security of citizens.

Accordingly, defense and security issues are not only related to the organization of the military system but also constitute an integral component of the state's legal, political, and social governance mechanisms. Provisions related to defense and security establish a legal framework for the protection of strategic security and the regulation of the Armed Forces' functions [1]. This framework is based on the following principles: the inviolability of territorial integrity and

sovereignty, the strategic leadership of defense policy by the President as the Supreme Commander, legislative oversight and parliamentary approval, and adherence to international law principles. Analysis of these provisions provides deeper insight into the constitutional basis of Azerbaijan-Turkey military cooperation.

Article 9 – Paragraph I stipulates that "the Republic of Azerbaijan establishes Armed Forces to ensure its security and defense" [1]. Paragraph II rejects the use of war as a means in international relations, stating that Azerbaijan does not employ war to violate the independence of other states or as a method for resolving international disputes.

Paragraph III establishes the principle of the President as the Supreme Commander of the Armed Forces [1]. This provision fully aligns with the international law principle of the use of armed force for defense and constitutes a constitutional manifestation of the individual and collective right of self-defense as defined in Article 51 of the UN Charter [2].

Article 10 – The Republic of Azerbaijan conducts its relations with other states based on generally recognized norms of international law, establishing a general principle ensuring that foreign policy, including defense and security relations, conforms with international law [1].

Article 11 – The Constitution declares the territory of the Republic of Azerbaijan as united, inviolable, and indivisible, asserting that the country's airspace and water bodies belong to Azerbaijan. These provisions constitutionally enshrine the protection of sovereignty and territorial integrity [1].

Article 109 – This article grants the President authority over the command of the Armed Forces, the declaration of mobilization and states of emergency, and the submission of military doctrines to the National Assembly for approval [1]. The provision encompasses several critical legal aspects:

Legal legitimacy: The President's authority as Supreme Commander is constitutionally grounded, ensuring the legality of decisions made in the defense sphere.

Protection of sovereignty: The President's authority enables strategic decision-making in the defense of state sovereignty and territorial integrity, forming the legal basis for responses to external threats.

Executive and strategic role: As Supreme Commander, the President acts as the ultimate decision-making authority in structuring the Armed Forces, military planning, and training.

These provisions establish the legal basis for defense policy, with the President exercising authority strictly within the constitutional framework.

The Azerbaijani Constitution also regulates the state's position within the system of international obligations.

Article 151 stipulates that international treaties have precedence over national legislation [1], providing a legal foundation for integrating collective security mechanisms under NATO, the UN, the OSCE, and other international organizations into the national legal system.

Constitutional Provisions of the Republic of Turkey on Defense and Security. The Constitution of the Republic of Turkey constitutes a critical normative document delineating the legal foundations of national defense and security policy. Its core philosophy is based on the principles of the "indivisibility of the state" and the "security of the nation."

Article 5 identifies one of the state's primary duties as safeguarding "the independence of the Turkish nation, its territorial integrity, human rights, and the fundamental principles of a legal and democratic society" [3]. The defense concept, therefore, encompasses not only military aspects but also political stability and the preservation of constitutional order.

Key provisions regarding the organization of Turkey's defense system are codified in **Article 117**, designating the President as the supreme commander of the Armed Forces, exercising this authority through the Minister of National Defense. This model ensures executive oversight over security policy and enables unified command in implementing strategic decisions. It aligns with the principle of "civilian control" characteristic of Turkey's parliamentary-democratic system, ensuring that the Armed Forces remain under constitutional oversight and maintain political neutrality [3].

Article 92 further regulates the Armed Forces' participation in military operations against foreign states, stipulating that such participation requires parliamentary approval. This provision:

1. Ensures democratic legitimacy through legislative oversight.
2. Guarantees compliance with international law by requiring legislative authorization for military actions.
3. Reinforces sovereignty and national defense principles, ensuring parliamentary approval forms the legal basis for defense policy [3].

The Turkish constitutional provisions on defense and security provide a favorable framework for military cooperation, ensuring that joint exercises, strategic planning, and security policies adhere to both constitutional principles and international law [3].

Legal Foundations of Azerbaijan–Turkey Military Cooperation. Military cooperation between Azerbaijan and Turkey rests on three primary legal principles: constitutional authority, international treaties and agreements, and the protection of sovereignty with legal oversight mechanisms.

2.1 Constitutional Basis – Article 9, Paragraph 3 of the Azerbaijani Constitution establishes the President's authority as Supreme Commander of the Armed Forces [1]. Correspondingly, Articles 92 and 117 of the Turkish Constitution regulate parliamentary approval for foreign military operations and the President's executive authority [3]. These constitutional provisions constitute the legal foundation for military cooperation, ensuring the lawful execution of defense and security policies.

2.2 International Treaties and Agreements – Military cooperation is also grounded in bilateral treaties and international law, notably the 2010 *Agreement on Strategic Partnership and Mutual Assistance*, which codifies the normative-legal

framework for the Armed Forces' interaction, ensures compliance with international law, and safeguards national sovereignty [4].

2.3 Sovereignty and Legal Oversight – The protection of state sovereignty is a central legal principle of military cooperation, explicitly reflected in Article 2 of the 2010 agreement. The provision obligates the parties to respect each other's independence, sovereignty, and territorial integrity. Implementation occurs within the framework of both constitutional authority and international treaties [4].

Comparative analysis of constitutional provisions demonstrates that the legitimacy of decisions in defense and security policies in both countries is balanced between executive authority and legislative oversight.

In Azerbaijan, the President's authority as Supreme Commander is complemented by parliamentary approval in Turkey for foreign military operations and the President's executive function [1;3]. This legal framework enhances the legitimacy of strategic decisions and ensures that military operations comply with international standards.

Practical and Legal Significance: The practical and legal significance of Azerbaijan–Turkey military cooperation can be assessed in several key areas. Practically, cooperation enhances regional strategic stability, strengthens national defense capabilities, and develops rapid response mechanisms against contemporary threats. Joint military exercises, experience exchange, and professional education programs improve the Armed Forces' readiness and ensure continuous development of defense capabilities.

Thus, Azerbaijan–Turkey military cooperation strengthens bilateral relations while contributing to regional and international security systems. Legal and practical frameworks underpinning cooperation increase operational readiness, enhance the effectiveness of joint exercises, and guarantee the implementation of national defense strategies within normative frameworks. Consequently, Azerbaijan–Turkey military cooperation represents a paradigmatic example of a regional security model grounded in constitutional law, international law, legal legitimacy, and the protection of state sovereignty.

References

1. Azerbaijan Republic. (1995, November 12; amended 2016). *Constitution of the Republic of Azerbaijan*. Retrieved from https://e-qanun.az/framework/897

2. United Nations. (1945, June 26). *Charter of the United Nations* (Art. 51). San Francisco. Retrieved from https://www.un.org/en/about-us/un-charter/full-text

3. Türkiye Cumhuriyeti. (1982). *Constitution of the Republic of Turkey*. Mevzuat.gov.tr. Retrieved from https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.2709.pdf

4. Azerbaijan Republic & Republic of Turkey. (2010, August 16). *Agreement on Strategic Partnership and Mutual Assistance* (Art. 2). Baku. Retrieved from https://e-qanun.az/framework/21158

İNTERNATIONAL LEGAL REGULATİON OF LABOR AND SOCİAL COOPERATİON BETWEEN THE REPUBLİC OF AZERBAİJAN AND THE REPUBLİC OF TURKEY

Osmanlı Z.R.
National Defense University, Baku, Azerbaijan

Since the late 20th century, the emergence of global conflicts, efforts to freeze them, and obstacles to their resolution have created conditions for even greater contemporary threats. The Caucasus and Anatolia, regions historically marked by clashes of great powers' interests, now present a significantly different landscape. Cooperation between the Republic of Azerbaijan and the Republic of Turkey has successfully developed into a strategic alliance, playing a crucial role in transforming the region into a space of peace, stability, and collaboration. Today, the South Caucasus serves as a model region for bilateral and multilateral relations worldwide.

In Azerbaijan's integration into the international community, the protection of regional security, and the realization of the country's political, economic, and socio-cultural interests, comprehensive cooperation with Turkey has been of particular importance. Following his return to power in 1993, Heydar Aliyev ensured the upward development of this direction. The President of the Republic of Azerbaijan highlighted that, since the summer of 1993, significant changes had been made in foreign policy toward Turkey, marking a new qualitative stage in Azerbaijan-Turkey relations: *"Today, Turkey is Azerbaijan's most reliable political ally and an equal economic partner. During the reciprocal official visits of the heads of the two brother states, several important documents covering comprehensive cooperation were signed. Azerbaijan-Turkey relations serve not only the interests of the two brotherly nations but also contribute to peace and stability in the world and the region"* [1].

Significant steps have been taken to improve the social welfare of citizens and strengthen the social protection of vulnerable groups through labor and pension policies. On July 17, 2001, the National Leader Heydar Aliyev approved the Pension Reform Concept in Azerbaijan, outlining a phased implementation of pension reforms from 2001 to 2005. According to this concept, amendments and additions were made to the laws *"On Pension Provision of Citizens"* and *"On Social Insurance"*. During this period, essential steps were taken to modernize the insurance pension system, and measures were implemented to apply insurance principles in pension provision [2].

The development of Azerbaijan-Turkey relations serves the interests of both countries. Turkey acts as an ally and support for Azerbaijan in the international arena, while a strong Azerbaijan enhances Turkey's influence and role in global politics. Therefore, it is necessary for the relations between these two countries to develop based on principles derived from international law.

The historically rooted friendship, mutual trust, and high-level cooperation between Azerbaijan and Turkey continue to strengthen. Political, economic, and

social collaborations have been established, allowing both countries to develop and expand diplomatic relations under these frameworks [3].

The initial legal framework for labor and social cooperation was established with the signing of a Cooperation Protocol in 1995 between the Ministry of Labor and Social Protection of the Population of the Republic of Azerbaijan and the Ministry of Labor and Social Security of the Republic of Turkey. Further agreements, including the *"Agreement on Cooperation in Social Protection"*, its procedural protocol, the *"Agreement on Cooperation in Labor, Social Protection, and Employment"*, and the *"Agreement on Mutual Labor Activity of the Workforce"*, have strengthened these ties and paved the way for new partnerships [3].

After the victory in the 44-day Patriotic War on November 8, 2020, a new stage of cooperation between Azerbaijan and Turkey across all fields began.

The *"Shusha Declaration"*, signed on June 15, 2021, in the historic city of Shusha, elevated cooperation between the two countries to the level of strategic alliance. The declaration marked the next stage of deep and comprehensive Azerbaijan-Turkey relations. Following this declaration, cooperation in all fields has continued to expand and deepen, with all state institutions aligning their collaboration with relevant Turkish authorities in accordance with the spirit of the declaration. The practical results of the *Shusha Declaration* are already apparent, with state institutions adjusting their daily activities accordingly [4].

In May 2022, the 10th session of the Joint Permanent Commission on Cooperation between the Ministry of Labor and Social Protection of the Population of Azerbaijan and the Ministry of Labor and Social Security of Turkey was held in Istanbul, and a protocol was signed. As part of this protocol, a Work Plan for 2022–2023 was signed between the State Employment Agency under the Azerbaijani Ministry and Turkey's Employment Service ("İŞKUR"). The plan includes the exchange of information on electronic databases, digitization, lessons learned from the COVID-19 crisis, and active labor market measures for socially vulnerable groups and long-term unemployed individuals, as well as the organization of reciprocal visits [3].

Strengthening labor, employment, and social protection relations with Turkey is of great importance, supporting reforms in these areas in Azerbaijan. The outcomes of the Joint Permanent Commission sessions will further expand bilateral cooperation. Discussions cover the implementation of previously signed agreements, the introduction of progressive practices in the social sphere, the DOST concept, extensive use of electronic services, rehabilitation for people with disabilities (including war veterans), labor and employment reforms, and the exchange of experiences and information [5].

In the context of globalization, one of the fundamental conditions for the economic and social development of any country is the effective and efficient utilization of national human resources. In the modern global and transnational world, possessing large, resource-rich territories alone does not ensure economic, political, or social security, nor does it solely indicate geostrategic significance, economic power, or influence. The geopolitical, geoeconomic, and geostrategic

importance of a region is also determined by its human resources, the welfare of its population, and the efficient use of labor potential [2].

The active experience exchange between Azerbaijan and Turkey in the fields of labor, employment, and social protection demonstrates the significance of their cooperation. Azerbaijan-Turkey relations are multidimensional and extensive, based on brotherhood, friendship, and strategic partnership. Recent joint projects in various sectors, including labor and social protection, will elevate bilateral relations to even higher levels.

References

1. Jafarov, V. (2018). *Azerbaijan-Turkey Relations* [Electronic resource]. elibrary.az. https://www.elibrary.az/docs/qazet/qzt2018_1697.htm
2. Hasanov, E. (2015). *Geopolitics of Azerbaijan*. Baku. 952 pp.
3. Ministry of Labor and Social Protection of the Population of the Republic of Azerbaijan. (n.d.). *Partners – Turkey* [Electronic resource]. https://dma.gov.az/fealiyyet/terefdaslarimiz/xarici-olkeler/turkiye?hl=az
4. *Shusha Declaration on Allied Relations between the Republic of Azerbaijan and the Republic of Turkey* (15 June 2021, Baku) [Electronic version]. http://e-qanun.az
5. *Joint Permanent Commission Meeting on Labor and Social Protection Cooperation between Azerbaijan and Turkey* (2022) [Electronic resource]. https://imzainfo.az/az%C9%99rbaycanla-turkiy%C9%99-arasinda-%C9%99m%C9%99k-v%C9%99-sosial-mudafi%C9%99-sah%C9%99sind%C9%99-%C9%99m%C9%99kdasliq-uzr%C9%99-birg%C9%99-daimi-komissiyanin-iclasi-baslayib/

THE ROLE OF INFORMATİON SECURİTY İN ENSURİNG NATİONAL SECURİTY

Ramazanov G.Z.
Military Scientific Research Institute of the National Defense University,
Baku, Azerbaijan

In the modern era, one of the most fundamental and global problems facing humanity is the assurance of international and regional security. In everyday life, the concept of security encompasses the provision of normal conditions for living, working, domestic life, and recreation. In a broader sense, security is characterized by political, economic, social, military, information, environmental, scientific, educational, cultural and moral security, effective counteraction to crime and terrorism, safety in transportation and public spaces, the level of medical care and social protection, the creation of a moral and ethical environment in the service sector, the adequacy of wages to the labor performed, and similar factors.

National security is the assurance of protection against threats directed at national interests. Information security also plays a significant role in ensuring national security. To ensure information security, it is essential to understand its relationship with national security and the policies states pursue in the areas of cyber threats, disinformation, and digital sovereignty, as well as the components of

security, their impacts on the information environment, the main measures undertaken to guarantee information security, and the development of conceptual and scientific-methodological foundations for information security.

Issues of information security and threats to the national security of the Republic of Azerbaijan in the information sphere are reflected in the legislative acts and other documents applied to ensure the internal and external security of the Republic of Azerbaijan. Matters of national security and national interests of the Republic of Azerbaijan are defined by the Constitution of the Republic of Azerbaijan, the National Security Concept, and the Law of the Republic of Azerbaijan "On National Security." The Law of the Republic of Azerbaijan "On National Security," adopted on 3 August 2004, states that the national security of the Republic of Azerbaijan is the assurance of protection of the independence, sovereignty, territorial integrity, constitutional order of the state, the national interests of the people and the country, and the rights and interests of the individual, society, and the state against internal and external threats (1, 2, 3).

The national interests of the Republic of Azerbaijan in the information sphere and the threats to its national security identified in the said Law generally embody the basic principles of information security and the forms of their violation. Article 20 of the Law reflects issues of ensuring national security in the information sphere: "The main measures taken to ensure the national security of the Republic of Azerbaijan in the information sphere are as follows: creation and strengthening of a national system in the Republic of Azerbaijan for the protection of information, including information resources; collection of objective and preventive information by state bodies and officials for the purpose of implementing information support for decision-making; development of information infrastructure; improvement of legal mechanisms for the protection of state secrets; combating crime in the field of computer information; ensuring information security and freedom" (2).

Another official state document on national security, the "National Security Concept of the Republic of Azerbaijan," was approved on 23 May 2007. Subparagraph 4.3.11 of the Concept defines information security policy as one of the main directions of the national security policy of the Republic of Azerbaijan (3).

To ensure national security in the information sphere in the Republic of Azerbaijan, a national system and information infrastructure for the protection of information, including state information resources, are being developed and strengthened. Objectives and essential data are collected by state bodies and officials for the purpose of implementing information support for decision-making. In order to regulate information security, the legal mechanisms for protecting information constituting state secrets are being improved (4, 5).

It can be stated with full confidence that informatization plays a decisively positive role in the development of humanity today. In the process of forming and developing the information society, various information and communication technologies (ICT) are being designed and applied in all areas of human activity. Information and information resources have become one of the decisive factors in the development of the individual, society, and the state. The broad capabilities of

ICT, including computer technology, make it possible to automate monitoring and control processes of facilities and systems in state governance, the economy, the social sphere, defense, and other areas, and to receive, collect, process, and transmit information about these processes at high speed (6).

Naturally, information resources, and ICT may act as threats to the interests of opposing parties. This situation gives rise to the problem of information security. The conceptual and scientific-methodological foundations of information security have been developed. The creation of a system of concepts that includes basic notions such as information security, information hazard, information threats, information protection, information interests, information environment, and others is one of the initial tasks in establishing the theory of information security (7, 8).

Therefore, the clarification of terminology, the scientific substantiation of the information security problem, the classification of vital interests and sources of information threats in this field, as well as the indicators, criteria, standards, and other properties of information security, will remain subjects of extensive research in the future.

To ensure national security, security must be guaranteed across all of its directions, including information, military, economic, political, social, environmental, science, culture, and others. Naturally, security cannot be ensured in isolation along these directions. In this regard, the information security direction is interconnected with other directions of national security and directly influences their assurance.

As noted, informatization constitutes the basis of management and decision-making in all areas of activity.

Consequently, without ensuring the security of information during its storage, processing, transmission, and use, it is not possible to ensure national security in other directions.

References

1. Constitution of the Republic of Azerbaijan. Baku, 1995.
2. Law of the Republic of Azerbaijan “On National Security,” dated 29 July 2004.
3. National Security Concept of the Republic of Azerbaijan. 23 May 2007.
4. Order of the President of the Republic of Azerbaijan on the approval of the “Strategy of the Republic of Azerbaijan on Information Security and Cybersecurity for 2023–2027.” 28 August 2023, No. 4060. [Electronic resource]. https://president.az/az/articles/view/60949
5. Legal aspects of information security. [Electronic resource]. https://lectures.ozunoyren.com/assets/posts/lecture-notes/informasiya-təhlkəsizliyinin-hüquqi-aspektləri/book.pdf
6. Alizada, B., Bayramov, H., Məmmədov, A. Information Security. Baku: “University of Economics” Publishing House, 2016, 384 pp.
7. Qasımov, V.A. Fundamentals of Information Security. Baku: Publishing and Printing Center of the Main Directorate of Material and Technical Support of the Ministry of National Security, 2009, 340 pp.
8. Piriyev, A. Political Strategy and National Security. Baku University, 2005, 545 p.

EPİGENETİC ALTERATİONS OF THE *NR3C1* GENE İN MİLİTARY PERSONNEL WITH POST TRAUMATIC STRESS DISORDER

Banu Rustamli
National Defense University, Baku, Azerbaijan

Post-traumatic Stress Disorder (PTSD) is a complex physical disorder that develops in individuals who have experienced severe psychological trauma, major physical injury, or life-threatening situations. This syndrome manifests some time after the traumatic event and is accompanied by long-lasting psychological effects. The main symptoms of PTSD include fear, tension, sleep disturbances and social withdrawal. The prevalence of PTSD is significantly higher among military personnel. The main reason for this is their frequent exposure to extreme conditions such as war, combat operations, perilous situations, explosions, and severe injuries. Various studies have shown that 20-30% of individuals returning from war experience symptoms of post-traumatic stress disorder [1].

This study focuses on the epigenetic regulation of the *NR3C1* gene to explore its potential as a biomarker for identifying military personnel at risk of PTSD early and guiding targeted preventive strategies. For a long time, PTSD was explained solely by psychological mechanisms. However, recent molecular and epigenetic studies have demonstrated that, in addition to psychological trauma, biological and molecular changes also play an essential role in the development of this disorder. These changes important affect the activity of the "Hypothalamic-Pituitary-Adrenal" (HPA) axis and the expression level and DNA methylation status of the *NR3C1* gene, which encodes the glucocorticoid receptor (GR), a key component of this axis.

The HPA axis has a central role in regulating many homeostatic systems in the body, including metabolic system, cardiovascular system, immune system, reproductive system and central nervous system. The HPA axis integrates physical and psychosocial influences in order to allow an organism to adapt effectively to its environment, use resources, and optimize survival. In stressful situations, the HPA axis becomes activated: the hypothalamus secretes corticotropin-releasing hormone (CRH), which stimulates the anterior pituitary to release adrenocorticotropic hormone (ACTH). As a result, ACTH activates the adrenal glands, leading to release of cortisol into the bloodstream. Cortisol triggers the body's "fight or flight" response and temporarily suppresses the energy-demanding functions of the immune system [3]. Cortisol also bind to GR receptors, ensuring the negative feedback regulation of the HPA axis and allowing the stress response to be controlled in a balanced manner. GR is the main protein receptor that binds cortisol and regulates the activity of the HPA axis. However, the main role in this process is played by the *NR3C1* gene, as it encodes the glucocorticoid receptor (GR). The *NR3C1* gene (nuclear receptor subfamily 3, group C, member 1) is located on chromosome 5q31-q32 and comprises nine exons, which encode several transcript variants and isoforms of the GR protein. These isoforms differ in their sensitivity to glucocorticoids and in their ability to regulate gene transcription in response to hormonal signals. Functionally, *NR3C1* acts as a ligand-activated transcription factor that binds

glucocorticoid hormones such as cortisol. Upon hormone binding, the GR undergoes a conformational change, dissociates from cytoplasmatic chaperone proteins, and translocates into the nucleus. Once inside the nucleus, it binds to specific DNA sequences known as glucocorticoid response elements (GREs) to regulate the transcription of numerous target genes involved in stress response, metabolism, immune regulation, and inflammation control. In this way, *NR3C1* plays an essential role in maintaining homeostasis under both psychological and stress conditions [3].

The promoter region of the *NR3C1* gene is rich in CpG dinucleotides, making it particularly susceptible to epigenetic modifications, such as DNA methylation. DNA methylation in CpG islands generally acts as gene-silencing mechanism, reducing the accessibility of transcription factors to the promoter region.

Consequently, hypermethylation of the *NR3C1* promoter leads to a decrease in GR expression, resulting in impaired feedback inhibition of the HPA axis. This dysregulation causes persistent hyperactivity of the stress response system, maintaining elevated cortisol levels for prolonged periods [4]. Moreover, emerging evidence suggests that these epigenetic modifications are not merely transient but can persist long after the stress exposure has ended, contributing to long-term alterations in neural circuity emotion regulation and cognitive processing. Some studies even indicate that *NR3C1* methylation patterns may be transmitted intergenerationally, implying that parental stress or trauma can influence offspring stress reactivity via inherited epigenetics marks [5]. Yehuda et al. conducted a study on U.S veterans and found hypermethylation of the *NR3C1* gene in veterans with PTSD this alteration impaired cortisol's negative feedback regulation, leading to a more prolonged and intense stress response [6].

Rutten et al investigated the epigenetic changes of the glucocorticoid *NR3C1* gene in relation to the development of PTSD among military personnel. In this study, blood samples from Dutch soldiers deployed to combat zones were analyzed, identifying 17 distinct methylation sites within the *NR3C1* gene. These findings indicated that stress exposure during military service induces alterations in the regulation of the HPA axis [7]. A comparable study was conducted by Vinkers, who performed comparative analyses of Dutch soldiers before and after war deployment. The study revealed remarkable differences in *NR3C1* gene methylation levels, with a marked increase hypermethylation, reduced GR expression, and disrupted cortisol regulation [8]. In conclusion, the *NR3C1* gene may serve as a potential biomarker for identifying military personnel at risk for PTSD, enabling targeted preventive strategies and early intervention. Compared to standard psychological support, using *NR3C1* gene methylation as a biomarker helps to identify military personnel at risk for PTSD in advance, enabling them to be better prepared for stressful operations and allowing the implementation of individualized preventive strategies. This approach not only reduces the time required for post-deployment rehabilitation but also protects the mental health of service members and preserves their career performance.

References

1. Richardson LK, Frueh BC, Acierno R. Prevelance estimates of combat-releated post-traumatic stress disorder: critical review. Aust NZJ Psychiarty. 2010 Jan;44(1):4-19. Doi:10.3109/00048670903393597. PMID:20073563.

2. Del Rey A.; Chrousos, G.P; Bedeovsky, H. O., eds. (2008) The Hypothalamus-Pituitary-Adrenal Axis. NeuroImmune Biology. Vol. 7. Berczi, I., Szentivanyi A., series EICs. Amsterdam London: Elsevier Science. ISBN 978-0-08-055936-0. OCLC 272388790. Archived from the original on 10 August 2023.

3. Helena Palma-Gudiel, Aido Cordova-Palomera, Juan Carlos Leza, Lourdes Fananas. Glucocorticoid receptor gene (*NR3C1*) methylation processes as mediators of early adversity in stress-releated disorders causality: A critical review. Neuroscience and Biobehavioral Reviews. Volume 55, August 2015

4. Wilker S., Vukojevic V., Scheinder A. et al. Epigenetics of traumatic stress: The association of NR3C1 methylation and post-traumatic stress disorder symptom changes in response to narrative exposure therapy. Translational Psychiatry 13, 14 (2023). https://doi.org/10.1038/s41398-023-02316-6

5. Raza Z., Hussain S.F., Foster V.S., Wall J., Coffey P.J., et al. Exposure to war and conflict: The individual and inherited epigenetic effects on health, with a focus on post-traumatic stress disorder. Frontiers in Epidemiology, 3, 10066158. https://doi.org/10.3389/fepid.2023.1066158.

6. Yehuda R., Flory J.D., Bierer L.M., Henn-Haase C., Lehrner A., Desarnaud F.M., et al. "Lower methylation of glucocorticois receptor gene promoter 1F in peripheral blood of veterans with post-traumatic stress disorder. Biological Psychiatry *77*(44), 356-364. https://doi.org/10.1016/j. biopsych.2014.02.006

7. Rutten B.P.F., Vermetten E., Vinkers CH., Ursini G., et al. Longitudinal analyses of the DNA methylome in deployed military servicemen identify susceptibility loci for post-traumatic stress disorder. Mol Psychiatry.2018 May;23(5):1145-1156.doi:10.1038/mp.2017.120. Epub 2017 Jun20. PMID:28630453; PMCID: PMC5984086

8. Vinkers C.H., Geuze E., van Rooij, S.J.H., Kennis M., et al. (2019). Neurobiological candidate mechanism underlying stress resilience. Neurobioloogy of Stress, 14, 100323. https://doi.org/10.1016/j.ynstr.2020.100323/

THE ROLE OF THE VEGF GENE IN WOUND HEALING AND REGENERATION PROCESSES IN SOLDIERS

Banu Rustamli
National Defense University, Baku, Azerbaijan

Wound healing is considered a complex biological process of critical importance for any living organism on Earth. This process inherently involves stages such as the restoration of damaged tissues, ensuring functional integrity, inflammation, proliferation, and remodeling. However, in some cases, particularly with wounds resulting from severe traumas, this process can be slowed down or lead to defective regeneration.

Personnel serving in the military often face severe and life-threatening traumatic injuries such as blast, shrapnel and gunshot wounds during their service. The main difference between these wounds and simple cuts is that they are accompanied by more dangerous processes such as extensive tissue loss, a high risk of infection, and so on. Effective healing of such acute wounds and the functional recovery and return to duty of military personnel are of paramount importance.

This analysis underscores the role of *VEGF* gene expression and its isoforms in tissue repair, emphasizing their potential to support faster recovery and therapeutic applications for military personnel. The fundamental phase of wound healing is angiogenesis – the process of forming new blood vessels from the existing vascular network. Angiogenesis creates the necessary foundation for tissue repair by delivering oxygen, nutrients, and immune cells to the wound. The main regulator of this process is the *VEGF* (Vascular Endothelial Growth Factor) protein. *VEGF* is a factor that stimulates the proliferation and migration of endothelial cells and the formation of vascular tubes. This protein is synthesized by the *VEGF* gene, and its expression directly affects the speed of angiogenesis and tissue repair. *VEGF* is located on the short arm of chromosome 6 (6p21.3) and is composed of 8 exons. *VEGF* belongs to *VEGF/PDGF* group within the cystine-knot superfamily of hormones and extracellular signaling molecules [1]. All members of this group are characterized by the presence of eight conserved cystine residues that form the typical cystine-knot structure.

The *VEGF* family in mammals consists of five main members: *VEGF-A, Placenta Growth Factor (PGF), VEGF-B, VEGF-C and VEGF-D.* While the activity of *VEGF-A* is primarily focused on vascular endothelial cells, its effects also extend to other cell types. Laboratory studies have shown that *VEGF-A* accelerates the proliferation and migration of endothelial cells. Additionally, *VEGF-A* acts as a factor that dilates blood vessels and increases the permeability of micro vessels, and it was originally named the Vascular Permeability Factor precisely because of this characteristic [1].

The *VEGF* gene produces four different isoforms as a result of the alternative splicing of its messenger RNA (mRNA): $VEGF_{121}$, $VEGF_{165}$, $VEGF_{189}$ and $VEGF_{206}$. All these isoforms have a homodimeric structure, meaning each consists of two identical protein subunits, and each isoform performs specific biological functions in the organism. These differences determine their distribution in the extracellular environment and their ability to bind receptors: [2]

- $VEGF_{121}$ - is a short-chain acidic protein. Since it does not bind to heparin, it moves freely in the intercellular fluid and can migrate over long distances.
- $VEGF_{189}$ and $VEGF_{206}$ – are basic proteins and have a long chain. These proteins bind tightly to heparin-containing proteoglycans in the extracellular environment, acting as a local reservoir.
- $VEGF_{165}$ – is considered an intermediate form that exhibits characteristics of both free and bound groups.

Immunofluorescence studies conducted at the cellular level have declared that the $VEGF_{189}$ and $VEGF_{206}$ isoforms primarily accumulate in the extracellular matrix (ECM) and that this form possesses angiogenic activity [2]. Proteins of the *VEGF* family bind to cell-surface tyrosine kinase receptors (*VEGFRs*) to initiate cellular responses. This binding drives the receptors to dimerization and activation through transphosphorylation, also this activation can occur with varying intensities across different sites. The structure of *VEGFRs* consists of three main elements: an internal kinase domain, a transmembrane region and seven immunoglobulin-like domains.

VEGF-A interacts with both the *VEGFR-1 (Flt-1)* and *VEGFR-2 (KDR/Flk-1)* receptors [3]. *VEGFR-2* mediates all of *VEGF*'s cellular effects, making it the primary driver of angiogenesis. The function of *VEGFR-1* is less understood, but it is hypothesized to regulate the *VEGFR-2* signal [4]. *VEGF-C* and *VEGF-D* proteins are specific ligands for the third receptor, *VEGFR-3 (Flt-4)*. *VEGFR-3* ensures the formation of lymph vessels (lymphangiogenesis). *VEGF-C* stimulates both lymphangiogenesis via *VEGFR-3* and blood vessel formation via *VEGFR-2* [5].

When cells do not receive enough oxygen, this condition leads to the formation of the *VEGF-A* protein. During oxygen deprivation, the cell synthesizes a transcription factor called HIF (Hypoxia-Inducible Factor), which performs many functions, including the regulation of erythropoiesis. HIF's primary job is to stimulate the release of *VEGF-A*. *VEGF-A* then enters the bloodstream, binds to receptors on endothelial cells, and activates the tyrosine kinase signaling pathway, leading to angiogenesis [6]. The incidence of physical trauma and wounding is high in military settings. This theoretical analysis suggests that the optimal expression of VEGF isoforms can support post-injury healing by accelerating tissue regeneration. Thus, the function of the *VEGF* gene and protein is strategically important not only in fundamental biological processes but also for the post-injury recovery of military personnel [6]. In conclusion, the expression of the *VEGF* gene and the function of its isoforms effectively regulate tissue repair processes. Future studies are considered promising for investigating the therapeutic application possibilities of this gene in military settings. Recombinant *VEGF* proteins, gene therapy, or drugs that stimulate *VEGF* expression could accelerate wound healing, enabling military personnel to restore operational readiness more quickly.

References

1. Holmes, D.I., Zachary, I. The vascular endothelial growth factor (VEGF) family: angiogenic factors in health and disease. *Genome Biol* **6**, 209 (2005). https://doi.org/10.1186/gb-2005-6-2-209

2. Park JE, Keller GA, Ferrara N. The vascular endothelial growth factor (VEGF) isoforms: differential deposition into the subepithelial extracellular matrix and bioactivity of extracellular matrix-bound VEGF. Mol Biol Cell. 1993; 4(12):1317-26. doi: 10.1091/mbc.4.12.1317.

3. Holmes, Katherine; Roberts, Owain Ll; Thomas, Angharad M.; Cross, Michael J. (2007). "Vascular endothelial growth factor receptor-2: Structure, function, intracellular signalling and therapeutic inhibition". *Cellular Signalling*. **19** (10): 2003–12. doi: 10.1016/j.cellsig.2007.05.013. PMID 17658244.

4. Karkkainen, M.J.; Petrova, T.V. (2000). "Vascular endothelial growth factor receptors in the regulation of angiogenesis and lymphangiogenesis". *Oncogene*. **19** (49): 5598–5605 doi:10.1038/sj.onc.1203855. PMID 11114740

5. Ali, Ibne; et al. (2013). "Expression and localization of locally produced growth factors regulating lymphangiogenesis during different stages of the estrous cycle in corpus luteum of buffalo". *Theriogenology*. **81** (3): 428–436. doi:10.1016/j.theriogenology.2013.10.017

6. Abd El Latif, Ghada; Aboushady, Iman; Sabry, Dina (2019). "Decreased VEGF and Cyclin D1 Genes Expression Enhances Chemosensitivity of Human Squamous Cell Carcinoma Cells to 5-Fluorouracil and/or Mesenchymal Stem Cells-DerivedMicrovesicles". *Egyptian Dental Journal*. **65** (2): 1217–1228. doi:10.21608/EDJ.2019.72197.

GENETIC VARIATIONS IN THE BDNF GENE IN COMBAT-EXPOSED INDIVIDUALS WITH POST-TRAUMATIC STRESS DISORDER

Banu Rustamli
National Defense University, Baku, Azerbaijan

In the modern era, the stressful environment continues to be a major challenge for military personnel. This environment, accompanied by threat, high pressure, and service-related traumas, leads to the development of various psychological and somatic illnesses, including Post-Traumatic Stress Disorder (PTSD), in individuals serving in the military field. This overview highlights the role of the *BDNF* Val66Met polymorphism in identifying high-risk individuals among soldiers and its potential to inform targeted preventive and therapeutic strategies

While psychological trauma is traditionally considered one of the primary factors in the formation of PTSD, modern neuroscience and genetic research suggest that this syndrome is not merely a direct consequence of trauma. Instead, PTSD is a complex psychological disorder, with genetic predisposition and changes at the molecular level contributing to its development.

Indeed, the fact that only a fraction of individuals exposed to the same traumatic event develop the disorder allows us to understand how trauma is manifested within the context of biological vulnerability. This biological vulnerability can stimulate the pathophysiology of PTSD, particularly through genetic variations that affect gene expression. One such molecular change is linked to the Brain Derived Neurotrophic Factor (*BDNF*) gene [1].

The Brain-Derived Neurotrophic Factor (*BDNF*) plays a central regulatory role in the central nervous system's stress response, cognitive functions, and memory formation. *BDNF*, particularly through its interaction with its specific receptor, Tyrosine Kinase B (TrkB), regulates the formation of synapses, neuronal differentiation, and regulates the formation of synapses, neuronal differentiation, and neuroplasticity – which fundamental for memory acquisition in the mature brain. These neuroplastic features make *BDNF* crucial for functional recovery following disorder [2]. In humans, the *BDNF* gene is located in the region and is approximately 70 kilobase (kb) long. The human *BDNF* gene is distinguished by its complexity. This gene has 11 exons, nine of which possess a functional promoter. This complexity allows the gene to be expressed differentially across various brain regions. Start codons – the initiation point of translation – are absent in exons II, III, IV, Vh and VIIIh. Consequently, the translation of gene transcripts into protein begins and at the ATG triplet of exon [3].

Research has shown that the Val66Met functional single nucleotide polymorphism within the *BDNF* gene and its resultant functional activity increase the biological and genetic risks for stress-related illnesses, including PTSD. Military personnel carrying the 66Met allele exhibit higher stress sensitivity, and psychological pathologies like PTSD are observed more frequently in them compared to others [5]. As a result, long-term stress-induced changes and the impairment of fear extinction memory do not proceed normally in their brains. The

66Met allele leads to a reduction in *BDNF* gene expression, which in turn results in decreased neurotrophic support for fear extinction memory at the synapses. Specifically, *BDNF* plays a significant role in the impairment of fear memory extinction within the circuits connecting the ventral hippocampus (VHP) and the medial prefrontal cortex (mPFC). All these findings clarify that *BDNF* plays a complex and multifaced role in fear circuity [4]. Some large-scale combined analyses have failed to find significant overall difference in PTSD risk between Met allele carries and Val/Val homozygotes. This inconsistency is primarily attributed to the high heterogeneity of the studies (various ethnic groups, types of traumas, and diagnostic criteria) and the limited statistical power due to the relative rarity of the Met allele in some populations. In other words, methodological differences across various studies may mask the true genetic effect. However, significant findings emerge when more stringent selection and methodological quality criteria are applied to the meta-analyses.

For instance, the situation changes when studies violating the conditions of the "Hardy-Weinberg Equilibrium" (HWE) – a key indicator of genetic study, reliability, suggesting potential sample selection biases or genotyping errors – are excluded. Following such methodological refinement, the probability of observing PTSD in Met allele carriers was found to be significantly higher compared to Val/Val homozygotes [4].

This indicates that the Val66Met polymorphism genuinely plays a role in PTSD risk, but the strength of this effect is sharply dependent on study quality and the individual's interaction with the environment (stress). The variability in these findings reaffirms the critical necessity of methodological precision and multifactorial analysis when assessing the impact of *BDNF* genetic risk on clinical outcomes [1]. Unfortunately, there is a distinct scarcity of scientific work investigating the protective effects of psychosocial factors against the genetic risk of PTSD. A deeper study of such factors could both diversify PTSD risk prediction models and help determine the targets for prophylaxis and therapeutic strategies for individuals facing genetic and high environmental risks.

Investigating the manner in which physical activity modulates the neuroprotective effect – with the aim of defining personalized treatment strategies – is of paramount importance given the *BDNF* Val66Met polymorphism. Growing scientific evidence shows that short and regular physical activity plays a significant neuroprotective role in regulating learning and memory in both animal models and human populations. The primary mechanism underlying the beneficial effect of physical activity on brain functions is linked to the increased expression of *BDNF*, a key molecule that supports neuronal survival and synaptic plasticity [5].

BDNF signaling via its receptor TrkB, promotes critical processes such as neurogenesis and synaptogenesis. Research indicates that the increased expression of *BDNF* resulting from physical activity occurs particularly in areas like the hippocampus and the prefrontal cortex. These neurobiological changes enable physical activity to strengthen cognitive reserve and enhance resistance to stress [3]. Studies observe a sharp increase in peripheral blood *BDNF* levels following acute

exercise sessions. This suggests that *BDNF* is rapidly released from synapses in response to physical stress [5]. Furthermore, some studies suggest a dose-dependent relationship between exercise intensity and the increase in *BDNF* levels; that is higher intensity activities lead to a more substantial and acute *BDNF* elevation. This finding is crucial as it suggests that the quality of the exercise stimulus, specifically its vigor, plays a paramount role in maximizing the neurobiological benefits. This highlights the importance of focusing not just on duration, but critically, also on the intensity parameters when individualizing physical activity recommendations [6]. Incorporating elements of high-intensity interval training (HIIT) may be a more efficient strategy for bolstering neurotrophic support compared to steady-state low-intensity activity.

Thus, by fine-tuning the exercise prescription to maximize this dose-dependent effect [2]. Physical activity emerges as a highly tunable and potent protective intervention capable of mitigating neuroplastic deficits and promoting cognitive resilience by effectively optimizing and elevating *BDNF* levels, particularly offering a compensatory mechanism in individuals identified as being at genetic or biological risk for neurological decline [6]. By analyzing and identifying *BDNF* Val66Met genotypes in armed forces members, those carrying the Met allele can be flagged as high-risk detection, personalized treatment, planning, personnel rehabilitation, efficient use of resources.

References

1. Zhang L., Benedek D., Fullerton C et al. PTSD risk is associated with BDNF Val66Met and BDNF overexpression. Molecular Psychiatry 19, 8-10 (2014). https://doi.org/10.1038/mp.2012.180

2. Barbara L. Pitts, Jukia M. Whealin, Ilan Harpaz-Rotem, Ronald S. Duman, John H.Krystal, Steven M. Southwick et al. BDNF Val66Met polymorphism and post-traumatic stress syptoms in U.S military veterans: Protective effect of physical exercise. Psychoneuroendocrinology Volume 100, February 2019, https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2018.10.011

3. Joshua A. Bueller, Macksood Aftab, Srijan Sen, Diana Gomez-Hassan et al. BDNF Val66Met Allele is associated with Reduced Hippocampal Volume in Healthy Subjects. Biological Psychiatry Volume 59, Issue 9, 1 May 2006. https://doi.org/10.1016/j.biopschy.2005.09.022

4. Bugge Kambestad, Oda Ms, Kristine MS, Mrdalj Jelena, Hovland Anders, Bruun Endal, Trygve RS. Physical Exercise and Serum BDNF Levels: Accounting for the Val66Met Polymorphism in Older Adults. Cognitive and Behavioral Neurology 36(4):p 219-227, December 2023.| DOI: 10.1097/WNN.0000000000000349

5. Simon Rosenbaum, Davy Vancampfort, Zachary Steel, Jill Newby, Philip B. Ward, Brendon Stubbs. Physical Activity In The Treatment Of Post-Traumatic Stress Disorder: A Systematic Review And Meta-Analysis. Psychiatry Research Volume 230, Issue 2, 15 December 2015. https://doi.org/10.1016/j.psychres.2015.10.017

6. Dharani Keyan, Richard A. Bryant. Acute exercise-induced enhancement for fear inhibition is moderated by BDNF Val66Met polymorphism. Translational Psychiatry volume 9, Article: 131 (2019)

VISUAL ANALYTICS ACROSS SECURITY AND SYSTEMS ENGINEERING: FOUNDATIONS FOR THE V-MODEL AND C4ISR

Hazarkhanov A.T., Akhundov R.G.
National Defense University, Baku Azerbaijan
Hashimov E.G.
Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

In contemporary systems engineering and security studies, the V-Model and C4ISR frameworks are regarded as principal methodological pillars that ensure the sequencing of planning, development, and operational phases. Nevertheless, the visual presentation of these frameworks can lead to interpretive divergence among diverse stakeholders, terminological inconsistencies, and delays in decision-making processes. The aim of this article is to enhance functional efficiency and communicative value, strengthen traceability, and establish a unified visual language between academic and operational environments through the visual optimization of V-Model and C4ISR structures. The proposed approach is grounded in simplifying and modularizing diagrams, applying color coding and symbolic notation for intuitive representation of relationships, and securing terminological stability through bilingual legends.

The methodology consists of four stages. In the first stage, a conceptual analysis is conducted, mapping within the V-Model the symmetry between requirements, system and subsystem design, and implementation with unit, system, and acceptance testing. For C4ISR, layering is performed across operational, system, and technical views, and inter-node relationships such as intelligence, surveillance, data fusion, and decision support are modeled as a graph structure. In the second stage, visual design principles are applied. Simplification and modularization ensure independent readability of each phase, development stages are coded in green tones, testing stages in blue tones, and the directionality of relationships is distinguished by arrow glyphs and line styles. In the third stage, design tools such as LaTeX TikZ, Adobe Illustrator, and Microsoft Visio are integrated with functional verification platforms including MATLAB Simulink and ArcGIS, thereby turning diagrams from static illustrations into artifacts that present modeled interactions. In the fourth stage, an iterative refinement mechanism is implemented. Through academic compliance checks, user-centered testing, and feedback-driven revisions, readability, semantic balance, and explanatory precision are optimized.

The results indicate that visually depicting bidirectional traceability from requirements to verification within the V-Model reduces the risk of misinterpretation and clarifies the linkage between sensor calibration and flight testing in UAV applications. In the C4ISR diagram, color-separating operational, system, and technical transitions and presenting the data-fusion module using a graph-based layout make the integration of multi-source signals more comprehensible. Spatializing risk zones on GIS overlays enhances situational awareness for border security and surveillance planning. Two classes of indicators are proposed for evaluation. The first class comprises visual-consumption metrics, which include

time-to-understand, proportion of erroneous inferences, legend-dependency index, SUS scores, and NASA TLX scores. The second class comprises structural metrics, including node degree of connectivity, the number of line crossings, compliance of color contrast with minimum requirements, and the depth of mapping along the traceability axis. In pilot trials, average time-to-understand decreases, the share of erroneous inferences declines, and delay indicators in decision flows improve.

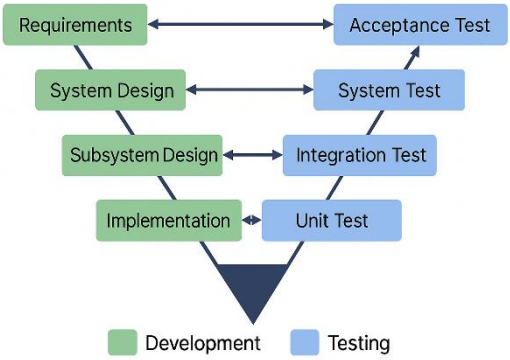


Fig. 1. V-model – bidirectional traceability map

The discussion argues that maintaining a balance between simplification and functional depth is critical. Excessive reduction can diminish semantic richness. Accordingly, interactive presentation capabilities such as hierarchical folding of inter-module relationships and expandable details are proposed as a direction for future research. Bilingual legends reduce terminological discrepancies in international presentations and simultaneously meet the needs of academic and operational audiences. In conclusion, the proposed visual optimization framework enhances the explainability, traceability, and communication quality of the V-Model and C4ISR, and it increases transparency in decision-making for complex systems.

References

1. Maharramov, R.R. et al. (2025). Application of C4ISR systems in military and security operations. *Матеріали конференцій МЦНД*, (15.08.2025; Харків, Україна), 125–134. https://doi.org/10.62731/mcnd-15.08.2025.004

2. Khudeynatov, E.K. (2025). Application of V-model in the protection of oil pipelines. *Collection of Scientific Papers «SCIENTIA»*, (August 8, 2025; Liverpool, UK), 67–74. Retrieved from https://previous.scientia.report/index.php/archive/article/view/2896

3. Elnur K. V-Model for Air Defense Systems //Modeling, Control and Information Technologies: Proceedings of International scientific and practical conference. – 2023. – №. 6. – С. 46-49.

4. Babayev, S. et al. (2025). Enhancing operational effectiveness through command and control integration of autonomous robot swarms. *Scientific review of the actual events, achievements and problems.* pp. 75–82. https://doi.org/10.36074/scientia-03.10.2025

5. Islamov, I. et al. (2025). Hybrid communication models for UAV swarms: Towards scalable and energy-aware network optimization. *Scientific guidelines: Theory and practice*

of research – Proceedings of the VI International Scientific Conference (Kyiv, Ukraine, October 3, 2025), pp. 185–195. https://doi.org/10.62731/mcnd-03.10.2025

6. Islamov, I. et al. (2025). Integrating environmental security into defense strategy with a focus on radiological and chemical risks. *Strategic directions of science development: Factors of influence and interaction: Collection of scientific papers with materials of the VII International Scientific Conference (September 26, 2025, Cherkasy, Ukraine)* (pp. 115–125). https://doi.org/10.62731/mcnd-26.09.2025

7. Tahirov, R. K. et al. (2024). Environmental aspects of information technology implementation. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 138–139).

8. Kovtun, A. V. et al. (2025). Techno-economic assessment of a hybrid solar, wind, and biomass system for suburban power supply. In *The driving force of science and trends in its development.* (pp. 112–119). https://doi.org/10.36074/scientia-17.10.2025

9. Salmanov, E. I. et al. (2025). Ways to improve logistical support in the Azerbaijani Army. In *The driving force of science and trends in its development.* (pp. 88–95). https://doi.org/10.36074/scientia-17.10.2025

10. Huseynov, M. et al. (2025). Application of modern multi-sensor technologies for ground target detection. In *Innovations and the scientific potential of the world: Proceedings of the VII International Scientific Conference* (pp. 172–182). Sumy, Ukraine: Ukrlogos Group. https://doi.org/10.62731/mcnd-10.10.2025

11. Tabunenko, V. et al. (2025). The dynamics of UAV flight integrated with route planning. In *Modern tools and methods of scientific investigations: Proceedings of the VI International Scientific and Theoretical Conference* (pp. 46–56). Antwerp, Belgium: Scientia. https://doi.org/10.36074/scientia-10.10.2025

12. Babayev, S. et al. (2025). The impact of unmanned aerial vehicles on the strategy and tactics of modern warfare. In *Modern tools and methods of scientific investigations: Proceedings of the VI International Scientific and Theoretical Conference* (pp. 28–36). Antwerp, Belgium: Scientia. https://doi.org/10.36074/scientia-10.10.2025

13. Mammadov, E. S. et al. (2025). Environmental impact of transportation systems: Challenges and sustainable solutions. In *Scientific review of the actual events, achievements and problems: Proceedings of the V International Scientific and Theoretical Conference* (pp. 120–128). Berlin, Germany: International Center of Scientific Research. https://doi.org/10.36074/scientia-03.10.2025

FACTORS SHAPING THE TRANSFORMATION OF DEFENSE FORCE EMPLOYMENT FORMS IN A HYBRIDIZED CONFLICT ENVIRONMENT

İskhandarov Kh., Akhundov R.G.
National Defense University, Baku, Azerbaijan
Talibov A.M.
İnstitute of Control Systems, Baku, Azerbaijan
Hashimov E.G.
Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

Conflict in modern hybrid wars is not confined to kinetic operations. Political, economic, information-psychological, legal, and technological dimensions operate simultaneously, rendering the operational environment non-linear and multi-channel

and influencing decision cycles. For Azerbaijan, amid shifts in the regional balance over the last decade, the experience of the Patriotic War, and rising digital transparency in the post-conflict period, forms of force employment are shaped by requirements for agile decision cycles, multidomain coordination, and preserving technological superiority. The aim of this article is to systematise the key factors that condition the transformation of employment forms and methods under hybridisation, to explain their working mechanisms, and to advance practical recommendations for policy, preparedness, and force development. The scientific novelty lies in mapping factors in an input mechanism outcome sequence, presenting the multidomain operational environment within a unified framework, and identifying prioritisation criteria tailored to the local context.

The methodology adopts a mixed-methods approach. In the first stage, a structured literature review is conducted across normative documents, open-source analytical reports, and scientific articles that synthesise operational experience, forming an initial pool of factors. In the second stage, a multi-criteria decision-making method is applied. Factors are assessed against four criteria: impact strength, controllability, level of risk and uncertainty, and cost of implementation. Each criterion is scored on a 1 to 5 scale, and the final priority is calculated using a weighted average. In the third stage, a cause-effect map is constructed. Input factors are grouped by strategic, operational, and tactical levels. Intermediate mechanisms are presented as intelligence agility, electromagnetic control, information legitimacy, and logistics resilience. Outcomes are measured by the adaptability of employment forms, acceleration of the decision cycle, reduction of losses, and efficient distribution of fires. In the fourth stage, scenario-based justification is carried out. Two opposing scenarios are modelled: an environment with high UAV superiority, and an environment characterised by strong radio-electronic jamming. For each scenario, the expected behaviour of employment forms, risks, and countermeasures are tabulated. The triangulation principle is maintained to increase reliability. Limitations include the inaccessibility of some sources due to confidentiality, methodological inconsistencies, and the context sensitivity of digital indicators.

The results indicate that transformation emerges at the intersection of four decisive groups of factors. The first group is the information environment and digital transparency. The volume of open-source intelligence, the speed of social media streams, and the accessibility of satellite observations complicate concealment, requiring deception plans that account for digital traces and transparent communication protocols. The second group comprises technological determinants. The mass employment of UAVs shortens the detect track destroy sequence, and the diversity of the sensor spectrum and precision enablers makes modular employment forms feasible. At the same time, counter-UAV measures, radio-electronic jamming, GPS disruption, and optical camouflage raise operational demands. The third group is the agility of command and communications. Distributed network architecture, edge computing, and mission command strengthen the initiative of small units. Communication resilience, frequency planning, and spectrum management are

decisive. The fourth group is the legal and legitimacy dimension. Managed interaction with civilian infrastructure, the collection of an evidentiary base, and transparent reporting to international audiences serve to preserve freedom of action. Prioritisation results show that, with high impact and relatively high controllability, leading factors are control of the electromagnetic spectrum, resilience of operational communications, diversification of the UAV portfolio, and rapid restoration of logistics. Factors carrying high risk and uncertainty include information legitimacy and access to international audiences. In cost terms, the largest shares fall to upgrading network architecture and counter-electronic measures, yet these investments generate multiplicative effects in resilience. Scenario analysis clarifies that when UAV superiority is high, the distribution of fires and counter-battery activity become more efficient. Under strong radio-electronic suppression, however, alternative precise navigation, inertial and optical guidance, communication discipline, and frequency-hopping procedures are required. In both scenarios, mission command and task-based autonomy increase the adaptability of small units. Proposed measurable indicators include the time interval between detection and strike, the UAV loss ratio, the success rate of radio-electronic suppression, the uptime ratio of operational communications, the reduction of enemy intelligence through effective concealment, and, in the information domain, audience reach and the speed of removing disinformation.

In conclusion, preserving superiority is not limited to procuring new systems. It requires resilience of network architecture, intelligent management of the electromagnetic spectrum, and optimisation of information flows through edge processing. Mission command, small-unit initiative, digital discipline, and ethical decision-making must be strengthened. Legal and information dimensions should be integral to planning.

Recommendations include updating national spectrum standards, diversifying and training the UAV and counter-UAV portfolio, expanding distributed network-centric control, conducting periodic multidomain scenario exercises, applying measurable indicators in post-operation assessments, and integrating a legal-communication module at the early stage of planning.

References

1. İskhandarov, Kh. et al. (2025). Artificial intelligence in logistics operations. In *Topical issues of science development: Proceedings of the VI International Scientific Conference* (pp. 433–442). https://doi.org/10.62731/mcnd-31.10.2025

2. Muradova, E. E. et al. (2025). Analytical evaluation of UAV-based logistical operations in contemporary military systems. In *Topical issues of science development: Proceedings of the VI International Scientific Conference* (pp. 351–360). https://doi.org/10.62731/mcnd-31.10.2025

3. Tahirov, R. K. et al. (2024). Environmental aspects of information technology implementation. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 138–139).

4. Kovtun, A. V. et al. (2025). Techno-economic assessment of a hybrid solar, wind, and biomass system for suburban power supply. In *The driving force of science and trends in its development.* pp. 112–119. https://doi.org/10.36074/scientia-17.10.2025

5. Salmanov, E. I. et al. (2025). Ways to improve logistical support in the Azerbaijani Army. In *The driving force of science and trends in its development.* pp. 88–95. https://doi.org/10.36074/scientia-17.10.2025

6. Babayev, S. et al. (2025). Enhancing operational effectiveness through command and control integration of autonomous robot swarms. *Scientific review of the actual events, achievements and problems: Collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the V International Scientific and Theoretical Conference (October 3, 2025, Berlin, Germany)* (pp. 75–82). https://doi.org/10.36074/scientia-03.10.2025

7. Mammadov, R. et al. (2024). Enhancing special forces management efficiency in modern operations. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 31–32).

8. Jabrayilov, A. et al. (2025). Digital technologies and artificial intelligence in the management of environmental safety in the army. In *Current directions of development of information and communication technologies and control tools.* (Vol. 1, pp. 110-111).

9. Talibov, A. M. et al. (2025). The use of unmanned aerial vehicles for monitoring chemical and radiation contamination. In *Current directions of development of information and communication technologies and control tools.* (Vol. 4, pp. 88-89).

10. Talibov, A. et al. (2024). Environmental safety of nanomaterials application. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 55–56).

11. Akhundov, R., & Hashimov, E. (2025). The impact of new technologies on enhancing the efficiency of armed. *Матеріали конференцій МЦНД*, (13.06. 2025; Луцьк, Україна), 186-195.

12. İskhandarov, X. et al. (2025). Artificial intelligence in logistics operations. In *Topical issues of science development: Proceedings of the VI International Scientific Conference* (pp. 433–442). https://doi.org/10.62731/mcnd-31.10.2025

13. Bayramov, A.A. et al. (2016). The detection of invisible objects on the terrain on the basis of GIS technology. *Geography and nature sources*, 124-126.

14. Tabunenko, V. et al. (2025). The dynamics of UAV flight integrated with route planning. In *Modern tools and methods of scientific investigations: Proceedings of the VI International Scientific and Theoretical Conference* (pp. 46–56). Antwerp, Belgium. https://doi.org/10.36074/scientia-10.10.2025

15. Bayramov, A.A., & Hashimov, E. (2017). The numerical estimation method of a task success of UAV reconnaissance flight in mountainous battle condition. *Сучасні інформаційні системи*, (1,№ 2), 70-73.

16. Bayramov, A.A. (2018). Assessment of invisible areas and military objects in mountainous terrain. *Defence Science Journal*, *68*(4), 343-346.

17. Ganimat, I. B. (2021). Analysis and selection performance indicators multiservice communication networks based on the concept NGN and FN. *Computer and information systems and technologies*.

18. İsmayil, İsmayil. (2025). Security and protection of Azerbaijan's oil and gas pipelines: cybersecurity and risk management approaches. *Матеріали конференцій МЦНД*, 136–144. https://doi.org/10.62731/mcnd-11.07.2025.004

19. Hasanov, A.H. (2022). Analysis of the effectivness of communication and automated management systems. In *Modern directions of development of information and communication technologies and management tools,* (Vol. 1, pp. 1-4).

20. Iskandarov Kh. The strategic impact of hybrid warfare on the transformation of the global order / Current directions of development of information and communication technologies and control tools. 2025. С. 67.

A SYSTEMS APPROACH TO URBAN OPERATIONS FOR THE PROTECTION OF CRITICAL INFRASTRUCTURE AND THE MANAGEMENT OF CIVILIAN RISKS

Rustamov A.R., Akhundov R.G.
National Defense University, Baku Azerbaijan
Hashimov E.G.
Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan
Talıbov A.M.
İnstitute of Control Systems, Baku, Azerbaijan

This article proposes a unified operational-methodological framework for optimizing the intelligence–surveillance–assessment chain in the context of increasing armed confrontations within urban space, integrating it in advance with a ruleset and managing outcomes on the basis of measurable indicators. The scientific basis of the problem is that fragmentation of information across diverse sources, delayed formation of a common operational picture, and the deferral of legal vetting to later stages prolong the OODA cycle, increase civilian risks, and weaken the resilience of critical infrastructure. The aim of the study is to demonstrate the coordination, within a single system, of urban flow formalization, vertical stratification of sensors, proceduralizing of a scenario-driven ruleset decision tree, and a KPI-based management mechanism. The methodological sequence consists of four interlinked stages. In the first stage, the urban environment is modeled not as a simple collection of buildings but as a network of parallel flows. Energy, water supply, information, logistics, and population movement are mapped in a GIS environment as overlapping layers. Cadastre data, street networks, utility infrastructure, and population density are synchronized. Restriction zones and humanitarian transit routes in the area of operations are identified in advance.

In the second stage, the information resilience of the system is strengthened. High-altitude platforms and satellite observation provide a synoptic view of the area of operations, while tactical UAVs and ground robots perform micro-scale identification. Observation and patrol reports support the mapping of OSINT social signals. Time stamps and geolocation rules are standardized. In cases of inter-source inconsistencies, a human-in-the-loop correction mechanism is activated. Through this integration, a unified operational picture is formed. In the third stage, legal and ethical compliance is institutionalized at the level of operational procedures. The scenario-driven decision tree is based on criteria such as the probability of civilian presence, proximity to a critical facility, and the availability of alternative means. When civilian risk is confirmed, non-lethal means or maneuver are prioritized. When critical proximity is detected, high-precision munitions or standoff methods are selected. Every firing decision is formalized through a dual-confirmation mechanism, and post-strike assessment results are immediately fed back into the cycle.

In the fourth stage, measurability and management are ensured. Core indicators include the event-based average value of civilian casualties, the share of damage to critical facilities, the duration of the intelligence–decision–execution cycle, the accuracy

of post-strike identification, the time to restore communications, and the proportion of events compliant with the ruleset. For each KPI, the data source, measurement method, and target value are pre-approved. Prioritization with expert weights and sensitivity scenarios is conducted. As a result, the complex urban environment is transformed into a managed risk space, and transparent decision trails are established.

The discussion shows that mapping flows align fire and maneuver plans with the rhythm of civilian life, pre-identifies restoration starting points, and strengthens the resilience of humanitarian services. The vertically stratified ISR package increases identification accuracy, shortens the intelligence–fires–assessment cycle, and creates a controlled resolution mechanism for contested signals. Proceduralizing the ruleset makes legal compliance an integral part of daily practice and, through dual confirmation, reinforces the evidentiary basis of decisions. The KPI matrix closes the management loop and automatically triggers corrective action packages in the event of deviations. Accounting for differences in regional morphology, identification resources are increased in dense historic neighborhoods, OODA targets are adapted to realities, and evidentiary requirements are tightened.

In conclusion, when urban flow formalization, vertical ISR synthesis, a scenario-driven decision tree, and KPI-based management are applied together, both the accuracy and speed of decisions increase, civilian harm becomes manageable, and the protection of critical infrastructure becomes a practical priority of operational plans. A practical next step is testing and parameter tuning in a digital twin for cities with differing morphologies.

References

1. Akhundov, R., & Hashimov, E. (2025). Enhancing the efficiency of the military environmental security system through the implementation of advanced technical means. *In Modeling, Control and Information Technologies*, (No. 8, pp. 348–352) https://doi.org/10.31713/MCIT.2025.108

2. İskhandarov, Kh. et al. (2025). Artificial intelligence in logistics operations. In *Topical issues of science development: Proceedings of the VI International Scientific Conference* (pp. 433–442). https://doi.org/10.62731/mcnd-31.10.2025

3. Muradova, E. E. et al. (2025). Analytical evaluation of UAV-based logistical operations in contemporary military systems. In *Topical issues of science development: Proceedings of the VI International Scientific Conference* (pp. 351–360). https://doi.org/10.62731/mcnd-31.10.2025

4. İvanchenko, O. V. et al. (2025). Technical aspects of wind energy production. In *Global perspectives on multidisciplinary research: Theory and practice.* pp. 65–72. https://doi.org/10.36074/scientia-24.10.2025

5. Tahirov, R. K. et al. (2024). Environmental aspects of information technology implementation. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 138–139).

6. Islamov, I. et al. (2025). Integrating environmental security into defense strategy with a focus on radiological and chemical risks. İn *Strategic directions of science development: Factors of influence and interaction.* pp. 115–125. https://doi.org/10.62731/mcnd-26.09.2025

7. Bayramov, A.A. et al. (2016). The detection of invisible objects on the terrain on the basis of GIS technology. *Geography and nature sources*, 124-126.

8. Bayramov, A.A., & Hashimov, E. (2017). The numerical estimation method of a task success of UAV reconnaissance flight in mountainous battle condition. *Сучасні інформаційні системи*, (1,№ 2), 70-73.

9. Bayramov, A.A. (2018). Assessment of invisible areas and military objects in mountainous terrain. *Defence Science Journal*, *68*(4), 343-346.

10. Akhundov, R., & Hashimov, E. (2025). The impact of new technologies on enhancing the efficiency of armed. *Матеріали конференцій МЦНД*, (13.06. 2025; Луцьк, Україна), 186-195.

11. Akhundov, R., & Hashimov, E. (2025). The environmental impact of war: Effects, challenges, and solutions. *Матеріали конференцій МЦНД*, (27.06. 2025; Дніпро, Україна), 103-112.

12. Jabrayilov, A. et al. (2025). Digital technologies and artificial intelligence in the management of environmental safety in the army. In *Current directions of development of information and communication technologies and control tools.* (Vol. 1, pp. 110-111).

13. Mammadov, R. et al. (2024). Enhancing special forces management efficiency in modern operations. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 31–32).

14. Ismayil, I. et al. (2025). Optimization of composite material selection in the design of military UAV wings. İn *Scientific review of the actual events, achievements and problems*. pp. 107–115. https://doi.org/10.36074/scientia-03.10.2025

15. İsmayil, İsmayil. (2025). Security and protection of Azerbaijan's oil and gas pipelines: cybersecurity and risk management approaches. *Матеріали конференцій МЦНД*, 136–144. https://doi.org/10.62731/mcnd-11.07.2025.004

16. Hasanov, A.H. (2022). Analysis of the effectivness of communication and automated management systems. In *Modern directions of development of information and communication technologies and management tools,* (Vol. 1, pp. 1-4).

17. Piriyev, H.K. et al. (2016). Modelling of the battle operations. *Monografiya, Herbi Nashriat", Baku.–2017.*

A DOCTRINE INFORMED APPROACH TO THE EXPANDING UAS THREAT SPECTRUM

Mammadov E.S.
National Defense University; Baku, Azerbaijan

This article develops and substantiates a multi layered Counter Unmanned Aerial Systems framework that integrates detection, identification, neutralization, and passive defense within a coherent operational concept. The point of departure is the accelerated diffusion of small and relatively inexpensive UAS that merge reconnaissance and strike roles, operate at low altitude with a small radar cross section, and can be fielded at scale by state and non-state actors. Recent conflicts have shown that such systems exploit gaps in traditional air defense architectures, especially where sensors are optimized for higher altitude and larger signatures. The result is a persistent operational and economic asymmetry in which expensive surface to air missiles are employed against low-cost drones. A sustainable response requires layered protection, cost aware engagement choices, and organizational measures that reduce exposure.

The methodology combines normative and empirical evidence. First, a structured review of NATO and U.S. Department of Defense classifications establishes performance envelopes by class, range, and payload. Second, open-source case studies from the 2020 Second Nagorno Karabakh war and the war in Ukraine provide field observations on employment patterns, countermeasures, and adaptation cycles. Third, a comparative synthesis evaluates detection technologies, neutralization options, and passive defenses against technical, tactical, and cost criteria. This mixed approach permits not only technical scoring but also assessment of feasibility under rules of engagement and airspace safety constraints.

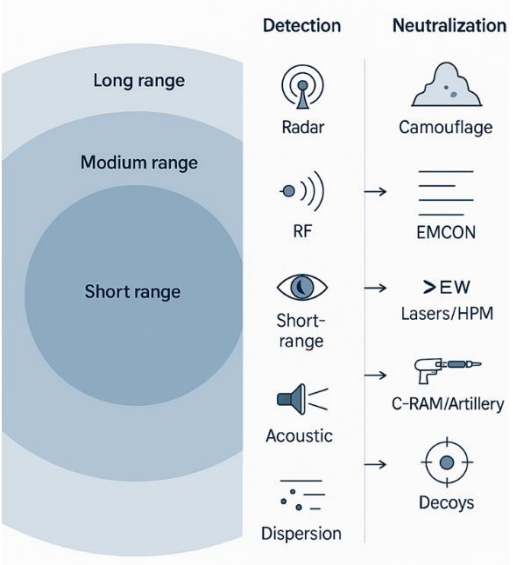


Fig. 1. Multi layered CUAS defense model

Findings indicate that no single C UAS solution is adequate across environments. However, a layered model is consistently rational when scaled to mission and terrain. At the detection tier, sensor fusion that combines radar, radio frequency monitoring, electro optical and infrared sensing, and acoustic detectors improve probability of detection while reducing false alarms. Low probability of intercept waveforms and small physical signatures complicate single modality detection, yet cross cueing among sensors restores coverage and supports timely classification. The study recommends data fusion pipelines that employ AI assisted tracking and classification, with attention to adversarial spoofing and clutter in urban environments.

Neutralization must be selected with respect to both technical effects and engagement cost. Electronic warfare is effective where drones depend on control links or satellite navigation yet loses impact against fully autonomous platforms. Lasers offer precision, short dwell time, and low marginal cost per shot, although power supply, beam control in adverse weather, and platform integration remain constraints. C RAM and artillery provide volume fire against short range threats but require careful deconfliction with friendly air traffic and counter battery risks. Surface to air missiles remain necessary against large Class III systems, although fire discipline and tiered decision authority are required to avoid unsustainable expenditure. For Class I platforms, electronic warfare and lasers dominate. For Class II, radar plus EO IR fused detection with C RAM provides a workable balance. For Class III, only SAM class interceptors deliver reliable defeat, subject to availability and cost.

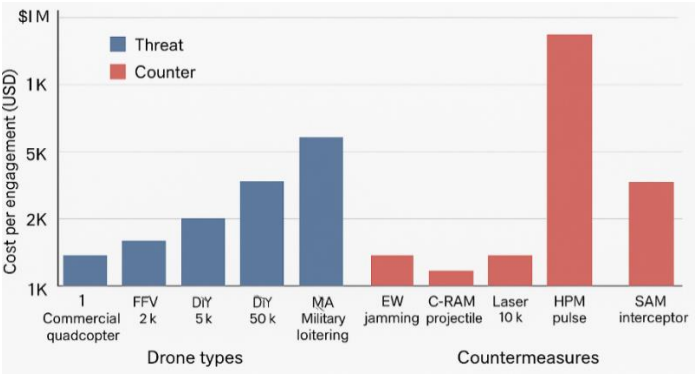


Fig. 2. Economic asymmetry: cost of drones versus countermeasures

Passive defenses are essential complements that do not depend on attrition of the threat. Camouflage and multispectral signature management reduce detection and tracking. Electromagnetic emission control limits exposure to RF geolocation. Force dispersion reduces the damage of successful strikes. Decoys and dummies saturate the attacker's sensor and decision loops and draw fire away from critical assets. These measures are low cost, repeatable, and resilient against adaptation by the attacker, which makes them core elements of any persistent defense.

Operationalization of the layered model requires integration with spectrum management, airspace control, and safety cases that protect civil aviation and critical radio services. The article proposes cascading rules for engagement that match threat class, range, and collateral risk with proportional effectors. It also recommends post event forensics for continuous improvement, including telemetry capture, debris analysis, and electromagnetic environment logging. Training should link tactical practice with technical capabilities, with emphasis on cross unit coordination among air defense, electronic warfare, engineers, and intelligence sections. Limitations include multipath and clutter that degrade sensing in built up areas, rapid evolution of adversary tactics such as frequency hopping, mesh networking, and autonomy, and heterogeneous national legal frameworks that shape permissible countermeasures. Future work should prioritize standardized cost effectiveness metrics, mobile integration of directed energy weapons, robust AI models for sensor fusion that are resilient to spoofing, and mission informed placement of sensors and effectors that reflect terrain, weather, and traffic patterns. In conclusion, multi layered C UAS is not a single system but a doctrine informed architecture that combines complementary technologies with disciplined tactics and cost aware decision rules. When supported by clear authority, safety interlocks, and iterative learning, it provides an adaptable and sustainable defense against the expanding spectrum of UAS threats.

References

1. Bayramov A.A. eta l. Unmanned Aerial Vehicle Applications for Military GIS Task Solutions //Research Anthology on Reliability and Safety in Aviation Systems, Spacecraft, and Air Transport. – IGI Global Scientific Publishing, 2021. – С. 1092-1115.

2. Muradov, S.A. (2023). Development prospects of beacon systems. *In* Problems of informatization. Vol. 1. p.31.

3. Muradov, S.A. et al. (2023, November). Determining the location of the UAV equipped with a homing device based on radio beacons. In *Modeling, Control and Information Technologies: Proc. of International scientific and practical conference* (No. 6, pp. 54-56).

4. Bayramov A.A. The numerical estimation method of a task success of UAV reconnaissance flight in mountainous battle condition //Сучасні інформаційні системи. – 2017. – №. 1,№ 2. – С. 70-73.

5. Hashimov E., Khaligov G. The issue of training of the neural network for drone detection //Advanced Information Systems. – 2024. – Т. 8. – №. 3. – С. 53-58.

6. Bayramov A.A. et al. The detection of invisible objects on the terrain on the basis of GIS technology //Geography and nature sources. – 2016. – С. 124-126.

7.Ganimat I. B. Analysis and selection performance indicators multiservice communication networks based on the concept NGN and FN //Computer and information systems and technologies. – 2021.

8. Hashimov E. G. Some aspects of the combat capabilities and application of modern UAVs //Baku:"National Security and military knowledges. – 2021. – №. 3. – С. 7.

9. Bayramov A.A. Assessment of invisible areas and military objects in mountainous terrain //Defence Science Journal. – 2018. – Т. 68. – №. 4. – С. 343-346.

10. Hashimov E. G., Bayramov A. A. The flight dynamics of drones //National security and military sciences. – 2016. – Т. 2. – №. 3. – С. 11-16.

11. İbrahimov B. et al. Research and analysis indicators fiber-optic communication lines using spectral technologies //Advanced information systems. 2022. Т. 6. №. 1. С. 61-64.

12. Hasanov A.H..Analysis of the effectivness of communication and automated management systems. *İn* Modern directions of development of information and communication technologies and management tools. – 2022. – Т. 1. – С. 1-4.

13. Piriyev H.K. et al. Modelling of the battle operations //Monografiya, Herbi Nashriat", Baku.–2017. – 2016.

14. Bayramov A.A. The supervisory control systems deployment in mountainous terrain //VIII Int. Conf."Modern development trends of ICT and control methods. 2018. С. 3-4.

15. Islamov, I. et al. (2025). Hybrid communication models for UAV swarms: Towards scalable and energy-aware network optimization. *Scientific guidelines: Theory and practice of research – Proceedings of the VI International Scientific Conference* (Kyiv, Ukraine, October 3, 2025), pp. 185–195. https://doi.org/10.62731/mcnd-03.10.2025

16. Ismayil, I. et al. (2025). Optimization of composite material selection in the design of military UAV wings. Scientific review of the actual events, achievements and problems: Collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the V International Scientific and Theoretical Conf. (pp. 107–115) https://doi.org/10.36074/scientia-03.10.2025

17. Tahirov, R. K. et al. (2024). Environmental aspects of information technology implementation. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 138–139).

18. Islamov, I. et al. (2025). The use of unmanned systems and artificial intelligence to enhance radiation and chemical safety in military ecology. In *Innovations and the scientific potential of the world: Proceedings of the VII International Scientific Conference* (pp. 183–192). Sumy, Ukraine: Ukrlogos Group. https://doi.org/10.62731/mcnd-10.10.2025

19. Tabunenko, V. et al. (2025). The dynamics of UAV flight integrated with route planning. In *Modern tools and methods of scientific investigations: Proceedings of the VI International Scientific and Theoretical Conference* (pp. 46–56). Antwerp, Belgium: Scientia. https://doi.org/10.36074/scientia-10.10.2025

THE ROLE OF RECOMMENDED ROUTES IN THE SAFETY OF THE CASPİAN SEA OİL AND GAS PRODUCTİON AREAS

Rustamov A.R.
Azerbaijan Technical University, National Defense University Baku, Azerbaijan
Mammadzada V.M.
National Defense University, Baku, Azerbaijan
Melikov F.A.
Azerbaijan Navy Forces, Baku, Azerbaijan
Hashimov R.İ.
Military Scientific Research Institute, Baku, Azerbaijan

The international security system is facing a number of problems. In such a period, the fact that the increase in the probability of undesirable threats and risks has already become a tendency, and the use of traditional mechanisms implemented to date to prevent all these threats does not play a decisive role in achieving real desired results, once again proves that. The Caspian Sea, the oil and gas production infrastructures existing there, are facing a number of threats today. The existence of threats and dangers that will face large-scale problems in the future, which are of particular importance, the Trans-Caspian International Transport Line, and the feeling that they tend to increase from time to time, necessitate the full and even more than necessary efforts to eliminate them.

At the international forum held at ADA University with the participation of the President of the Republic of Azerbaijan Ilham Aliyev on the theme "Towards a New World Order", the head of state drew attention to the strengthening of Azerbaijan's role in regional and international politics and the development of relations with the countries of Europe, Central Asia and the Middle East. He said that Azerbaijan plays the role of an economic and transport bridge between these regions, and progress has been made in increasing its economic and transit potential, and the importance of the Caspian Sea in this regard was also emphasized. He also spoke about the strengthening of the geopolitical position of our country through relations with neighbors located around the Caspian Sea. He noted that the strong economic and transport relations established by Azerbaijan with Central Asia, the Middle East and Europe provide a convenient platform for long-term cooperation between these countries [1]. Thus, the execution of tasks such as the realization of the safe and efficient operation of the part of the Caspian Sea belonging to the Republic of Azerbaijan and the existing there oil and gas production infrastructures, global telecommunications lines, Baku International Sea Trade Port, ensuring safe navigation by implementing a special navigational regime, as well as for the purpose of providing effective accomplishment of the navigational support and the increasement of the effectiveness necessitates the analysis and providing of new, alternative traffic seperaton schemes, fairways and recommended routes having in point the rapid decrease in the average water level of the Caspian Sea due to climate change and the increase in the commercial importance of the Baku International Sea Trade Port.

Referring to the 23 B navigational chart of the Absheron Peninsula published in 2007, it should be mentioned that the Traffic Seperation Sceme established in the direction of Boyuk-Zira and Jilov Islands, the main fairway intended for the movement of merchant ships and many recommended routes are also located very close to offshore oil and gas platforms and subpipelines. This, in turn, creates the conditions for the occurrence of navigation incidents and accidents, terrorist acts, and as a result, many undesirable situations, which may occur in conditions of limited visibility, as well as due to the carelessness of free navigation. On June 29, 2017, the Arya 141 seismological research vessel belonging to the Azerbaijan State Oil Company lost control during its operation, collided with the oil and gas platform 34 in the sea, and many people lost their lives, and the fact that there was a risk of environmental pollution of the marine environment proves that The Traffic Seperation Sceme provided in the sea area close to the oil and gas infrastructures does not fully meet the minimum risk requirement [2]. As an example of an undesirable navigation accident that occurred during difficult navigation conditions while sailing in limited visibility conditions, the collision of the tanker "Konstruktor Zhivotovsky" belonging to the Russian Federation with an oil rig in the waters of Azerbaijan on May 12, 2021. The tanker was reportedly loaded with 4.5 thousand tons of gas-condensate mixture, but there was not pollusion at the sea as a result of the incident. The Russian Federal Agency for Sea and River Transport said that the incident occurred as a result of dense fog, when the tanker "lost her way" in the fog and collided with a platform belonging to the Azerbaijani National Oil Company [3]. The research has been curried out and the analysis of the navigational accidents that have taken place, confirm the need for the creation of a new Traffic Seperatin Sceme, fairways and recommended routes suitable for the purpose.

Taking into account all the mentioned and for effectively organizing security and safety the existing offshore oil and gas infrastructures in the sector of the Caspian Sea belonging to the Republic of Azerbaijan, for the purpose of providing the safety of free navigation of ships, the realization of economically important sea transportation connecting East-West and North-South in a short time, a special navigational regime, had been proposed to place bouy number 4 indicating the beginning of the fairway at the coordinates Lat=39^0 48,1$^{\prime}$ N; Lng=49^0 53,7$^{\prime}$, the creation of a circular traffic system, Lat=39^0 48,0$^{\prime}$ N; Lng=49^0 53,6$^{\prime}$, had in the point the cancellation of the reccomended road number 9 for certain national interests, to connect the reccomended road number 8 with the cources 179^0,5 - 359^0,5 and reciprocal lined to the bouy number 1's circular traffic system indicating the beginning of the fairway, but as a result of analysis, calculations and research, currently, proposed recommended routes number 2 and 34 are canceled, re-establishing recommended routes number 1 and 2 are taking into account the intersection of circular traffic systems on buoys indicating the beginning of fairways number 5 and 2, and in order to increase the efficiency of navigational support in the direction of Cape Alat and Sangi-Mugan Island, which will follow courses 270^0,0 - 90^0,0 and will extend for 9 nautical miles from the buoy indicating the beginning of fairway number 4 to the isoline connecting depths of 19.8 meters, and from this point

passing through the intersection of areas special regimed number 202 and with number 128 [4] which is possible for anchoring, fishing with bottom tools, underwater and dredging works, and sailing with a loose anchor chain, prohibited for sailing; It is proposed to prepare new recommended routes that will follow the courses 330^0,0 - 150^0,0 extending to the coordinates Lat =39^0 54,5' N; Lng =49^0 27,0' E, which in turn are considered a substantial work done towards ensuring the security and safety of oil and gas production infrastructures (Fig. 1).

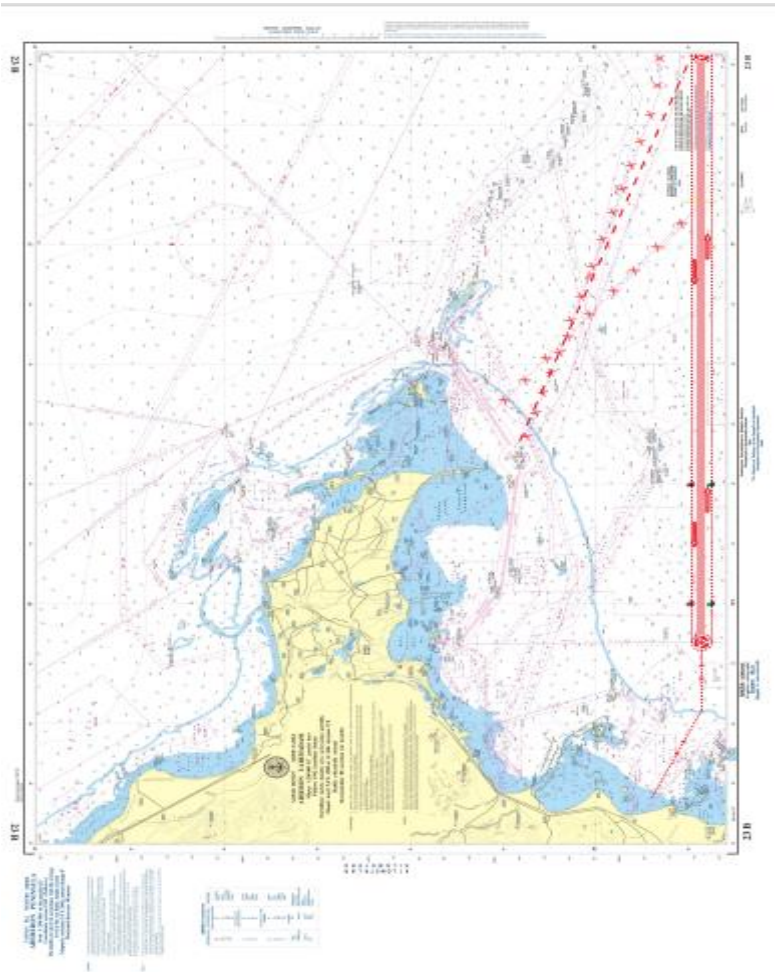


Fig. 1. Proposed recommended routes in the navigational chart

As a conclusion of the research carried by the method of analysis and synthesis, and the experience gained during the long-term service in the navy and

merchant shipping, the necessity to make changes in the traffic seperation scheme, fairways, and recommended roads has been confirmed. In order to ensure the security and safety of oil and gas production and to implement safe navigation during special sailing regime, the new recommended routes are presented. Thus, the issue of increasing efficiency and navigational safety is resolved by revising the navigational support rules in the proposed new traffic seperation sceme and simplifying the traffic seperation sceme.

References

1. Islam. New realities and Azerbaijan's political determination: [Elektron resurs] / – 10 April 2025. URL: https://news.milli.az/politics/1273934.html;
2. Five hurt as vessel hits platform in Caspian: [Electronic resource] / – 29 June 2017. URL: https://www.upstreamonline.com/online/five-hurt-as-vessel-hits-platform-in-caspian/2-1-114920?zephr_sso_ott=yWkQnz
3. Giant tanker collides with oil rig in Caspian Sea: / [Elektron resurs] / – 19 May 2021. URL: https://teref.az/gundem/192408-xezerde-neheng-tanker-neft-burugu-ile-toqqusdu-.html
4. Information file on the navigation regime of ships in the Caspian Sea. Instruction, – Bakı, 2017. pp. 152 s.
5. Akhundov, E.F. et al. (2023). Increasing Efficiency of Operation of Shut-Off Valves in Pipelines. *International Organization*.
6. Amanov, Y.K. et al. (2025) Tribological characterization of surface layer hardness and wear resistance under abrasive scratching. International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering, vol.17, N3. p.414-420.
7. Garayev, M. et al. (2025). Wind, sun, and hydroenergy: a look into Azerbaijan's green energy future. *Collection of Scientific Papers «ΛΟΓΟΣ»*, 125–133.
8. İsmayil, İsmayil. (2025). Security and protection of Azerbaijan's oil and gas pipelines: cybersecurity and risk management approaches. *Матеріали конференцій МЦНД*, 136–144. https://doi.org/10.62731/mcnd-11.07.2025.004
9. İbrahimov, B.G. et al. (2022). Research and analysis indicators fiber-optic communication lines using spectral technologies. *Advanced inform. systems*, *6*(1), 61-64.
10. Ibrahimov, B.G. et al. (2024). Research and analysis mathematical model of the demodulator for assessing the indicators noise immunity telecommunication systems. *Advanced Information Systems*, *8*(4), 20-25.
11. Tahirov, R. K. et al. (2024). Environmental aspects of information technology implementation. In Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference (Vol. 3, pp. 138–139).
12. Islamov, I. et al. (2025). The use of unmanned systems and artificial intelligence to enhance radiation and chemical safety in military ecology. In Innovations and the scientific potential of the world: Proceedings of the VII International Scientific Conference (pp. 183–192).
13. Ivanchenko, O. V. et al. (2025). Technical aspects of wind energy production. In Global perspectives on multidisciplinary research: Theory and practice: Proceedings of the II International Scientific and Theoretical Conference (pp. 65–72). Florence, Italy: International Center of Scientific Research. https://doi.org/10.36074/scientia-24.10.2025
14. Tabunenko, V. et al. (2025). The dynamics of UAV flight integrated with route planning. In Modern tools and methods of scientific investigations: Proceedings of the VI International Scientific and Theoretical Conference (pp. 46–56).

ЗАГРОЗИ РЕГІОНАЛЬНІЙ БЕЗПЕЦІ ВНАСЛІДОК НАПРУЖЕНОСТІ МІЖ ІРАНОМ І США

Алієв Н., Алекперова С.
Військово-науково-дослідний інститут, Баку, Азербайджан

У сучасний період аналіз подій у геополітичному просторі Євразії та Близького Сходу показує, що спостерігається різке зростання геополітичної активності глобальних центрів сили. Нові геополітичні реалії, що виникли на Південному Кавказі в результаті Другої Карабаської війни, через зосередження провідних світових сил на Близькому Сході спричинили зіткнення інтересів у цьому регіоні. Те, що Сполучені Штати Америки (США) оголосили весь світ, особливо геополітичний простір Близького Сходу, зоною своїх стратегічних інтересів, є тому доказом. Широкі та багаті природні ресурси регіону, енергетичні ресурси, що транспортуються, а також контроль над існуючими і запланованими транспортними коридорами призвели до загострення геополітичної боротьби. Ця тенденція дістала новий імпульс і під час російсько-української війни у вигляді активізації США і НАТО.

У цьому контексті після 2020 року подальше загострення політичної та військової напруги між Іраном і США, що триває вже багато років, було пов'язане з дедалі активнішою деструктивною діяльністю Ісламської Республіки Іран у регіоні. Останнім часом розвиток іранської ядерної програми та політика, яка може створити загрозу в регіоні, підвищують ймовірність потенційного збройного зіткнення США з Іраном до рівня реальної небезпеки. Триваюча напруга між Іраном і США створює серйозні загрози для геополітичної стабільності на Близькому Сході та на Південному Кавказі. З огляду на 765-кілометровий кордон Азербайджану з Іраном, його регіональну роль в енергетичних і транспортних проєктах, а також наявність етнічних і релігійних зв'язків, така ескалація або пряме військове втручання впливають на загальну стабільність у регіоні і на безпеку Азербайджанської Республіки. У зв'язку з цим аналіз відносин США з Іраном і оцінка ризиків для Азербайджану у випадку початку потенційної війни між ними, а також прогнозування можливих загроз набувають особливої актуальності.

Аналіз останніх воєн показав, що вплив на геополітичну картину світу, політичну географію та ідеологічні засади світового порядку спричинив серйозні зміни в глобальній і регіональній системах безпеки. Особливо після можливого повернення Дональда Трампа до влади з'явилися умови для реалізації США своїх "великих геостратегічних і геоекономічних" цілей на Близькому Сході [1].

Провідні аналітичні центри Росії, враховуючи геостратегічне значення Близького Сходу, розглядають прагнення Заходу і транснаціональних корпорацій установити контроль над основними магістралями та природними ресурсами регіону як одну з найсерйозніших геополітичних загроз для Росії і Китаю. В таких умовах відомий російський ідеолог О. Дугін зазначає, що перед Москвою стоїть головна місія - сформувати вісь Москва-Тегеран, реалізувати

своє багатовікове стратегічне прагнення вийти до теплих морів і тим самим зруйнувати політику глобального тиску, яку він називає "кільце анаконди". Нині на тлі того, що Іран займає антиамериканську і антиатлантичну позицію і що його геополітичні інтереси значною мірою збігаються з інтересами Китаю і Росії, Ізраїль, США та низка західних держав теоретично планують і практично реалізують політику створення для себе специфічних геостратегічних опорних пунктів у регіоні з метою роздрібнення Близького Сходу і послаблення іранської зони впливу.

З огляду на те, що вплив цієї боротьби охоплює широке коло сфер - від економіки до політики, від безпеки до енергетики - такі ключові міжнародні актори, як США, Велика Британія, Європейський Союз, Китай, Саудівська Аравія, Ізраїль і Туреччина, змушені переглядати свої глобальні позиції і адаптуватися до нових геополітичних реалій. Беручи до уваги ці чинники, поточний стан оцінюється як одна з найбільш системно впливових кризових фаз і всі індикатори свідчать, що ця криза підвищує ризик переходу до більш масштабних зіткнень на Близькому Сході і потенційно до фази війни світового рівня.

У цьому контексті прямий збройний конфлікт між Ізраїлем і Іраном за підтримки США, а також повітряні удари і бомбардування США по стратегічних ядерних об’єктах Ірану вважаються однією з найнебезпечніших форм протистояння в сучасній системі міжнародних відносин [2].

Усе це означає зростання ймовірності того, що США та Ізраїль у майбутньому можуть вести проти Ірану війну більш широкого масштабу. Найважливішим моментом є те, що президент США і прем’єр міністр Ізраїлю і досі вважають можливим ефективно спрямувати внутрішнє суспільне невдоволення в Ірані і в результаті досягти зміни режиму, що нібито є неминучим [3].

Водночас слід враховувати, що якщо в майбутньому США розпочнуть проти Ірану прямі і масштабні військові дії, це підвищить імовірність того, що протистояння набуде характеру великої війни. За оцінками експертів, реалізація такого сценарію розглядається як небезпечний крок у бік нової світової війни в глобальному вимірі [4].

Проведені аналізи показують, що у випадку великомасштабної війни між сторонами в різних частинах регіону можуть відбутися серйозні руйнування, зростання потоків біженців, перебої в енергопостачанні і загострення суперечностей між регіональними державами. Якщо врахувати динаміку розвитку конфлікту і реакцію міжнародної спільноти, то ймовірність більш широких зіткнень на Близькому Сході істотно зростає. Такі процеси можуть створити сприятливий ґрунт для послаблення суверенітету держав регіону, утримання їх у залежному становищі і забезпечення геостратегічних інтересів великих держав.

На думку політичних аналітиків, попри те що напруга у відносинах між Іраном і США зберігається, імовірність прямої та масштабної війни поки що оцінюється як низька. Основна увага буде спрямована на посилення

політичних і економічних санкцій проти іранської ядерної програми, а також на зростання військового тиску [3].

В основі тривалої конфронтації між Іраном і США лежать занепокоєння, пов'язані з ядерною програмою, конкуренція за регіональний вплив і ідеологічні суперечності. Дотепер протистояння виявлялося переважно у формі проксі війн і локальних регіональних напружень [5].

Останнім часом спостерігаються певні дипломатичні контакти між офіційними представниками Ірану та США, що свідчить про намагання обох сторін знизити напругу [6, 7].

У перспективі досягнення домовленості з Іраном стимулюватиме Ізраїль до більш тісної взаємодії як зі США, так і з арабськими країнами, включаючи Саудівську Аравію, Єгипет, Йорданію та Об'єднані Арабські Емірати. Такий підхід Ірану, що ґрунтується на баченні Нового Близького Сходу, спрямований на формування альтернативної моделі, яка передбачає створення нової політичної архітектури в регіоні, поглиблення відносин зі США і особливо реалізацію процесів нормалізації з Саудівською Аравією [8].

Динаміка подій на Близькому та Середньому Сході через географічну близькість Південного Кавказу має потенціал безпосереднього впливу на держави цього регіону. Особливо на тлі зростаючої напруги між США і Іраном питання стабільності на Південному Кавказі набуло ще більшої актуальності [9]. У такій складній глобальній обстановці Азербайджан має вважати пріоритетом захист своїх національних інтересів у відносинах як з Ізраїлем і Заходом, так і з Росією та Китаєм і доцільно щоб він виступав як об'єднувальний, нейтральний актор між цими центрами сили [10].

З урахуванням зростання регіональної потуги Туреччини, яка є стратегічним партнером Азербайджану, необхідно розширювати можливості спільного реагування на потенційні кризові ситуації в межах дипломатичного і військового співробітництва двох країн. Оскільки Туреччина має стратегічні відносини як з Ізраїлем, так і з Іраном, її активність у напрямі забезпечення безпеки кордонів у разі виникнення загроз унаслідок конфлікту є важливою [11].

Якщо між США та Іраном відбудеться великомасштабна війна, то існує висока ймовірність нанесення серйозних ударів по військовій та економічній інфраструктурі Ірану. Це може призвести до формування нового балансу сил у регіоні і зміни архітектури безпеки. Одночасно розширення війни на Близькому Сході викличе серйозні коливання на енергетичних ринках, різке зростання цін на нафту і газ.

Через війну можливе закриття іранського порту Бендер-Аббас і перебої в перевезенні вантажів зі Сходу, зокрема з Китаю, Індії та Пакистану. Це може негативно позначитися і на міжнародних транзитних та енергетичних проєктах Азербайджану. У такій ситуації зростуть ризики реалізації міжнародних транспортних коридорів "Північ-Південь" і "Південь-Захід", можуть виникнути соціально-економічні проблеми у вигляді потоків біженців і послаблення торговельних зв'язків [12].

Тому Азербайджан має тримати під суворим контролем ситуацію на південних кордонах, зберігати власний військовий потенціал і своєчасно вживати адекватних заходів проти потенційних загроз.

Ризики, які створює американо-іранська напруга для Південного Кавказу і Азербайджану, мають багатовимірний характер. Тому Азербайджан повинен захищати свої національні інтереси, підтримувати регіональну стабільність і за допомогою нейтральної політики адаптуватися до глобальних і регіональних змін.

Для керованості напруженості пріоритетом має стати вироблення гнучких і цілеспрямованих стратегій як у дипломатичній, так і у військовій сферах.

References

1. “There is an apparent enmity between Iran and Israel and the United States, BUT...” - “They are striking the Muslim world at a very sensitive point.” [Electronic resource] - 2 October 2024. URL: https://paralel.az/az/article/521148.

2. “What will the increasing tension between the USA and Iran lead to?” [Electronic resource] - 6 April 2025. URL: https://nocomment.az/abs-ve-iran-arasinda-artan-gerginlik-ne-ile-neticelenecek-aciqlama/.

3. If there is a war between the USA and Iran, what position will Azerbaijan find itself in? [Electronic resource] - 4 April 2024. URL: https://missiya.az/93095-abs-ve-iran-arasinda-muharibe-olarsa-azerbaycan-hansi-veziyyetde-qalacaq.html.

4. Iran and Israel have begun preparations for a large-scale war... [Electronic resource] - 6 April 2024. URL: https://www.baki-xeber.com/siyaset/208641.html.

5. “An unnamed WAR: the Israel-America-Iran war - what effects will it have on the region?” [Electronic resource] - 6 April 2024. URL: https://yenicag.az/adi-aciqlanmayan-savas-israil-amerika-iran-muharibesi-regiona-hansi-tesirleri-olacaq.

6. USA-Iran talks - a postponed war. [Electronic resource] - 8 April 2025. URL: https://redaktor.az/news/world/275949-abs-iran-danisiqlari-texire-salinan-muharibe.

7. A USA-Iran war seems possible. [Electronic resource] - 4 April 2025. URL: https://sherg.az/region/297972.

8. Iran-Israel confrontation: the first round may enter a more dangerous phase. [Electronic resource] - 25 April 2024. URL: https://reyting.az/slayd/114856-iran-israil-qarsidurmasi-ilk-raund-daha-tehlukeli-merheleye-kece-biler.html.

9. Iran-Israel war: what should Azerbaijan do? [Electronic resource] - 13 April 2024. URL: https://modern.az/news/464778/.

10. If an Iran-Israel war starts, what awaits Azerbaijan? [Electronic resource] - 5 August 2024. URL: https://globalinfo.az/iran-israil-muharibesi-baslasa-azerbaycani-ne-gozleyir-qorxunc-proqnoz/.

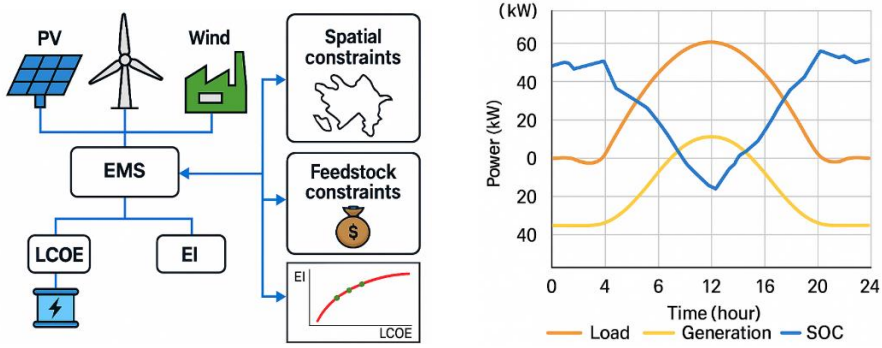
11. “President Ilham Aliyev: Azerbaijan mediated the first reconciliation between Türkiye and Israel.” [Electronic resource] - 9 April 2025. URL: https://azertag.az/xeber/prezident_ilham_eliyev_turkiye_ile_israilin_ilk_defe_barismasinda_azerbaycan_vasitechilik_edib_video-3494615.

12. A war between Iran and the USA is possible. [Electronic resource] - 3 April 2025. URL: https://informator.az/news_16395.html.

HYBRID ENERGY SYSTEMS IN AZERBAIJAN RESILIENCE METRICS AND SPATIAL CONSTRAINTS

Bakhshali V.İ., Hashimov E.G., İsmayil İ.A.
Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan
Akhundov R.G.
National Defense University, Baku Azerbaijan

This article presents a methodological framework for the techno-economic and environmental assessment of hybrid energy systems based on the integration of solar, wind, and biomass resources within a unified architecture, and demonstrates its application to suburban consumption profiles in the context of Azerbaijan (Fig. 1, a). The study is motivated by the need to provide scientific justification for the role of storage and flexible biomass units in balancing variable renewable resources (PV and wind) against a backdrop of climate commitments, energy security, and sustainability targets. The objective is to establish a decision-making mechanism that transparently manages the cost-emission trade-off of the hybrid system, identify the "practical optimum" region along the Pareto frontier, and test the sensitivity of solutions under variations of weights and resource parameters.



a b

Fig. 1. a – GİS-integrated hybrid energy system;
b – 24-hour load generation and battery SOC trajectory

The methodology consists of three sequential stages:

1. System architecture: a PV field, a 3–5 MW wind cluster, a modular biomass unit, and a battery storage system are integrated via an energy management system (EMS). Generation models are computed separately for each module, including in-plane irradiance and temperature dependence for PV, statistical wind distributions and power curves for wind, and lower heating value with conversion efficiency for biomass. For storage, round-trip efficiency, charge and discharge limits, and depth-of-cycle are considered.

2. Multi-criteria evaluation: weights are assigned to criteria of cost, emissions, flexibility, local impact, land footprint, and resource criticality using the analytic

hierarchy process (AHP). Suitability index and sensitivity tests are performed. The adjusted weight vector satisfies the logical consistency condition CR < 0.1. Weights for cost and emissions are the main determinants shaping the Pareto frontier, flexibility enhances the responsiveness of EMS decisions, and local impact raises the sensitivity of spatial planning.

3. Optimization and simulation: an annual simulation is run on typical meteorological year data with 15-minute time steps. The load profile is calibrated with real or synthetic suburban demand. Biomass supply is modeled with seasonal variability. The objective function is $J = \alpha\,\mathrm{LCOE} + \beta\,\mathrm{EI}$, subject to constraints that include energy balance, power limits, state-of-charge bounds, feedstock availability, and LCA inventory limits.

The results show that daytime peaks are efficiently met by PV, transition and night intervals are primarily served by wind, and the biomass module compensates for variability while reducing storage cycling frequency. Along the cost-emission Pareto frontier, the “knee point” represents a practical compromise: pushing further left to reduce emissions increases capital and operating costs sharply, whereas moving right lowers upfront cost but weakens climate benefits. Sensitivity tests with weight variations and resource parameters confirm the stability of the knee region and improve the robustness of decisions under uncertainty. Twenty-four-hour generation-demand profiles and the state-of-charge trajectory indicate that operating storage within a 50–95 percent window is optimal for both life-cycle considerations and grid stability. Integrating the biomass module with municipal solid waste and agricultural residues provides additional environmental benefit, although land-use and logistics constraints necessitate regional clustering for sustainable feedstock supply.

The discussion notes that an EMS enhanced with digital twins and machine learning improves resource forecasting and reduces operating costs by approximately 12 to 15 percent, while scenario analyses show that the biomass share is sensitive to supply elasticity. From an LCA perspective, accounting enables attribution of source-specific emissions across construction, operation, and end-of-life stages. As a result, a well-sized storage configuration within the hybrid system can reduce emissions by 28 to 35 percent while maintaining energy balance. In conclusion, solar-wind-biomass integration offers a manageable compromise between economic efficiency and environmental performance under Azerbaijani conditions. The AHP and EMS-based approach makes the Pareto frontier transparent to decision-makers and enables early-stage design to account for constraints such as spatial planning and resource criticality. Future work should model long-duration storage and hydrogen carriers, and pursue sector coupling across heating and power, transport, and industry to further enhance system flexibility and resilience.

References

1. İsmayil, İsmayil. (2025). Security and protection of Azerbaijan’s oil and gas pipelines: cybersecurity and risk management approaches. *Матеріали конференцій МЦНД*, 136–144. https://doi.org/10.62731/mcnd-11.07.2025.004

2. Akhundov, E.F. et al. (2023). Increasing Efficiency of Operation of Shut-Off Valves in Pipelines. *International Organization*.

3. Amanov, Y.K. et al. (2025) Tribological characterization of surface layer hardness and wear resistance under abrasive scratching. IJTPPE, vol.17, N3. p.414-420.

4. Garayev M. F., Hashimov E. G. About one electrical compound as a source of energy // Problems of informatization. Proceedings of 12-th International Scientific and Technical Conference. – 2024. – T. 3. – C. 117.

5. Suleymanov J. F. et al. Modern approaches to technical safety in oil and gas pipelines. – 2025.

6. Garayev M.F. et al. Wind, sun, and hydroenergy: a look into Azerbaijan's green energy future //Collection of scientific papers «ΛΌГОΣ». – 2025. – №. August 1, 2025; Seoul, South Korea. – C. 125-133.

7. Garayev, M.F. (2025). The development of renewable energy sources and its impact on Azerbaijan's energy security. *Матеріали конференцій МЦНД*, (25.07.2025; Запоріжжя, Україна), 53–62. https://doi.org/10.62731/mcnd-25.07.2025.002

8. İsmayil, İ. (2025). Security and protection of Azerbaijan's oil and gas pipelines: cybersecurity and risk management approaches. *Матеріали конференцій МЦНД*, (11.07.2025; Львів, Україна), 136–144. https://doi.org/10.62731/mcnd-11.07.2025.004

9. Tahirov, R. K. et al. (2024). Environmental aspects of information technology implementation. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 138–139).

10. Kovtun, A. V. et al. (2025). Techno-economic assessment of a hybrid solar, wind, and biomass system for suburban power supply. In *The driving force of science and trends in its development.* pp. 112–119. https://doi.org/10.36074/scientia-17.10.2025

11. Jabrayilov, A. et al. (2025). Digital technologies and artificial intelligence in the management of environmental safety in the army. In *Current directions of development of information and communication technologies and control tools.* (Vol. 1, pp. 110-111).

12. Ismayil, I. et al. (2025). Optimization of composite material selection in the design of military UAV wings. İn *Scientific review of the actual events, achievements and problems*. pp. 107–115. https://doi.org/10.36074/scientia-03.10.2025

13. Islamov, I. et al. (2025). Hybrid communication models for UAV swarms: Towards scalable and energy-aware network optimization. İn *Scientific guidelines: Theory and practice of research.* pp. 185–195. https://doi.org/10.62731/mcnd-03.10.2025

14. Tabunenko, V. et al. (2025). The dynamics of UAV flight integrated with route planning. In *Modern tools and methods of scientific investigations.* pp. 46–56. https://doi.org/10.36074/scientia-10.10.2025

15. Babayev, S. et al. (2025). The impact of unmanned aerial vehicles on the strategy and tactics of modern warfare. In *Modern tools and methods of scientific investigations.* pp. 28–36. https://doi.org/10.36074/scientia-10.10.2025

16. İvanchenko, O. V. et al. (2025). Technical aspects of wind energy production. In *Global perspectives on multidisciplinary research: Theory and practice.* pp. 65–72. https://doi.org/10.36074/scientia-24.10.2025

17. İskhandarov, X. et al. (2025). Artificial intelligence in logistics operations. In *Topical issues of science development: Proceedings of the VI International Scientific Conference* (pp. 433–442). https://doi.org/10.62731/mcnd-31.10.2025

18. Mammadov, E. (2025). technological and ecological evaluation of wind energy potential – Azerbaijan case. Collection of Scientific Papers «ΛΌГОΣ», (June 6, 2025; Bologna, Italy), 262–271. https://doi.org/10.36074/logos-06.06.2025.052

19. Bakhshaliev V. I., Aslan-ZADA F., Ismail I.A. Development of innovative methods of fuzzy logic for increase of durability and reliability of piston machines used in oil and gas industry //ICSCCW–2013. – 2013. – C. 101.

A MULTI CRITERIA AHP FRAMEWORK FOR HYBRID RENEWABLE SUPPLY IN SUBURBAN CONTEXTS

Petrovski A.A., Hashimov E.G.
Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan
Akhundov R.G.
National Defense University, Baku Azerbaijan

The article proposes a sequential and multi-criteria framework for the techno-economic and environmental assessment of a hybrid energy system composed of solar, wind, and biomass for suburban consumption profiles. In context, Azerbaijan targets an increase in the share of renewables in installed capacity to 30 percent by 2030, the Garadagh solar power plant is operational, the Khizi-Absheron wind project is being implemented in phases, and offshore wind roadmaps for the Caspian confirm high potential. With 2400-3200 hours of annual sunshine and 1500-2000 $kWh \cdot m^{-2}$ of surface solar radiation for a typical meteorological year, and with plans for an additional 2 GW of capacity by 2027, hybrid systems emerge as a significant alternative for energy security, natural gas savings, and carbon emissions reduction. This study presents a methodological design that combines hybrid architecture, multi-criteria evaluation based on the Analytic Hierarchy Process AHP, and optimization along the Pareto frontier.

The system architecture integrates a photovoltaic field, a 3-5 MW wind cluster, a modular biomass unit, and a battery storage system through an Energy Management System EMS. In the multi-criteria evaluation, the criteria of cost, emissions, flexibility, local impact, land footprint, and resource criticality are weighted using AHP. The normalized weight vector is obtained from a pairwise comparison matrix, and the consistency ratio is kept below 0.1, which ensures logical coherence.

The weighting scheme prioritizes cost and emissions as the main determinants, treats flexibility and local impact as mid-level criteria, and considers land footprint and resource criticality as design constraints. The resulting weight profile defines the Pareto frontier that characterizes the cost-emission compromise and enables measurement of the sensitivity of management decisions. In a year-long simulation with a 15-minute time step, PV output is modeled as a function of plane-of-array irradiance and temperature, wind power is modeled from wind speed distributions and turbine power curves, and the biomass module is modeled using lower heating value and conversion efficiency. Energy balance, generation limits, SOC bounds, biomass supply elasticity, and life-cycle inventory constraints enter the optimization problem as constraints.

The objective function minimizes the levelized cost of energy LCOE and the emission intensity EI with policy-dependent weights. The EMS first ensures operational safety and compliance with grid requirements, then allocates energy flows in line with the cost-emission compromise.

During solar and wind peak hours, excess energy is directed to storage, and the biomass unit provides balancing power during transitional and nighttime intervals,

which preserves battery lifetime through moderate cycling and enhances grid stability.

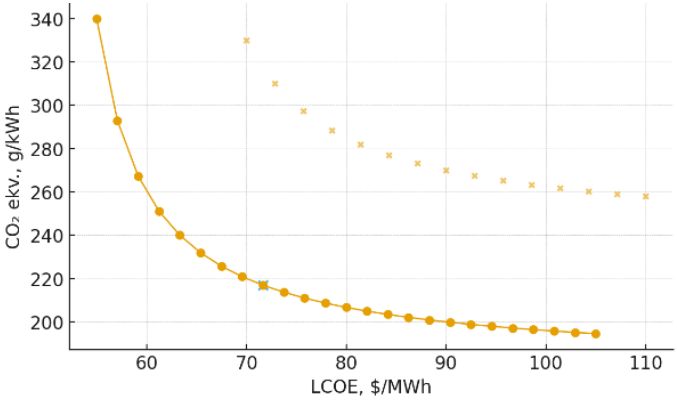


Fig. 1. Cost–emission Pareto frontier with the practical knee region highlighted

The results indicate that daytime peaks are covered more efficiently by PV, while wind power dominates during nighttime and transitional intervals. The flexible operation of the biomass module compensates intermittency and reduces the cycling frequency of the storage system.

On the cost–emission Pareto frontier, a leftward movement requires higher PV and wind shares together with larger storage capacity, whereas a rightward movement lowers upfront capital outlays but weakens climate benefits. The observed knee the “knee point” on the frontier represents a practically optimal compromise, balancing economic efficiency with environmental performance, and it remains stable under small variations in the weights.

Typical 24 hour profiles show daytime charging and evening discharging of the storage system. Maintaining the SOC range within 50 to 95 percent is advisable for both lifetime and grid stability.

Forecast accuracy and operational flexibility supported by digital twins and machine learning can reduce system costs by approximately 12 to 15 percent, while integrating the biomass module with waste management creates both energy and environmental co benefits.

However, land use and logistical constraints make regional clustering necessary to ensure a sustainable feedstock supply.

The overall assessment shows that a hybrid architecture combined with properly sized storage can reduce emissions by 28 to 35 percent and stabilize the energy balance, while AHP and EMS based decision making brings the cost–emission trade off into a transparent and manageable domain. Sensitivity analyses with respect to the policy parameters α and β increase the system’s robustness to uncertainty and allows quantification of how resource variability, especially biomass supply elasticity, affects the energy mix.

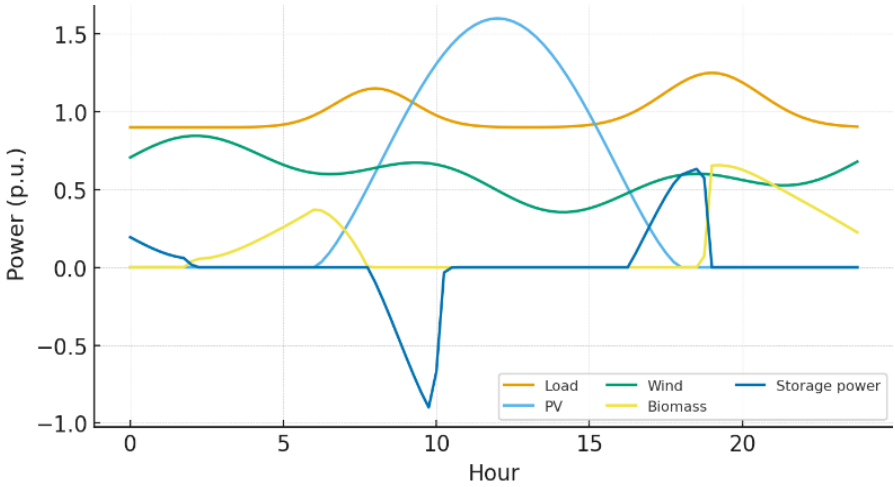


Fig. 2. Twenty-four-hour suburban profile of load, PV, wind, biomass, and storage power at 15-minute resolution

From an applied perspective, the Green Energy Zone approach, digital monitoring, and the early integration of life cycle assessment accelerate project design, facilitate grid integration, and support progress toward regional climate targets.

The results justify, in both scientific and practical terms, the adoption of hybrid renewables as an optimal solution for suburban power supply.

Future work should focus on modeling long duration storage, hydrogen carriers, and cross sector integration to further enhance system resilience and flexibility.

References

1. Suleymanov J. F. et al. Modern approaches to technical safety in oil and gas pipelines. – 2025.

2. Garayev M.F. et al. Wind, sun, and hydroenergy: a look into Azerbaijan's green energy future //Collection of scientific papers «ΛΌГОΣ». – 2025. – №. August 1, 2025; Seoul, South Korea. – С. 125-133.

3. İsmayil, İsmayil. (2025). Security and protection of Azerbaijan’s oil and gas pipelines: cybersecurity and risk management approaches. *Матеріали конференцій МЦНД*, 136–144. https://doi.org/10.62731/mcnd-11.07.2025.004

4. Akhundov, E.F. et al. (2023). Increasing Efficiency of Operation of Shut-Off Valves in Pipelines. *International Organization*.

5. Amanov, Y.K. et al. (2025) Tribological characterization of surface layer hardness and wear resistance under abrasive scratching. International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering, vol.17, N3. p.414-420.

6. Garayev M. F., Hashimov E. G. About one electrical compound as a source of energy //Problems of informatization. Proceedings of 12-th International Scientific and Technical Conference. – 2024. – Т. 3. – С. 117.

7. Garayev, M.F. (2025). The development of renewable energy sources and its impact on Azerbaijan's energy security. *Матеріали конференцій МЦНД*, (25.07.2025; Запоріжжя, Україна), 53–62. https://doi.org/10.62731/mcnd-25.07.2025.002

8. İsmayil, İ. (2025). Security and protection of Azerbaijan's oil and gas pipelines: cybersecurity and risk management approaches. *Матеріали конференцій МЦНД*, (11.07.2025; Львів, Україна), 136–144. https://doi.org/10.62731/mcnd-11.07.2025.004

9. Tahirov, R. K. et al. (2024). Environmental aspects of information technology implementation. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 138–139).

10. Kovtun, A. V. et al. (2025). Techno-economic assessment of a hybrid solar, wind, and biomass system for suburban power supply. In *The driving force of science and trends in its development.* pp. 112–119. https://doi.org/10.36074/scientia-17.10.2025

11. Jabrayilov, A. et al. (2025). Digital technologies and artificial intelligence in the management of environmental safety in the army. In *Current directions of development of information and communication technologies and control tools.* (Vol. 1, pp. 110-111).

12. Ismayil, I. et al. (2025). Optimization of composite material selection in the design of military UAV wings. İn *Scientific review of the actual events, achievements and problems*. pp. 107–115. https://doi.org/10.36074/scientia-03.10.2025

13. Islamov, I. et al. (2025). Hybrid communication models for UAV swarms: Towards scalable and energy-aware network optimization. İn *Scientific guidelines: Theory and practice of research.* pp. 185–195. https://doi.org/10.62731/mcnd-03.10.2025

14. Tabunenko, V. et al. (2025). The dynamics of UAV flight integrated with route planning. In *Modern tools and methods of scientific investigations.* pp. 46–56. https://doi.org/10.36074/scientia-10.10.2025

15. Babayev, S. et al. (2025). The impact of unmanned aerial vehicles on the strategy and tactics of modern warfare. In *Modern tools and methods of scientific investigations.* pp. 28–36. https://doi.org/10.36074/scientia-10.10.2025

16. İvanchenko, O. V. et al. (2025). Technical aspects of wind energy production. In *Global perspectives on multidisciplinary research: Theory and practice.* pp. 65–72. https://doi.org/10.36074/scientia-24.10.2025

17. İskhandarov, X. et al. (2025). Artificial intelligence in logistics operations. In *Topical issues of science development: Proceedings of the VI International Scientific Conference* (pp. 433–442). https://doi.org/10.62731/mcnd-31.10.2025

18. Elnur K., Hashimov E. V-Model for Air Defense Systems //Modeling, Control and Information Technologies: Proceedings of International scientific and practical conference. – 2023. – №. 6. – С. 46-49.

19. Talibov, A. M. et al. (2025). Application of biotechnology to mitigate the consequences of radiological and chemical contamination. *İn Current directions of development of information and communication technologies and control tools*, *1*, 86-87.

20. Mammadov, E. (2025). technological and ecological evaluation of wind energy potential – Azerbaijan case. Collection of Scientific Papers «ΛΟΓΟΣ», (June 6, 2025; Bologna, Italy), 262–271. https://doi.org/10.36074/logos-06.06.2025.052

21. Bakhshaliev V. I., Aslan-ZADA F., Ismail I.A. Development of innovative methods of fuzzy logic for increase of durability and reliability of piston machines used in oil and gas industry //ICSCCW–2013. – 2013. – С. 101.

GIS-BASED EVALUATION OF ROAD TRAFFIC EMISSIONS AND SUBSTANTIATION OF CONTROL MEASURES

Sadiqli A.B., Hashimov E.G.
Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan
Akhundov R.G.
National Defense University, Baku Azerbaijan
Talibov A.M.
İnstitute of Control Systems, Baku Azerbaijan

This study evaluates the impacts of motor vehicles in Baku on the atmosphere, soil, and surface waters through an ecological risk lens, identifies a pollutant profile comprising CO, NOx, HC, PM10, PM2.5, and heavy metals, and models the functional relationship between the size of the vehicle fleet and annual CO_2 emissions.

The issue is topical because rapid motorization, insufficient technical inspection oversight, and variability in fuel quality are degrading urban air quality indicators in large metropolitan areas.

The objective is to present a unified methodological framework to support evidence-based decision-making.

The methodology rests on three pillars. First, the database. Indicators for 2010 to 2024 were compiled from the annual reports of the State Statistical Committee and the Ministry of Ecology and Natural Resources, as well as WHO and IEA sources. Second, the emission model. Road CO_2 release E was estimated using the empirical formula

$$E = N \cdot F \cdot k,$$

where N is the number of vehicles, F is average fuel consumption in liters per 100 km, and k is the emission factor per liter of fuel (k=2,31 kg CO_2/L for gasoline).

Based on this model, annual CO_2 volumes were calculated and their growth rates analyzed as a time series.

Third, spatial analyses. In ArcGIS, layers were built from road network density, approximate traffic flow intensity, and fuel mix; PM_{10} and NO_2 point measurements were surface interpolated using inverse distance weighting

$$\hat{z}(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^{n} d(x_0, x_i)^{-p}\, z(x_i)}{\sum_{i=1}^{n} d(x_0, x_i)^{-p}},$$

and mapped in the WGS 84 UTM 38N coordinate system. An Integral Emission Index for CO, NO_x, and PM_{10} was normalized to the [0,1] range and classified into low, medium, and high:

$$\mathrm{IEI} = \sum_{p} w_p\, I_p\,, I_p = \min(1, \frac{c_p}{\mathrm{MPC}_p}), \sum_{p} w_p = 1.$$

In parallel, multiple regression was used to assess statistical relationships between pollution indicators and density, fuel type, and vehicle age,

$$y = \beta_0 + \beta_1 \rho + \beta_2 \,\mathrm{Fuel}_{\mathrm{diesel}} + \beta_3 \,\mathrm{Age} + \varepsilon,$$

with correlation coefficients $r \geq 0.78$ found to be significant.

The results show that high-emission red zones form at the intersection of Heydar Aliyev Avenue and Ziya Bunyadov Avenue, along segments of Tbilisi Avenue, and along the Seaside Highway. Densely populated areas of Yasamal and Khatai districts exhibit medium-risk yellow zones, while peripheral areas are characterized by relatively low-risk green zones (figure). Under a linear approximation, an average passenger car emits about 2.5 tons of CO_2 per year. When the fleet grows by 100 thousand units, annual CO_2 volume increases by approximately 0.23 million tons. Critical factors such as fuel type, engine technology, average distance traveled, congestion duration, and seasonality can introduce nonlinearity, indicating the need for future calibration. The Integral Ecological Risk Index was computed as

$$\mathrm{IERI} = \sum_i \left(\frac{c_i}{\mathrm{MPC}_i}\right) w_i, \sum_i w_i = 1,$$

and the resulting map showed high classes along central arterials, confirming a strong proportional dependence between traffic load and risk.

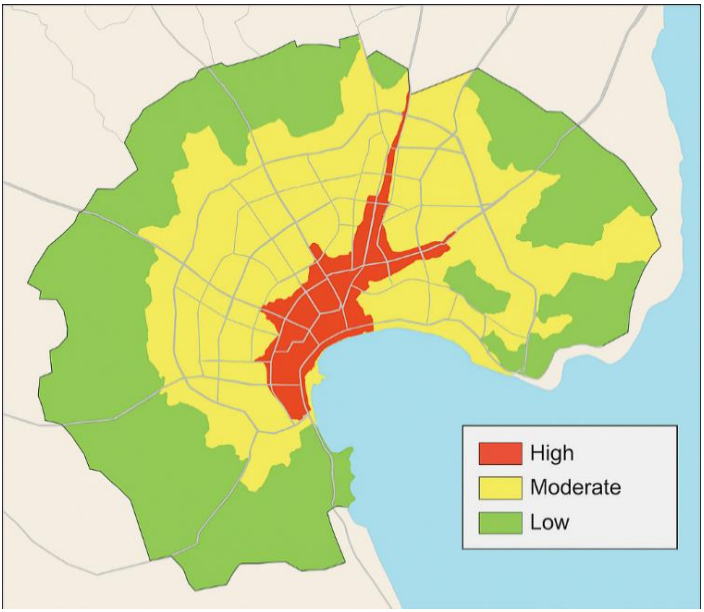


Fig. 1. GIS map of vehicle emissions across Baku city (model-based)

The discussion highlights several applied directions. In red zones, priority bus lanes and selective lane allocation can reduce congestion and the share of idling combustion. In yellow zones, park-and-ride schemes and route optimization support risk mitigation. In green zones, preserving ecological corridors should be considered as planning constraints for new residential developments. Strengthening technical inspection, enforcing fuel quality control, incentivizing hybrid and electric vehicles, expanding cycling infrastructure, and increasing the share of public transport are system measures that can bend the emission trajectory. From a health perspective, the photochemical smog-forming potential of NOx and VOC mixtures increases the burden of respiratory disease, creating a need for risk maps integrated with epidemiological indicators in urban planning.

In conclusion, managing transport-origin pollution requires the integration of measurable indicators with spatial-analytic tools. The proposed framework is a practical approach that combines observed and modeled indicators to build an evidence base for policy design.

Future work should prioritize local calibration of fuel-specific emission factors, integration of high-frequency congestion data, and field measurements of PM2.5 and NO_2 using mobile stations.

References

1. Jabrayilov, A. R. et al. (2025). Experience of international cooperation in the field of military environmental safety. *Current directions of development of information and communication technologies and control tools* (Vol. 1, pp. 116–117).

2. Jabrayilov, A. R. et al. (2025). Prospects for creating closed ecological life support systems. *Current directions of development of information and communication technologies and control tools* (Vol. 4, pp. 92–93).

3. Talibov A. et al. Optimal placement of logistics centers in the Republic of Azerbaijan //2nd International Conference on Problems of Logistics, Management and Operation in The East-West Transport Corridor (PLMO 2023).–Baku. – 2023. – С. 24-26.

4. İskhandarov, X. et al. (2025). Artificial intelligence in logistics operations. In *Topical issues of science development: Proceedings of the VI International Scientific Conference* (pp. 433–442). https://doi.org/10.62731/mcnd-31.10.2025

5. Mammadov, E. S. et al. (2025). Environmental impact of transportation systems: Challenges and sustainable solutions. In *Scientific review of the actual events, achievements and problems: Proceedings of the V International Scientific and Theoretical Conference* (pp. 120–128). Berlin, Germany: International Center of Scientific Research. https://doi.org/10.36074/scientia-03.10.2025

6. Huseyn-Zada, K. et al. (2025). Spatial patterns of automobile emissions in urban areas: A GIS-based study of Baku. In *Development of scientific thought in the post-industrial society: Modern discourse: Proceedings of the VIII International Scientific Conference* (pp. 170–179). Khmelnytskyi, Ukraine: Ukrlogos Group. https://doi.org/10.62731/mcnd-17.10.2025

7. Salmanov, E. I. et al. (2025). Ways to improve logistical support in the Azerbaijani Army. In *The driving force of science and trends in its development: Collection of scientific papers «SCIENTIA» with proceedings of the IX International Scientific and Theoretical Conference* (pp. 88–95). London, England: International Center of Scientific Research. https://doi.org/10.36074/scientia-17.10.2025

8. Tahirov, R. K. et al. (2024). Environmental aspects of information technology implementation. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 138–139).

9. Babayev, S. et al. (2025). Enhancing operational effectiveness through command and control integration of autonomous robot swarms. *Scientific review of the actual events, achievements and problems: Collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the V International Scientific and Theoretical Conference.* (pp. 75–82). https://doi.org/10.36074/scientia-03.10.2025

10. Islamov, I. et al. (2025). Hybrid communication models for UAV swarms: Towards scalable and energy-aware network optimization. *Scientific guidelines: Theory and practice of research – Proceedings of the VI International Scientific Conference* (Kyiv, Ukraine, October 3, 2025), pp. 185–195. https://doi.org/10.62731/mcnd-03.10.2025

11. Tabunenko, V. et al. (2025). The dynamics of UAV flight integrated with route planning. In *Modern tools and methods of scientific investigations: Proceedings of the VI International Scientific and Theoretical Conference* (pp. 46–56). Antwerp, Belgium: Scientia. https://doi.org/10.36074/scientia-10.10.2025

12. Babayev, S. et al. (2025). The impact of unmanned aerial vehicles on the strategy and tactics of modern warfare. In *Modern tools and methods of scientific investigations: Proceedings of the VI International Scientific and Theoretical Conference* (pp. 28–36). Antwerp, Belgium: Scientia. https://doi.org/10.36074/scientia-10.10.2025

13. Akhundov, R., & Hashimov, E. (2025). Enhancing the efficiency of the military environmental security system through the implementation of advanced technical means. *In Modeling, Control and Information Technologies*, (No. 8, pp. 348–352) https://doi.org/10.31713/MCIT.2025.108

14. Talibov, A.M. et al. (2023, May). Optimal placement of logistics centers in the Republic of Azerbaijan. In *2nd International Conference on Problems of Logistics, Management and Operation in The East-West Transport Corridor*. (pp. 24-26).

15. Akhundov, R., & Hashimov, E. (2025). The impact of new technologies on enhancing the efficiency of armed. *Матеріали конференцій МЦНД*, (13.06. 2025; Луцьк, Україна), 186-195.

16. Talibov, A.M. (2024). Vehicle transport cost calculation method. *In* Current directions of development of information and communication technologies and control tools. (Vol. 2, pp. 3-6).

17. Talibov A. M., Hashimov E. G. Vehicle transport cost calculation method. *İn* Current directions of development of information and communication technologies and control tools. 2024. -p.107.

18. Talibov A. M., Hashimov E. G., Hazarkhanov U. A. Estimation of transport costs in the process of military logistics. *İn* Problems of informatization. Proceedings of 12-th International Scientific and Technical Conference. 2024. Vol. 3. -p.140-141.

19. Babayev, S. M. et al. G. (2024). The impact of new technologies on the progress of military art. In *Proceedings of International Scientific and Practical Conference* (Vol. 6, pp. 54-56).

20. Talibov, A. et al. (2024). Environmental safety of nanomaterials application. In Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference (Vol. 3, pp. 55–56). Baku–Kharkiv–Bielsko-Biala.

21. Akhundov, R., & Hashimov, E. (2025). The impact of new technologies on enhancing the efficiency of armed. *Матеріали конференцій МЦНД*, (13.06. 2025; Луцьк, Україна), 186-195.

GAME THEORY ENABLED MULTI LEVEL LOGISTICS PLANNING

Talibov Ali Aziz
Prague University of Economics and Business, Czech Republic
Akhundov R.G.
National Defense University, Baku Azerbaijan
Hashimov E.G.
Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

The article presents a framework based on operations research for the scientifically grounded improvement of the logistics support model for the Armed Forces of Azerbaijan, taking into account the decisive impact of uninterrupted supply on operational outcomes in modern warfare. The approach formalizes the logistics system as a multi-level network that combines strategic depots, regional centers, unit level warehouses and forward line distribution (Fig. 1). A comparison of military and commercial supply chains shows that in the military environment the main objective is not profit but the maximization of combat readiness, the reduction of shortages and delays, and the inclusion of risk tolerance in the individual stages of planning. On the basis of these arguments the article proposes a three-component toolkit.

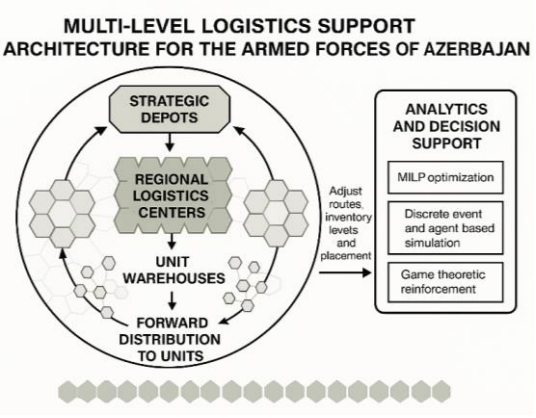


Fig. 1. Operations research based multi-level logistics support architecture for the Armed Forces of Azerbaijan

The first component is a mixed integer linear programming model. This model simultaneously solves decisions on facility location, inventory allocation, routing and inventory level control, and minimizes the risk adjusted total cost under service level and capacity constraints (Figure 2). The second component is a discrete event and agent-based simulation module. It stresses tests supply plans against uncertainties and in scenarios such as road closures, delays, losses, infrastructure damage, technical failures and sharp demand fluctuations it evaluates the on-time service indicator, the convoy load factor, the throughput of warehouses and the adequacy of buffers. The third component is a game theoretical construct that takes into account a contested logistics environment. In the two player model the defending side plans secure and flexible supply across a multimodal network, while the opposing side selects optimal attack strategies to cut this network. The iterative algorithm finds equilibrium strategies and recommends the hardening of routes, the dispersion of stocks, the use of deception measures and the advance planning of alternatives. In a notional test at the scale of Azerbaijan the

optimized spatial configuration of logistics centers reduces transportation distances and empty runs, shortens delivery time and increases the level of supply coverage. The geographical dispersion of reserves mitigates single hub vulnerabilities. Alternative routes, camouflage, the use of decoys and the randomization of schedules lower the probability of interdiction. The model also quantifies the effect of convoy planning synchronized with parking time windows, security escort, route right of way and aerial reconnaissance. In order to increase the visibility of information flows a unified logistics information system, RFID tagging, real time telemetry and warehouse management algorithms are integrated. In inventory level management the classical (Q, R) policy ensures stable service, while the size of the buffer is dynamically adjusted on the basis of simulation results. The formation of multi-source multi-distance flows in the transport network derives the cost time risk balance along the Pareto frontier. Route risk maps combined with CBRN hazards, intelligence data and terrain impose additional constraints on route selection.

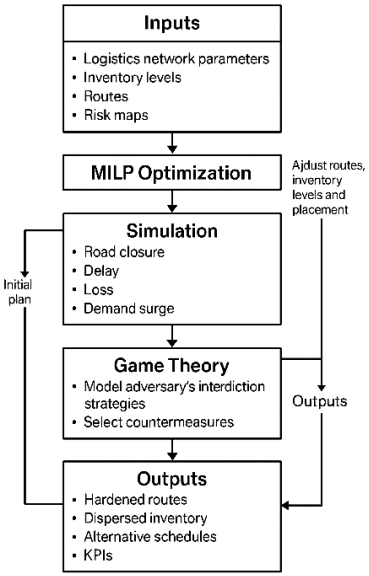


Fig. 2. Simulation and game theory-based evaluation workflow

The applied results show that the cycle between plan and execution is shortened through C2 decision support, the availability indicator of stocks increases, and the resilience of support is preserved despite attack threats. The framework is consistent with NATO interoperability requirements, asset visibility, standardized data formats and audit trails are ensured. The roadmap for implementation proposes a phased transformation. The first phase is the inventory of data, the digitization of the network and the formation of key KPIs. The second phase is the relocation of centers, the standardization of warehouse processes, and the adoption of convoy planning and route optimization. The third phase is the routinization of predictive maintenance analytics, cyber protection measures and game theory based hardening policies. As a result, a scientifically substantiated mechanism is formed for the transition from fragmented practice to a data driven, flexible and resilient logistics architecture. The proposed model preserves the tempo of operations, reduces losses and delays, increases long term operational sustainability and improves the transparency of decision making in national defense logistics.

References

1. İskhandarov, X. et al. (2025). Artificial intelligence in logistics operations. In *Topical issues of science development: Proceedings of the VI International Scientific Conference* (pp. 433–442). https://doi.org/10.62731/mcnd-31.10.2025

2. Salmanov, E. I. et al. (2025). Ways to improve logistical support in the Azerbaijani Army. In *The driving force of science and trends in its development: Collection of scientific papers «SCIENTIA» with pro. of the IX Int. Scientific and Theoretical Conf.*(pp. 88–95). London, England: https://doi.org/10.36074/scientia-17.10.2025

3. Talibov, A.M. et al. (2023, May). Optimal placement of logistics centers in the Republic of Azerbaijan. In *2nd International Conference on Problems of Logistics, Management and Operation in The East-West Transport Corridor*. (pp. 24-26).

4. Talibov A. M., Hashimov E. G. Vehicle transport cost calculation method. *İn* Current directions of development of information and communication technologies and control tools. – 2024. – T. 2. – C. 3-6.

5. Muradova, E. E. et al. (2025). Analytical evaluation of UAV-based logistical operations in contemporary military systems. In *Topical issues of science development: Proceedings of the VI International Scientific Conference* (pp. 351–360). https://doi.org/10.62731/mcnd-31.10.2025

6. Mammadov, E.S. et al. (2025). Environmental impact of transportation systems: Challenges and sustainable solutions. In *Scientific review of the actual events, achievements and problems: Proceedings of the V International Scientific and Theoretical Conference* (pp. 120–128). https://doi.org/10.36074/scientia-03.10.2025

7. Huseyn-Zada, K. et al. (2025). Spatial patterns of automobile emissions in urban areas: A GIS-based study of Baku. In *Development of scientific thought in the post-industrial society: Modern discourse: Proc. of the VIII International Scientific Conference* (pp. 170–179). Khmelnytskyi, Ukraine: Ukrlogos Group. https://doi.org/10.62731/mcnd-17.10.2025

8. Tahirov, R. K. et al. (2024). Environmental aspects of information technology implementation. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 138–139).

9. Ismayil, I. et al. (2025). Optimization of composite material selection in the design of military UAV wings. İn *Scientific review of the actual events, achievements and problems*. pp. 107–115. https://doi.org/10.36074/scientia-03.10.2025

10. Jabrayilov, A. R. et al. (2025). Prospects for creating closed ecological life support systems. İn *Current directions of development of information and communication technologies and control tools* (Vol. 4, pp. 92–93).

11. Garayev, M., & Hashimov, E. (2025). Balancing innovation and sustainability: the ecological risks of modern technologies. *Collection of Scientific Papers «SCIENTIA»*, pp.52–59. Retrieved from https://previous.scientia.report/index.php/archive/article/view/3001

12. Ibrahimov, B. G. (2025). Special purpose machine learning and data mining methods. İn *Current directions of development of information and communication technologies and control tools.*

13. Piriyev, H.K. et al. (2016). Modelling of the battle operations. *Monografiya, Herbi Nashriat", Baku.–2017*.

14. Garayev, M. et al. (2025). Wind, sun, and hydroenergy: a look into Azerbaijan's green energy future. *Collection of Scientific Papers «ΛΟΓΟΣ»*, 125–133.

15. İsmayil, İsmayil. (2025). Security and protection of Azerbaijan's oil and gas pipelines: cybersecurity and risk management approaches. *Матеріали конференцій МЦНД*, 136–144. https://doi.org/10.62731/mcnd-11.07.2025.004

16. Akhundov, E.F. et al. (2023). Increasing Efficiency of Operation of Shut-Off Valves in Pipelines. *International Organization*.

17. Talibov A.M. et al.. Estimation of transport costs in the process of military logistics / Current directions of development of information and communication technologies and control tools. Vol. 1: sections 1,5. 2025. -pp.78-79

V-MODEL APPLICATION IN OIL PIPELINE PROTECTION: RISK-ORIENTED INTEGRATION AND TEST STRATEGIES ACROSS THE LIFECYCLE

İsmayil İ., Akhundov R.G.
National Defense University, Baku Azerbaijan
Hashimov E.G.
Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

Oil and gas pipelines are critical infrastructure assets that ensure safe transport over long distances. In these systems, risks such as leakage, corrosion, mechanical damage, and the human factor directly affect human health and the environment and can also lead to substantial economic losses. The aim of the study is to evaluate, on scientific grounds, the application of the systems engineering V-Model approach in the design, construction, operation, and resilience management of pipeline systems, and to demonstrate how measurable assurance for safety and reliability is established at every stage from requirements through acceptance testing. The hypothesis is that risk management integrated into the V-Model, together with a verification and validation sequence, increases early fault detection and statistically significantly reduces both the probability of leakage and uncertainty in key performance indicators. The methodology consists of two parts. First, a process-oriented analysis: a traceability matrix is built for each of the stages -requirements engineering, system and subsystem design, detailed design, and modular implementation, creating strong end-to-end traceability, and this matrix is bidirectionally linked to the test plans. Second, a risk-oriented test strategy: leak-detection algorithms based on corrosion models, hydrostatic methods, acoustic processing, and mass balance are validated through real-time monitoring of SCADA and field sensors. Additionally, for high priority geozones, test scenarios are aligned with geohazard mapping as well as seismic and landslide scenarios. Results are measured with a KPI set. The key indicators include response time, false positive and false negative rates, localization error of the estimated leak volume, and adherence rate to the planned maintenance interval.

The findings show that when V-Model-based traceability and parallel test phases are applied, more than 60 percent of design errors are detected before entering the implementation phase; the sensitivity of the leak-detection system rises to an AUC level of 0.90 with calibrated acoustic and pressure sensors, while the false-alarm rate decreases by approximately 25 percent compared to the pre-test baseline. Early-stage risk mapping leads, in pessimistic scenarios, to an average 18 percent reduction in the time to incident (lead time). Integrated automation solutions reduce operator workload and accelerate decision cycles through event-driven alerting mechanisms and adaptive thresholding over SCADA. Along the right arm of the V-Model, unified system, subsystem, and module tests make acceptance criteria transparent and create a reusable test library for similar pipeline stations.

The discussion indicates that the V-Model is not merely a documented sequence. This framework requires rendering requirements measurable, tracing safety and environmental requirements alongside functional requirements, and

generating a verification document at every stage. In practical terms, two critical components come to the fore: first, redundancy and the diversity principle for the real-time monitoring architecture; second, multimodal sensor fusion and model-based diagnostics for leak detection. The limitations of the V-Model include coordination of phase transitions in long supply-chain projects, ensuring test discipline across multiple contractors, and rapid adaptation of test scenarios under geological variability. Recommended mitigations for these risks are phase-gate control, KPI-based acceptance criteria, and pre-test simulated acceptance procedures using a digital twin.

In conclusion, the V-Model imposes systematic order on the management of safety and reliability in pipeline projects, ensures early error detection, and reduces leak risk and, consequently, environmental damage. Priorities for future research include online calibration with a digital twin, anomaly detection of leak signals via machine learning, and optimization of adaptive test plans in line with geohazard dynamics.

References

1. Tahirov, R. K. et al. (2024). Environmental aspects of information technology implementation. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 138–139).

2. Kovtun, A. V. et al. (2025). Techno-economic assessment of a hybrid solar, wind, and biomass system for suburban power supply. In *The driving force of science and trends in its development.* pp. 112–119. https://doi.org/10.36074/scientia-17.10.2025

3. Jabrayilov, A. et al. (2025). Digital technologies and artificial intelligence in the management of environmental safety in the army. In *Current directions of development of information and communication technologies and control tools.* (Vol. 1, pp. 110-111).

4. Ismayil, I. et al. (2025). Optimization of composite material selection in the design of military UAV wings. İn *Scientific review of the actual events, achievements and problems*. pp. 107–115. https://doi.org/10.36074/scientia-03.10.2025

5. Islamov, I. et al. (2025). Hybrid communication models for UAV swarms: Towards scalable and energy-aware network optimization. İn *Scientific guidelines: Theory and practice of research.* pp. 185–195. https://doi.org/10.62731/mcnd-03.10.2025

6. Tabunenko, V. et al. (2025). The dynamics of UAV flight integrated with route planning. In *Modern tools and methods of scientific investigations.* pp. 46–56. https://doi.org/10.36074/scientia-10.10.2025

7. Babayev, S. et al. (2025). The impact of unmanned aerial vehicles on the strategy and tactics of modern warfare. In *Modern tools and methods of scientific investigations.* pp. 28–36. https://doi.org/10.36074/scientia-10.10.2025

8. İvanchenko, O. V. et al. (2025). Technical aspects of wind energy production. In *Global perspectives on multidisciplinary research: Theory and practice.* pp. 65–72. https://doi.org/10.36074/scientia-24.10.2025

9. İskhandarov, X. et al. (2025). Artificial intelligence in logistics operations. In *Topical issues of science development: Proceedings of the VI International Scientific Conference* (pp. 433–442). https://doi.org/10.62731/mcnd-31.10.2025

10. Elnur K., Hashimov E. V-Model for Air Defense Systems //Modeling, Control and Information Technologies: Proceedings of International scientific and practical conference. – 2023. – №. 6. – С. 46-49.

MODELİNG AND EFFECTIVE USE OF WATER RESOURCES OF THE KARABAKH AND EAST ZANGEZUR ECONOMIC REGIONS

Mamedov İ.G.,
Institute of Control Systems, Baku; Sumgait State University, Sumgait, Azerbaijan
Gasanov A.G., Huseynov A.G., Abdullayeva A.J.
National Defense University, Baku, Azerbaijan
Hasanli R.A.
Sumqait State University, Sumqait, Azerbaijan

Rational use of water resources and hydropower potential of the Karabakh and East Zangezur economic regions of the Azerbaijan will be ensured through the introduction of "smart water" systems. The construction of 28 hydroelectric power plants will be completed, the hydropower potential of surface waters will be assessed and hydroelectric power plants will be built, the compact power plant will be created, including taking into account the capabilities of water management facilities. An assessment will be made of the possibilities for health, coastal and water tourism, further improvement of the supply of drinking water to the population, meeting the needs of agricultural areas for irrigation water and the efficient use of water resources potential, which will allow for inter-basin water transfer. Thus, more than 300 thousand hectares of land in economic regions will be provided with irrigation water. According to the State Statistics Committee for 2022, 94.1 percent of the population has permanent access to drinking water sources, and 34.4 percent to wastewater disposal systems. The water needs of 69.6% of households across the country are met by the centralized water supply system. The level of metering of drinking water consumption in areas with a drinking water supply network is 88%.To provide the population with drinking water, the country requires 28.4 cubic meters per second (894 million cubic meters per year).However, in fact, 21 cubic meters of water per second (662 million cubic meters per year) are supplied to centrally serviced settlements from existing drinking water sources. Due to the current water losses in this area, which amount to 37 percent (7.77 cubic meters/sec), the population consumes 13.23 cubic meters/sec of water, which is 53.5 percent (15.2 cubic meters/sec) less than the regulatory requirements. Let us assume that there is the required amount of water in the reservoir. If the amount of water has increased by m %, then what percentage of water must be used so that the required water supply does not change, i.e. the previous volume of water is preserved.

Solving the problem: For mathematical modeling of the above problem we will use the percentage method of financial mathematics [1-4]. Let's assume that the $x$amount of water in the reservoir increased by m % and was used by n %. Then, according to the problem statement, $(x + \frac{x}{100}.m) - \frac{x+\frac{x}{100}.m}{100} \cdot n = x$. If we cut x back on all sides $1 + \frac{m}{100} - \frac{1+\frac{m}{100}}{100} \cdot n = 1$. If we multiply each side by 100, $m = \left(1 + \frac{m}{100}\right) \cdot n$. In other words, $m = \frac{100+m}{100} \cdot n$ or vice versa $n = \frac{100m}{100+m}$.

Thus, if the required water supply of any volume increases by m % and is used by n %, and where, $n = \frac{100m}{100+m}$. If this condition is accepted, the required water supply will not change. Note that this formula allows us to control the minimum water supply. If we want the minimum water supply to increase regardless of its initial volume, then the following inequality should be satisfied for the percentage of efficient water use: $n \leq \frac{100m}{100+m}$. Moreover, it should also be noted that if we want the minimum water supply not only to remain constant, but also to constantly increase, then we must clearly say that the percentage of water use must be paid for by the following serious inequality: $n < \frac{100m}{100+m}$.

The required water supply in any reservoir if you increase m % and $n = \frac{100m}{100+m}$% when using it, the volume of the required supply of the previous water will remain unchanged. Monitoring water resources and more efficient and economical use of existing water resources is one of the important measures in the context of global climate change. It was in this work that a mathematical model for efficient water use was proposed. If food security is one of the main priorities at the current stage of our country's development, then the first issue in the issue of food security is ensuring the need for water.

Considering that a person can starve for forty days, but cannot do without water for more than three days in the normal rhythm of life.

The article proposes a mathematical model for preserving a minimum supply of water, which is considered the basis of the problem of food security of the country.

The proposed mathematical model of efficient use of water resources allows solving the problem of water security, which is the most important component of food security of the country [5, 6].

References

1. Bayramov, A.A., Gasanov, A.G. (2020). Computer modelling of a very heat resistant Hf6C3N2 for cover of hypersonic flight vehicles. Journal Advanced Information Systems, Vol. 4, No. 4, pp. 23-26.

2. Gasanov, A.G., Bairamov, A.A. (2019). Simulation of the Electronic Structure of Graphene-Polyvinylidene Fluoride Composite Material, Physics of the Solid State, Vol. 61, No. 1, pp. 56–61.

3. Gasanov, A.G. (2018). Solving problems of mathematical modeling of military systems. Textbook. -Baku: Military Publishing House, 120 p.

4. Piriyev G. K. et al. Modelling of the battle operations //Monografiya, Herbi Nashriat", Baku. – 2017.

5. Hasanov A. H. Analysis of the effectivness of communication and automated management systems //Modern directions of development of information and communication technologies and management tools, Abstracts of reports of the 12th Int. Scientific and Technical Conf. – 2022. – T. 1. – p. 1-4.

6. Hashimov E.G. et al. Mathematical modeling of military systems. Textbook. -Baku: Military publishing house, -2018. -266 p.

INVESTİGATİON OF FİNANCİAL RİSK İN COMPUTER SYSTEMS

Mahmudova N.R.
Heydar Aliyev Military Institute, National Defense University, Baku, Azerbaijan

The article provides a systematic analysis of the mechanisms, measurement, and management of financial risks in the environment of computer systems, reframing the classical classification of financial risks in light of the characteristics introduced by information technologies.

The aim of the research is to quantify the interdependencies between credit, interest rate, currency, and lost financial benefit risks and the performance indicators of computer systems, and to present an integrated risk-measurement framework that can be applied in management decisions. The relevance of the problem is substantiated by the fact that, due to digital transformation, a large share of financial flows as well as pricing and settlement processes are conducted on information systems, and that service outages, breaches of data integrity, and latency anomalies have a direct impact on financial outcomes.

As the methodological basis, the probability-impact approach is employed. The basic risk indicator R equals the product P times I, where P is the probability of occurrence and I is the monetary impact if it occurs. For short-term risk assessment, the Value at Risk indicator is applied. VaR is calculated using the parametric delta-normal method, historical simulation, and Monte Carlo techniques, and the results are validated by the Expected Shortfall metric.

For credit risk, probability of default, loss given default, and exposure are simulated jointly. For currency and interest rate risks, scenario-based stress tests and sensitivity analysis are conducted. The role of computer systems is modeled using reliability theory. System availability A is evaluated via mean time between failures and mean time to repair.

Changes in A are perceived as having a monotonic relationship with the VaR level through their effect on transaction volume and liquidity indicators. Breaches of data integrity and confidentiality propagate errors in decision models, which in turn generate additional volatility in credit scoring, interest-margin management, and foreign-exchange operations.

The findings show that each element of the triad known in computer systems as availability, integrity, and confidentiality amplifies the probability and impact of financial risks through different channels. Availability losses delay order execution and reduce trading volume due to service interruptions, thereby creating liquidity gaps and raising VaR. Integrity breaches lead to data distortion, which causes misestimation of default probabilities in credit portfolios, insufficient capitalization requirements, and unexpected losses. Breaches of confidentiality undermine competitive advantage, increase customer churn risk, and result in a decline in long-term cash flows. In interest rate risk, deterioration in latency percentiles within real-time pricing systems compresses margins. In currency risk, desynchronization of reference rates increases adverse slippage in large-volume transactions.

From a management perspective, a hybrid approach is proposed. For the technology layer, recommended controls include geographically distributed backup sites, active-active replication, zero-trust architecture, immutable audit trails, and anomaly detection.

For model governance, MLOps discipline, versioning, reproducibility documentation, and back-testing procedures are identified as core requirements. At the process layer, scenario catalogs, periodic stress-testing schedules, resilience exercises, and synchronized execution of business continuity plans are considered essential.

A KPI set is established for quantitative monitoring. Availability A, latency percentiles, data error rates, VaR, Expected Shortfall, proximity-to-limit indicators, and post-incident recovery time are tracked on a unified dashboard. These dashboards support timely managerial decisions and enable early warning mechanisms for risk.

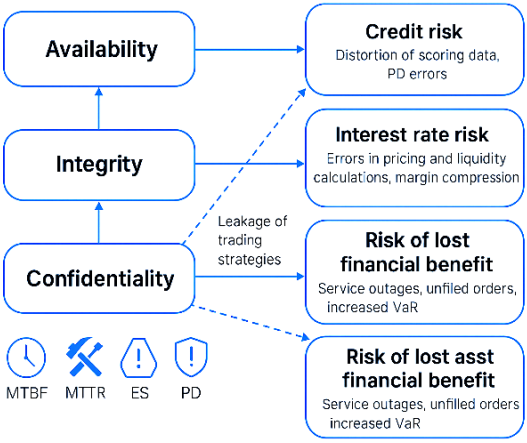


Fig. 1. Relationship between financial risks and the CIA triad in computer systems

The scientific novelty of the study lies in the systematization of quantitative relationships between the reliability metrics of computer systems and financial risk indicators that are useful for practical management. Through these relationships, the effects of small fluctuations in technical variables on financial outcomes can be measured in advance and aligned with risk appetite. The applied value is high for banks, payment and exchange infrastructure operators, e-commerce platforms, and insurance companies. The framework can be integrated with both regulatory requirements and internal risk-limit systems. Limitations include the presence of model risk, uncertainty in the statistical estimation of tail risks for rare events, and data quality issues. Promising directions for future work include building causal structural models, Bayesian updating of indicators at the monitoring level, and agile integration of real-time anomaly detection into decision dashboards.

In conclusion, financial risks are speculative in nature and highly sensitive to the performance of computer systems.

When multi-channel monitoring based on the probability-impact approach, VaR, and stress scenarios is applied together with reliability metrics, the quantification and mitigation of risks become more effective. The proposed framework provides a practical basis for transparent monitoring, agile decision-making, and resilient financial outcomes.

References

1. Hull, J. C. Risk management and financial institutions. 5th Edition. Wiley, 2018.
2. Jorion, P. Financial risk manager handbook. 7th Edition. Wiley, 2019.
3. Alexander, C. Operational risk in financial institutions: Measurement, modelling and management. Palgrave macmillan, 2009.
4. Saunders, A., Cornett, M. M. Financial institutions management: A risk management approach. 9th Edition. McGraw-Hill, 2017.
5. Tahirov, R. K. et al. (2024). Environmental aspects of information technology implementation. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 138–139).
6. İskhandarov, X. et al. (2025). Artificial intelligence in logistics operations. In *Topical issues of science development: Proceedings of the VI International Scientific Conference* (pp. 433–442). https://doi.org/10.62731/mcnd-31.10.2025
7. Mammadov, E. S. et al. (2025). Environmental impact of transportation systems: Challenges and sustainable solutions. In *Scientific review of the actual events, achievements and problems: Proceedings of the V International Scientific and Theoretical Conference* (pp. 120–128). Berlin, Germany. https://doi.org/10.36074/scientia-03.10.2025
8. Hasanov, A.H. (2022). Analysis of the effectivness of communication and automated management systems. In *Modern directions of development of information and communication technologies and management tools,* (Vol. 1, pp. 1-4).
9. Muradova E. E. Modern threats to financial and economic stability. *İn* Current directions of development of information and communication technologies and control tools. 2025. Volume 4: sections 6. -pp.55.
10. Akhundov, E.F. et al. (2023). Increasing Efficiency of Operation of Shut-Off Valves in Pipelines. *International Organization*
11. Piriyev, H.K. et al. (2016). Modelling of the battle operations. *Monografiya, Herbi Nashriat", Baku.–2017.*
12. Mammadov B. Key dutıes of a country's economy related to natıonal defense ın crıtıcal tımes //journal of defense resources management. – 2017. – Т. 8. – №. 1.
13. Talibov A. M. et al. Estimation of transport costs in the process of military logistics. *İn* Current directions of development of information and communication technologies and control tools. Proceedings of 15-th International Scientific and Technical Conference. 2025. Volume 1. -pp.78-79.
14. Garayev, M.F. (2025). The development of renewable energy sources and ıts ımpact on Azerbaıjan's energy securıty. *Матеріали конференцій МЦНД*, (25.07.2025; Запоріжжя, Україна), 53–62. https://doi.org/10.62731/mcnd-25.07.2025.002
15. Muradova E.E., Hashimov E.G. Financial and economic security in the era of global risks. *İn* New technologies - for the protection of air space. – Kh.: KhNUPS named after I. Kozheduba, 2025. - p.717-718.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ МЕТАЛЕВИХ КОЛОН ПРОМИСЛОВ І ИХ БУДІВЕЛЬ

Апенько В.В., Доронін Є.В., Нечипорук В.В.
Державний університет "Київський авіаційний інститут", Київ, Україна

Забезпечення стікості будівельних конструкцій (БК) є основною задачею забезпечення стійкості промислових будівель, зяких вони складаються. І це є осноіною задачею при проектуванні будівель і споруд.

Згідно до вимог пожежної безпеки [1] до стійкості БК в залежнисті від місця хз експлуатації в об'ємно-планувальних рішеннях будівлі висуваються свої вимоги до межі вогнестійкості БК.

Відомо [2], що при впливі температури пожежі на будвельні конструкції виникає зниження міцності магьтеріалу, з якого виготовлена конструкція. Тому при експлуатації необїідно забезпечити БК вимогам відповідних норм

Метою доповіді є: визначення технологічних параметрів та властивостей вогнезахиского матеріалу виконаного на основі золи сміттєспалення та розрахунок межі вогнестійкості розробленого покриття. [3]

Відомо [3], що для забезпечення необхідної межі вогнестійкості використовцються три основні способи вогнезахисту: зміна (модифікація) речовини з метою підвищення температури її спалахування, горіння, уповільнення транспорту горючих компонентів до поверхні; перешкоджання потраплянню окислювача до горючої речовини; запобігання нагріванню поверхні.

В доповіді наведені основні досліджувані склади вогнезахисного матеріалу та стандартними методами визначені його основні властивості.

Встановлено, що для забезпечення надійного захисту металевих БК від впливу високих температур необхідно використовувати вогнезахисний матеріалі зі складом, в якому усі компоненти знаходяться у збалансованому стані і мають актуальні показники за необхідними параметрами такими як: міцність на стискання, середня щільність, загальна пористість та теплоємність.

Для забезпечення межі вогнестійкості металевої колони 3 години достатньо 50 мм покриття

Список літератури

1. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежнаюезпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги Київ : Мінрегіонбуд України, 2017. 38 с.

2. Пушкаренко А. С., Васильченко О. В. Будівельні матеріали та їх поведінка в цмовах високиїтемператур. Харків : АПБУ, 2000. 146 с.

3. Пушкаренко А. С. та ін. Вогнезахисне обробляння будівельних матеріалів і конструкцій. Харків : НУЦЗУ, 2011. 176 с.

ІНФОРМАТИЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ТА БЕЗПЕКОЮ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ НА ОБ'ЄКТАХ ХАРЧУВАННЯ В КОНТЕКСТІ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

Безсонний В.Л.
Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна
Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харків, Україна
Захаров І.П.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Сучасні виклики у сфері цивільного захисту та безпеки населення вимагають перегляду традиційних підходів до функціонування критичної інфраструктури. Заклади ресторанного господарства та об'єкти масового харчування, особливо ті, що залучені до забезпечення життєдіяльності соціальних установ (лікарень, шкіл, пунктів незламності), об'єктивно стають елементами цієї інфраструктури. Їх стабільна та безпечна робота безпосередньо впливає на здоров'я нації та соціальну стабільність. Забезпечення якості та безпеки виробничих процесів у цій галузі виходить за межі комерційного інтересу і стає питанням цивільної безпеки. Традиційні, паперові методи контролю, засновані на періодичних перевірках, демонструють недостатню оперативність та вразливість в умовах кризових ситуацій. Метою доповіді є аналіз ролі та методів інформатизації систем управління якістю та безпекою харчових продуктів на об'єктах харчування як невід'ємної складової загальнодержавної системи цивільного захисту.

Проблематика захисту критичної інфраструктури активно досліджується, зокрема в контексті забезпечення продовольчої безпеки в умовах надзвичайних ситуацій [1]. Одночасно, світова практика демонструє стрімкий розвиток цифрових систем управління безпекою харчових продуктів, зокрема, впровадження цифрових платформ на основі стандартів HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) та ISO 22000 у закладах громадського харчування [2]. Дослідники вивчають потенціал технологій Інтернету речей (IoT) для моніторингу критичних контрольних точок та використання блокчейн-технологій для забезпечення повної простежуваності ланцюгів постачання [3]. Проте, залишається недостатньо дослідженим питання інтеграції цих корпоративних IT-рішень у загальний контур цивільної безпеки та захисту населення від загроз, пов'язаних із харчуванням.

Зв'язок між безпекою харчових продуктів та цивільним захистом є багатогранним. Він охоплює не лише запобігання випадковим біологічним та хімічним забрудненням (спалахи сальмонельозу, ботулізму), але й протидію умисним загрозам, таким як "food defense" (захист продуктів від умисного зараження) та біотероризм. У кризових ситуаціях (воєнний стан, природні чи техногенні катастрофи) порушення у роботі систем водопостачання, енергетики або логістики миттєво підвищують ризики на об'єктах харчування. Саме тут інформатизація стає інструментом превентивного захисту.

Основним напрямом є цифровізація процедур HACCP. Перехід від паперових журналів до цифрових систем дозволяє не лише фіксувати дані, але й автоматично аналізувати їх у режимі реального часу. Впровадження IoT-сенсорів для безперервного моніторингу критичних контрольних точок (ККТ), таких як температурні режими холодильного та теплового обладнання, параметри вологості та часу обробки, мінімізує людський фактор. Це формує перший рівень цифрового захисту. Другим рівнем є впровадження наскрізних систем простежуваності (traceability), що є критично важливим для цивільного захисту.

Інформаційні системи, особливо ті, що базуються на технології блокчейн, дозволяють відстежити весь шлях продукту "від поля до столу" за лічені хвилини [4]. Це дає змогу миттєво локалізувати загрозу, інформувати відповідні служби цивільного захисту та запобігти масовим отруєнням чи поширенню небезпечних агентів. Третій, найвищий рівень інформатизації, полягає в інтеграції даних з об'єктів харчування у єдиний державний моніторинговий центр цивільної безпеки. Агрегація знеособлених даних з тисяч закладів (наприклад, про часті відхилення температури у певних районах через перебої з енергопостачанням, або про надходження скарг на певний тип продукції) дозволяє за допомогою інструментів великих даних (Big Data) та штучного інтелекту виявляти приховані загрози, прогнозувати епідеміологічні ризики та координувати превентивні дії на регіональному чи національному рівні.

Разом з тим, інформатизація створює нові виклики, зокрема у сфері кібербезпеки. "Розумні" холодильники, сенсори та системи управління підключені до мережі, що робить їх потенційними цілями для кібератак. Злам такої системи може призвести до умисного псування продуктів у великих обсягах. Тому розробка та впровадження захищених протоколів передачі даних, систем автентифікації та регулярний аудит кібербезпеки мають стати невід'ємною частиною стратегії інформатизації управління якістю.

Список літератури

1. Крилов, Д. (2023). Проблеми забезпечення продовольчої безпеки України в сучасних умовах. Проблеми сучасних трансформацій. Серія: економіка та управління. 10.54929/2786-5738-2023-7-03-07.

2. Fernández-Segovia, Isabel & Pérez-Llácer, Ana & Peidro, Begoña & Fuentes, Ana. (2014). Implementation of a food safety management system according to ISO 22000 in the food supplement industry: A case study. Food Control. 43. 28–34. 10.1016/j.foodcont.2014.02.042.

3. Kamilaris A., Fonts A., Prenafeta-Boldú F. X. The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains. *Trends in Food Science & Technology*. 2019. Vol. 91. P. 640–652. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.034

IMPLEMENTATION OF EU ECOLOGICAL STANDARDS (EU ECOLABEL, GREEN KEY) FOR INCREASING THE RESILIENCE OF HOSPITALITY FACILITIES AS ELEMENTS OF CIVIL SECURITY

Bezsonnyi V.L.
Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Ukraine
V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine
Tretyakov O.V., Doronin Ye.V.
State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine

In today's conditions of hybrid threats, climate change, and socio-political instability, the traditional perception of hospitality and restaurant businesses solely as part of the tourism industry is incomplete. In crisis situations – during natural disasters, pandemics, technological accidents, or military actions – hotels, food establishments, and recreational complexes instantly transform into key elements of critical infrastructure. They become shelters for internally displaced persons, bases for rescue services, medical personnel, and volunteers, as well as hubs for providing the population's basic needs for food and sanitation [1]. Thus, their operational resilience – the ability to continue functioning despite the disruption of centralized systems – becomes a matter of civil security. However, the hospitality sector is extremely vulnerable due to its high dependence on stable supplies of energy, water, and food. The purpose of this report is to analyze leading EU environmental standards, particularly the EU Ecolabel and Green Key, as instrumental frameworks for enhancing the operational resilience of hospitality facilities, which directly enhances their role in the civil protection system.

Analysis of recent research. Research in the field of crisis management in the hotel business is increasingly focusing on the need to develop comprehensive emergency action plans [2]. Experts emphasize that resilience requires a proactive, rather than reactive, approach, including thorough risk assessment (from supply chain disruptions to cyberattacks) and the development of business continuity protocols [3]. In parallel, the academic community is actively studying mechanisms for sustainable development in tourism. However, in the Ukrainian context, as evidenced by the needs analysis of the "Green Hospitality" (GREEN-HOST) project, awareness of leading European environmental standards remains low. The link between "green" practices and operational resilience in the context of civil security remains an under-researched area. This report aims to partially fill this gap by arguing that environmental certification is a direct investment in security and resilience. At first glance, environmental standards such as the EU Ecolabel and Green Key are aimed at reducing negative environmental impact. Their criteria focus on the rational use of resources, waste minimization, and the use of environmentally friendly substances. However, upon detailed analysis, these criteria prove to be powerful tools for building operational resilience, which is critically important for civil security objects.

First, this concerns energy resilience. The EU Ecolabel criteria require accommodation facilities to significantly reduce energy consumption, use energy-

efficient lighting and equipment, and mandatorily use energy from renewable sources. Similarly, the Green Key standard encourages the installation of automatic energy consumption control systems and investment in own-generation (e.g., solar panels). For a civil protection system, this means that a certified hotel has a significantly lower dependence on the centralized power grid. In conditions of blackouts caused by military actions or natural disasters, such a facility can sustain life-supporting operations (heating, communication, kitchen equipment) for the needs of the population and rescue services for much longer.

Second is the resilience of water supply and sanitation. Both standards set strict requirements for reducing water consumption: installing aerators, low-flush systems, monitoring leaks, and, ideally, rainwater harvesting systems for technical needs. In a crisis situation where the centralized water supply is damaged, a facility with such systems can provide basic sanitary needs for much longer, preventing outbreaks of infectious diseases.

This transforms it from a passive consumer into an autonomous hub for maintaining hygiene.

Third is the resilience of supply chains and waste management. Eco-standards encourage waste minimization (especially food waste) and cooperation with local suppliers to reduce the transport footprint. In conditions of disrupted national logistics, the ability to efficiently manage stocks, minimize losses, and rely on short, local supply chains is a decisive factor for food security. A facility that already has established ties with local farmers will be able to organize food for evacuees more promptly.

Thus, the implementation of EU Ecolabel and Green Key standards transforms the hotel's business model from vulnerable (high consumption, long supply chains) to resilient (efficiency, autonomy, localization). This transformation directly correlates with the requirements for critical infrastructure objects. That is why educational initiatives, such as the development of courses "Ecological Practices and Certification in Hospitality" and "Energy Efficiency and Sustainable Resource Management," are not just environmental projects, but also security projects. They equip future managers in the hospitality sector with the competencies needed to manage critical infrastructure facilities in emergency situations.

References

1. What are the best practices for hotel disaster preparedness? *International Hospitality Institute*. URL: https://www.internationalhospitalityinstitute.com/articles/what-are-the-best-practices-for-hotel-disaster-preparedness .

2. Crisis Preparedness: Emergency Response Strategies for Hotels. *Mise En Place*. 2025. 21 May. URL: https://traininghotels.com/2025/05/21/crisis-preparedness-emergency-response-strategies-for-hotels/ .

3. Williams S., B. Building hospitality resilience in an era of escalating natural disasters. *Hotel Business*. 2025. 11 Aug. URL: https://hotelbusiness.com/building-hospitality-resilience-in-an-era-of-escalating-natural-disasters/ .

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА СТІЙКІСТЬ РОБОТИ ПІДПРИЄМСТВ

Чміль О.К., Доронін Є.В., Макаров В.І.
Державний університет “Київський авіаційний інститут”, Київ, Україна

Забезпечення стійкості роботи об'єктів критичної інфраструктури є одним з основних факторів забезпечення безпеки держави.

Однак не можена забувати про те, шо на усіх підприємствах України основними силами виробництва є люди, забезпечення безпечних умов роботи яких є основою стікості виробничого процесу і виробнитва в цілому, тому створення безпечних умов роботи для працівників підприєства єневідємлімою задачею кожного роботодавця. Відсутність професійних захворювань і травматизму на варобництві є запорукою стійкості роботи будь-якого підприємства, установи, закладу тощо.

Метою доповіді є: визначення взаємозв'язку між охороною праці і стійкості роботи підприємства.

В доповіді наведені основні досліджувані параметри виробництва, що розглядається, шкідливі та небезпечні фактори, що впливають на працездатність та здоров'я людини під час виконання нею професійних обов'язків.

Так, в резудьтаті аналізу умов праці були означені наступні шкідливі та небезпчніфактори: мікроклімат, електричні поля й випромінювання, вісокий рівень виробничих шумів, недостатнє природне або штучне освітлення; тяжкість роботи, яка представлена обсягом фізичних зусиль, навантаженням на опорно-руховий апарат; інтенсивність праці, яка представлена навантаженням на центральну нервову систему, органи чуття, психологічний стан робочого [1, 2].

Встановлено, що для забезпечення стійкої роботи відприємства необхідно визначитися з такими умовами праці, які б відповідали вимогам нормативнохправових і нормативно-технічних документів, які дозволяють мінімізувати відхилення від діючих норм і створити нормальні умови праці для робітників

Список літератури

1. Про затвердження Державних санітарних норм та правил "Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу". Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 248 від 08.04.2014. URL:https://ips.ligazakon.net/document/RE25249. *Дата звернення 01.11.2025 р.)

2. Третьяков О. В., Доронін Є. В. Пономаренко Р. В., Безсонний В. Л. Основи охорони праці : Підручник. Харків :ТОВ “Пданета-Принт”, 2020. 588 с.

ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ НАФТОПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ЗА РАХУНОК ПІДВИЩЕННЯ СТАНУ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ

Доронін Є.В., Пилипчук В.П.
Державний університет "Київський авіаційний інститут",
Київ, Україна

Об'єкти нафтопереробної промисловості (НПЗ, термінали, резервуарні парки, трубопроводи) є критично важливими для енергетичної та економічної безпеки держави.

Їхня стійкість визначає безперебійність роботи економіки та оборонного сектора.

При цьому об'єкти нафтопереробної промисловості є високопожежонебезпечними через наявність горючих рідин, парів, високих температур процесів, тиску, відкритих джерел енергії [3].

Підвищення пожежної безпеки - підвищення загальної стійкості критичної інфраструктури, оскільки зменшується імовірність втрати функціональності навіть за екстремальних умов (НС, атаки, зношування).

Основні фактори, що знижують пожежну стійкість об'єктів НПЗ

1. Горючі речовини: нафта, бензин, газ, легколеткі пари (зона вибухопожежа)
2. Високий тиск і температура у колонних установках
3. Ефект доміно: загоряння одного блоку ініціює згорання сусідніх
4. Зовнішні чинники: диверсії, обстріли, дрони, природні надзвичайні ситуації
5. Зношеність обладнання, корозія, відсутність модернізації
6. Людський фактор: порушення регламентів, помилки персоналу
7. Механізм підвищення стійкості за рахунок пожежної безпеки

Стійкість визначається як здатність об'єкта:

1. витримати негативний вплив (не загорітися / не вибухнути),
2. локалізувати подію (не допустити розповсюдження),
3. швидко відновити роботу [1].

Пожежно-технічні заходи працюють на всіх трьох етапах: усунення джерел займання; локалізація та ліквідація.

Конкретні заходи підвищення пожежної безпеки НПЗ.

Технічні:

- автоматичні системи пожежогасіння статичних і плаваючих резервуарів;
- пінні кільця, охолодження водяними завісами, інертні газові системи;
- вибухозахищене електрообладнання в вибухонебезпечних зонах;
- вогнезахисні покриття металоконструкцій;
- подвійні трубопроводи з сигналізацією витоків;
- розриви між об'єктами для запобігання ефекту доміно;
- протипожежні стіни, екрани, земляні вали;

- виведення із зон ризику АСУТП та пунктів керування;
- підземне розміщення критичних вузлів.

Організаційні:

- регламентні огляди, технічне обслуговування;
- аудит пожежної безпеки, ризик-аналіз (HAZOP, LOPA);
- план локалізації і ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС);
- навчання, тренування, пожежні формування та добровільні дружини.

Захист від цілеспрямованого ураження

1. захисні куполи над резервуарами високого ризику;
2. системи детекції дронів і системи гасіння після атаки;
3. дистанційно-керовані лафетні стволи без перебування людей у зоні вогню [2].

Очікуваний результат, що означає “підвищення стійкості” на практиці:
зменшення імовірності загоряння (відмова сценарію на ранній фазі),
зменшення масштабу події (обмеження в межах однієї секції),
зменшення часу простою та збитків,
підвищення живучості об’єкта в умовах обстрілів, забезпечення контролю над аварією без загибелі персоналу,
збереження критичних технологічних вузлів.

Мета доповіді: показати та навести основні принципи захисту НПЗ в Україні під час військового стану та в мирний час.

В доповіді викладені основні принципи підвищення пожежної безпеки на об'єктах нафтопереробної галузі та наведені пожежо-технічні заходи для захисту об’єктів НПЗ.

До цих заходів відносяться:
дотримання протипожежних розривів;
обвалування ємностей з горючими рідинами;
витримування технологічних параметрів зберігання та переробки нафтопродуктів;
утримання в робочому стані систем оповіщення про пожежу та систем пожежогасіннг тощо.

Список літератури

1. ДБН В.1.2-7:2021 "Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека", [Чинний від 2022-09-1]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2022 17 с.

2. Кодекс цивільного захисту України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text. (Дата звернення 01.11.2025 .)

3. Безпека життєдіяльності: навч.посіб. / Демиденко Г.П. Київ : НТУУ «КПІ», 2018. 386 с.

ПРОГНОЗУВАННЯ РЕГЛАМЕНТОВАНИХ РАДІАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ЯРУЖНИХ ХВОСТОСХОВИЩАХ

Пилипенко О.В., Шаломов В.А., Тимченко П.О.
Навчально-науковий інститут «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» УДУНТ, Дніпро, Україна
Доронін Є.В.
Державний університет "Київський авіаційний інститут", Київ, Україна

Вступ. Експлуатація радіаційно-небезпечних об'єктів (РНО), до яких належать хвостосховища колишнього уранового виробництва ВО «Придніпровський хімічний завод» (ВО «ПХЗ»), є складним, технологічно насиченим і відповідальним процесом. Її проведення вимагає постійного дотримання вимог чинних норм радіаційної безпеки [1]. Функціонування таких об'єктів неможливе без ефективної системи фізичного захисту та системи радіаційного спостереження, яка забезпечує систематичний моніторинг хвостосховищ та інших РНО і забезпечує регулярне спостереження за екологічним та радіаційним станом прилеглих територій [2]. Навіть у період стабільного функціонування подібні об'єкти створюють суттєві технічні, організаційні та екологічні виклики, адже залишкові продукти уранового циклу зберігають значну потенційну небезпеку [3]. Тому питання удосконалення методів контролю, аналітичного опрацювання даних і прогнозування радіаційної ситуації на таких територіях є особливо актуальними та науково значущими [4].

Мета і завдання дослідження. Метою цієї роботи є здійснення комплексного радіаційного моніторингу хвостосховищ колишнього уранового виробництва ВО «ПХЗ» і розроблення прогнозних моделей зміни основних радіаційних параметрів з оцінкою рівня радіаційної безпеки на п'ятирічну перспективу. Для досягнення поставленої мети було визначено такі основні завдання:

1. Провести систематичний збір експериментальних даних щодо основних радіаційних характеристик хвостосховищ.
2. Виконати аналітичне опрацювання результатів моніторингу та за допомогою методів математичної екстраполяції визначити прогнозовані значення параметрів на наступні п'ять років.
3. Провести порівняльний аналіз фактичних і розрахункових показників для перевірки достовірності прогнозу та оцінити рівень радіаційної безпеки персоналу РНО.

Матеріали та методи дослідження. Польові спостереження здійснювалися на хвостосховищах ядерно-паливного циклу України, зокрема на промислових майданчиках ВО «ПХЗ». Для дослідження використано комплекс методів [5], а саме:

- статистичну обробку результатів з метою побудови трендів і визначення прогнозних регламентованих радіаційних параметрів (РРП);

- математичне моделювання (метод трикутників, квадратів, кінцевих елементів, графів, матриць, дерево-подій);
- комп'ютерне моделювання із застосуванням програм ANSYS, PYTHON, MCNP, Geant4;
- польові вимірювання рівнів γ-випромінювання за допомогою дозиметрів або дозиметрів-радіометрів.

Результати дослідження. У результаті дослідження отримано розрахункові, прогнозовані та фактичні значення потужності експозиційної дози (ПЕД) та щільності потоку (ЩП) опромінення персоналу, що обслуговує яружні хвостосховища в період 2010÷2025 роки.

Для аналізу динаміки радіаційної ситуації опрацьовано результати натурних практичних вимірювань ПЕД γ-випромінювання, виконаних у 2010–2019 роках. Дослідження охопили три основні ділянки:

дамбу між секціями яружних хвостосховищ довжиною близько 1,5 км близько 20 точок вимірювань із кроком 45÷75 м);

маршрут навколо 1 секції яружного РНО протяжністю приблизно 7,5 км (80 замірів із кроком 75÷100 м).

маршрут навколо 2 секції яружного РНО протяжністю приблизно 8,3 км (100 замірів із кроком 75÷100 м).

Отримані експериментальні дані стали основою для створення прогнозних моделей на 2020–2025 роки з використанням методів екстраполяції та кінцевих елементів.

Результати моделювання засвідчили тенденцію до поступового зниження рівнів ПЕД на більшості ділянок спостереження [6].

Це вказує як на ефективність заходів із забезпечення радіаційної безпеки, так і на природні процеси самоізоляції радіоактивних матеріалів у геологічному середовищі.

У свою чергу, визначивши регламентовані радіаційні параметри за якими здійснювався радіаційний контроль, можна визначити фактичну ефективну дозу опромінення (формула 1):

 (1)

Порівняння прогнозних і фактичних результатів продемонструвало високу збіжність даних — похибка не перевищує 3–5%, що узгоджується з точністю вимірювальної апаратури та допустимими статистичними відхиленнями.

Окрему увагу приділено оцінці РРП і розрахунку сумарної дози опромінення персоналу.

За отриманими результатами, усі показники перебувають у межах допустимих значень, встановлених діючими санітарними нормами [1], а допустиме значення сумарної дози опромінення для різних категорій (формула 2) має свій ліміт на рік (мЗв/рік):

(2)

Розроблені аналітичні моделі дозволяють прогнозувати зміну рівнів забруднення територій і дози опромінення персоналу, що створює основу для подальшої оптимізації системи контролю та планування заходів безпеки.

Таким чином, на підставі комплексного аналізу інструментальних і теоретичних даних доведено можливість точного прогнозування потужності еквівалентної та поглиненої дози на території яружних хвостосховищ, що розташовані на промисловому майданчику «Сухачівське» за період 2010–2020 років.

Прогнозні показники на 2020–2025 роки підтверджені експериментально з похибкою 3–5%. Аналіз даних дозволив оцінити сучасний стан радіаційного забруднення на території промислового майданчика, визначити фактичні та прогнозовані рівні ПЕД, ППД, ЩП, сумарну дозу опромінення персоналу і ступінь забруднення прилеглих зон.

Було виявлено стабілізацію рівнів ПЕД на ряді ділянок, особливо в холодний період року, що пояснюється сезонними коливаннями вологості й температури, які впливають на міграцію радіонуклідів.

Список літератури

1. Основні санітарні правила проти радіаційного захисту України / (ОСПУ) ДСП 6.074.120-01 – Київ: МОЗ. – 2001. - 135 с.

2. ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1-3).

3. ICRP Publication 103 The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.

4. ICRP, 2022. Radiation detriment calculation methodology. ICRP Publication 152. Ann. ICRP 51(3).

5. The effect of external radiation exposure per person depending on his position and anthropometric indicators Pylypenko O., Shalomov V., Strezhekurov Y., Rudenko V., & Tymchenko P. International Scientific and Practical Conference Innovations in Construction and Smart Building Technologies for Comfortable, Energy Efficient and Sustainable Lifestyle (ICSBT 2024) 10 June 2024 E3S Web of Conferences Volume 534, 2024 – 01016. Режим доступа: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453401016.

6. Pylypenko, O., Zelensky, A., Rybalka, K., Kolokhov, V., & Nazha, P. (2025). Express method for determining power of equivalent dose in radiation-contaminated territories of radioactive tailings storage facilities. In Chemical engineering: Ecology and environmental technology. Technology Audit and Production Reserves, 3 (3 (83)), 48–55. https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.331755.

ОРГАНІЗАЦІЯ ПОШУКУ ТА РЯТУВАННЯ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

Федина В.П., Карпенко О.О.
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ, Україна

Пошуково-рятувальне забезпечення (ПРЗ) є невід'ємною складовою авіаційної безпеки та основою стійкості авіаперевезень у разі надзвичайних подій.

Єдині підходи до побудови ПРЗ задають міжнародні акти — Додаток 12 до Конвенції ІКАО та керівництва IAMSAR: вони визначають повноваження і структури, а також підходи до планування пошуку й координації рятувальних дій [1; 2].

Стандартизація процедур дає змогу державним органам і операторам діяти злагоджено в повітрі, на суші та на воді.

Мета доповіді. Підсумувати прикладні принципи організації ПРЗ у цивільній авіації з урахуванням міжнародних норм і українського законодавства, а також показати, як сучасні технології та якісне управління даними скорочують час виявлення події та підвищують шанси на порятунок. Ключові процеси розглянуто крізь призму IAMSAR (насамперед Тому II «Координація місії»): оповіщення, вироблення рішень, планування пошуку, синхронізація сил і підсумковий розбір [2; 3].

Додаток 12 покладає на держави обов'язок створювати й підтримувати служби ПРЗ, окреслювати райони відповідальності (SRR), розподіляти ролі та забезпечувати регулярну підготовку персоналу [1]. Три томи IAMSAR деталізують архітектуру системи, управління місіями та дії безпосередньо в районі інциденту, формуючи спільну мову процедур для авіаційних і морських складових [2; 3].

Реагування зростає по трьох стандартних фазах: INCERFA (невизначеність), ALERFA (тривога) і DETRESFA (лихо). Перехід між фазами визначають за критеріями втрати зв'язку або спостереження, відхилення від плану польоту чи наявності підтверджених ознак лиха; для кожної фази передбачено канали оповіщення, списки розсилок і перелік першочергових дій підрозділів ОПР і ПРЗ [4; 5].

Центральним елементом є рятувально-координаційний центр (RCC/ARCC): він приймає повідомлення, оцінює обстановку, призначає координатора на місці (On-Scene Coordinator) і розподіляє ресурси. На морських подіях діють MRCC або об'єднані JRCC; узгодженість авіаційних і морських процедур забезпечує IAMSAR [2].

На аеродромах першу лінію реагування становлять аварійно-рятувальні та протипожежні підрозділи (RFFS) відповідно до вимог Додатка 14 ІКАО та спеціальних керівництв [6; 7].

Система сповіщення базується на аварійних маяках 406 МГц (ELT/EPIRB/PLB), інтегрованих у супутникову мережу COSPAS–SARSAT. Їх реєстрація в національних і/або міжнародній базах (NBRD/IBRD) надає

координаторам контактні дані та технічні характеристики об’єкта, що зменшує кількість хибних спрацювань і пришвидшує залучення відповідних центрів.

Вибір зон і патернів пошуку (expanding square, sector search, creeping line тощо) визначається останньою відомою точкою, метеоумовами, характером місцевості/акваторії та ймовірнісними моделями дрейфу. Координатор формує комбіноване угруповання (повітря/земля/вода), задає частоти та протоколи зв’язку, правила розподілу висот і секторів, а також ліміти безпеки. У Томі II IAMSAR наведено алгоритми для оцінки ймовірності виявлення й насиченості пошуку [3].

Ефективність ПРЗ забезпечує єдина оперативна картина, що об’єднує плани польоту, останні радіо- та ADS-B/MLAT-треки, метеодані, NOTAM, довідники можливих майданчиків і записи про реєстрацію ELT/EPIRB. Стандартизовані повідомлення (у т.ч. за фазами INCERFA/ALERFA/DETRESFA) пришвидшують узгодження між ОПР, RCC/ARCC і залученими силами; резервні канали та дублювання критичних вузлів підвищують надійність у пікові періоди [5].

До висування проводять динамічну оцінку ризику:

– метеомінімум,

– можливості типів ПС та оснащення,

– актуальні загрози (обстріли, мінні небезпеки, небезпечні речовини),

– наявність майданчиків для посадки й евакуації.

Обмеження тривалості роботи екіпажів, альтернативні маршрути, процедура припинення («abort») і взаємне резервування підрозділів зменшують ризик вторинних інцидентів. Для аеродромів обов’язкове дотримання вимог щодо RFFS (категорія, тактика доступу/гасіння, взаємодія з медслужбами) [6; 7].

Додаток 12 наголошує на постійній підготовці персоналу ПРЗ і регулярних навчаннях, зокрема міжвідомчих та міжнародних — це критично для інцидентів у прикордонних зонах між сусідніми SRR [1]. Командно-штабні й тактико-спеціальні тренування за участі RFFS, поліції, медицини катастроф, оборонних і морських структур відпрацьовують канали зв’язку, передачу координації та сумісність обладнання.

Сучасні RCC/ARCC застосовують ГІС-платформи для картографування і журналювання пошуку, інтегрують ADS-B/MLAT, реєстри маяків і погодні сервіси. Аналітичні модулі допомагають оцінювати ймовірність виявлення з урахуванням рельєфу, погоди та видимості; після місії формуються таймлайни і «уроки», що лягають в основу оновлення SOP та навчальних матеріалів. Усі рішення мають відповідати IAMSAR і національним правилам збереження та розкриття даних [2; 3].

Стаття 114 Повітряного кодексу України визначає засади організації пошуку та рятування, порядок залучення сил, компенсацію витрат і правила евакуації повітряних суден із місця події [8]. Постанова КМУ № 1037 від 14.11.2012 встановлює порядок залучення сил і засобів ПРЗ під час авіаційних подій і надзвичайних ситуацій, регламентуючи координацію та логістику

взаємодії [9]. Інші авіаційні правила узгоджуються з Чиказькою конвенцією та її Додатками.

Після завершення робіт проводять дебрифінг:

порівнюють запланований пошук із фактичним виконанням,

розбирають причини затримок в оповіщенні/розгортанні,

оцінюють взаємодію з RFFS та сусідніми SRR.

Висновки документують та використовують для коригування планів ПРЗ, програм підготовки і процедур інформування родин і ЗМІ.

Системний обмін досвідом між відомствами підвищує загальну готовність [1; 2].

Висновки. Ефективність ПРЗ визначається не стільки масштабом наявних сил, скільки якістю координації, налаштованістю інформаційних процесів і рівнем підготовки персоналу.

Дотримання вимог ІКАО (Annex 12) та IAMSAR, упровадження сучасних технологій (маяки 406 МГц, реєстри, ГІС), міжвідомча злагодженість і чітка національна нормативна база формують систему, здатну оперативно знаходити постраждалих і рятувати життя навіть у складних умовах.

Список літератури

1. ICAO Annex 12: Search and Rescue — міжнародні вимоги до створення та функціонування служб ПРЗ.

2. IAMSAR Manual (Vol. I–III) — узгоджені авіаційно-морські настанови з організації та забезпечення ПРЗ.

3. IAMSAR Manual, Volume II: Mission Coordination (9-те вид., 2022) — практики планування та координації місій.

4. ICAO Emergency Phases — визначення INCERFA/ALERFA/DETRESFA та принципи їх застосування.

5. FAA ATC: Oceanic Emergency Procedures — структура повідомлень і порядок ескалації фаз.

6. Rescue and Fire Fighting Services (RFFS) — роль і вимоги до RFFS згідно з Annex 14, Vol. I.

7. ICAO Annex 14, Volume I — Aerodrome Design and Operations — SARPs для аеродромів і дотичні керівництва.

8. Повітряний кодекс України, ст. 114 — організація пошуку і рятування та залучення сил.

9.Постанова КМУ № 1037 від 14.11.2012 — порядок залучення сил і засобів до робіт з ПРЗ.

ІНТЕГРОВАНЕ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ЯК ЧИННИК ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Кічата Н.М., Третьяков О.В.
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ, Україна

У сучасних умовах підвищеної невизначеності питання інтеграції систем управління ризиками набуває особливого значення. Класичні підходи, що ґрунтуються на роздільному функціонуванні фінансових, технічних та організаційних систем безпеки, не забезпечують належного рівня стійкості об'єктів критичної інфраструктури.

Метою доповіді є розроблення та впровадження інтегрованої моделі управління ризиками, яка сприяє підвищенню ефективності прийняття рішень, зменшенню ймовірності кризових ситуацій, забезпеченню конкурентоспроможності та сталого розвитку підприємств і критичної інфраструктури.

Інтегровані системи управління ризиками дозволяють поєднати стратегічне, операційне та технічне управління у єдину платформу [1]. Основними підходами до інтеграції виступають процесний, системний, стандартний та інноваційний.

Процесний підхід передбачає, що кожен етап діяльності організації супроводжується ідентифікацією ризиків, їх кількісною та якісною оцінкою, визначенням заходів реагування. Це дозволяє інтегрувати управління ризиками у повсякденну діяльність та забезпечувати безперервність виробничих процесів.

Системний підхід розглядає організацію як цілісну систему, де ризики взаємопов'язані а загрози в одному сегменті можуть спричинити каскадні ефекти в інших (наприклад, відмова енергопостачання призводить до збоїв у транспортній або медичній сфері). Реалізація цього підходу потребує побудови комплексної моделі взаємодії між підрозділами, створення єдиних інформаційних платформ та застосування методів сценарного аналізу та прогнозування [2].

Стандартний підхід базується на використанні міжнародних норм і рекомендацій, зокрема ISO 31000:2018 «Менеджмент ризиків.

Принципи й керівні вказівки» та ISO 27005:2018 «Менеджмент ризику інформаційної безпеки», що дозволяє гармонізувати внутрішні процеси з міжнародною практикою, підвищити довіру партнерів та інвесторів.

Інноваційний підхід використовує сучасні технології у процесі індентифікації та моніторингу ризиків - Big Data, штучний інтелект, системи прогнозної аналітики.

Це забезпечує раннє виявлення загроз, автоматизацію процесів оцінювання та моделювання сценаріїв надзвичайних ситуацій.

Для України питання інтегрованого управління ризиками є особливо актуальним у зв'язку з необхідністю підвищення стійкості критичної

інфраструктури (енергетика, транспорт, водопостачання, газові об'єкти).

Системна інтеграція сприятиме:

– зменшенню уразливості інфраструктури до зовнішніх та внутрішніх загроз,

– підвищенню ефективності реагування на кризові ситуації,

– створенню основи для побудови державної політики безпеки відповідно до європейських стандартів.

Інтеграція систем управління ризиками є необхідною умовою підвищення безпеки та конкурентоспроможності підприємств і держави загалом [3].

Найбільш ефективним є поєднання процесного, системного, стандартного та інноваційного підходів у межах єдиної адаптивної моделі управління ризиками, яка буде здатна своєчасно реагувати на нові виклики та загрози.

Запропонована модель базується на поєднанні кількісних і якісних методів оцінювання ризиків, зокрема моделювання на основі нечітких множин, графових структур та системних показників стійкості [4].

Впровадження інтегрованої моделі дає змогу виявляти взаємозалежності між ризиками, прогнозувати каскадні ефекти та формувати адаптивні сценарії реагування.

Її практичне застосування дозволяє оптимізувати управлінські процеси, мінімізувати втрати від надзвичайних ситуацій і забезпечити безперервність функціонування критично важливих об'єктів у мінливих умовах зовнішніх і внутрішніх загроз.

Список літератури

1. Методи, моделі та інформаційні технології оцінювання станів складних об'єктів: монографія / Є. І. Кучеренко, В. Є. Кучеренко, І. С. Глушенкова, І. С. Творошенко. Х.: ХНАМГ, ХНУРЕ, 2012. 278 с.

2. Тарасова К.І. Методологічні засади кількісної оцінки ризиків / К. І. Тарасова // Наукові записки [Національного університету "Острозька академія"]. Економіка. 2013. Вип. 23. С. 367 – 372.

3. Zio, E. Challenges in the vulnerability and risk analysis of critical infrastructures, Reliability Engineering and System Safety, 152, 2016. pp. 137-150.

4. Кічата Н.М., Третьяков О.В., Федина В.П., Доронін Є.В. Методологічний підхід до підвищення безпеки та стійкості об'єктів критичної інфраструктури. Науково-технічний журнал «Техногенно-екологічна безпека», №16 (2/2024). 2024. С.3 – 10. DOI: 10.52363/2522-1892.2024.2.1

СТАН ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВІЙНИ: ОЦІНКА ВИКОНАННЯ ОСНОВНИХ ЗАСАД ДЕРЖАВНОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ПОЛІТИКИ

Коваленко С.Ю., Брук В.В.
Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», Харків, Україна
Пономаренко Р.В.
Інститут наукових досліджень з цивільного захисту Національного університету цивільного захисту України, с. Дмитрівка Київської обл., Україна

Збройна агресія рф проти України спричинила суттєве погіршення стану водних ресурсів України. Серед основних наслідків бойових дій, що створюють загрозу екологічній безпеці водного середовища, виокремлюють три ключові [1]:

– порушення функціонування очисних споруд, які забезпечують очищення міських стічних вод;

– перебої у водопостачанні населення та промислових підприємств, особливо у великих містах;

– пряме механічне й хімічне забруднення поверхневих і підземних вод унаслідок бойових дій.

Варто зазначити, що проблема ефективного управління водними ресурсами в Україні існувала й до початку широкомасштабного вторгнення. Значна частина очисних споруд перебуває у незадовільному технічному стані, обладнання є застарілим і потребує кваліфікованого обслуговування. У період з лютого по вересень 2022 року російські війська неодноразово порушували роботу очисних систем, що призвело до ще більшого загострення екологічної ситуації у сфері водокористування [1].

Згідно з даними Екозагрози збитки, які завдані водним об’єктам внаслідок збройної агресії проти України становлять 117,75 млдр грн., зокрема внаслідок забруднення водних об’єктів – 64,99 млрд. грн., а маса забруднюючих речовин, що потрапили у водні об'єкти складає 47 940 тонн. Шкода внаслідок забруднення морських вод – 8,03 млрд. грн., а маса забруднюючих речовин, що потрапили у морські води 66 802 кг [2].

У зв'язку з вищенаведеним доцільно дослідити вплив збройної агресії рф на ефективність виконання Закону України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» (далі – Закон) з метою перевірки його виконання та розроблення рекомендацій щодо внесення змін до Закону з урахуванням наслідків збройної агресії рф. Оцінка ефективності виконання Закону здійснюється за 30 показниками, з яких через відсутність даних наразі неможливо провести оцінку для 6-ти показників. Для решти показників були побудовані графіки їх часової динаміки, визначено тенденції зміни їх значень та здійснена оцінка значущості тенденцій, що спостерігаються.

Визначення тенденцій та оцінка їх значущості здійснювалися методом лінійного регресійного аналізу.

У доповіді наведено оцінку для показників, що характеризують забруднення водного середовища.

Метою доповіді є проведення оцінки ефективності виконання «Основних засад (стратегій) державної екологічної політики України на період до 2030 року» за попередні періоди, яка здійснювалася за показниками «скиди забруднених стічних вод у водні об'єкти» та «скиди забруднених стічних вод до морського середовища».

Для проведення аналізу динаміки цих показників використано дані статистики досягнення Цілей Сталого розвитку з 2015 по 2023 рік, які представлено на офіційному сайті Sustainable Development Goals для України [3–4]. На рисунках 1 – 2 наведено результати динаміки показників та їх цільові значення для 2025 та 2030 років. У порівнянні з 2015 роком у 2023 році об'єм стічних вод зменшився на 4,64%. За 2024 рік дані наразі відсутні. Окремо розподіл на комунальні, промислові та зворотні води публічно не оприлюднюються.

Цільове значення скидів забруднених стічних вод у водні об'єкти для 2025 року становить 10%, а для 2030 року – 5%. Згідно зі значеннями тренду у 2024 році було досягнуто цільове значення за 2025 рік, проте підтвердити це наразі неможливо у зв'язку з відсутністю даних, а значення за 2030 рік буде досягнуто у 2031 році, якщо у подальшому збережеться тенденція.

Скиди забруднених стічних вод до морського середовища з 2015 року до 2023 року зменшилися на 28,07%. Дані державного обліку водокористування за 2022–2023 роки надаються з урахуванням подання звітності відповідно до норм Закону України «Про захист інтересів суб'єктів подання звітності та інших документів у період дії воєнного стану або стану війни», а також без водокористувачів тимчасово окупованої рф території України. Дані за 2024 рік наразі відсутні.

Цільове значення для 2025 року становить 9%, а для 2030 року – 5%. Наявні дані свідчать, що ці величини вже досягнуто, оскільки з 2019 по 2023 роки скиди забруднення стічних вод до морського середовища становили 0,61 – 1,56%. Тенденція до зменшення скидання зворотних вод обумовлена різким скороченням витрат стічних вод у 2019 р. Проте згідно з відомостями екологічних паспортів Донецької області з 2019 року підприємства-забруднювачі ПрАТ «Металургійний комбінат «Азовсталь»» та ПрАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча» не надають звітність про скиди стічних вод до морського середовища. Це може бути однією з причин такого стрімкого зниження значень скидання.

У зв'язку зі збройною агресією та окупаційними діями рф в Україні частина даних відсутні у відкритому доступі чи взагалі, що, у свою чергу, ускладнює чи унеможливлює здійснити оцінку ефективності виконання основних засад (стратегії) державної екологічної політики за попередні періоди.

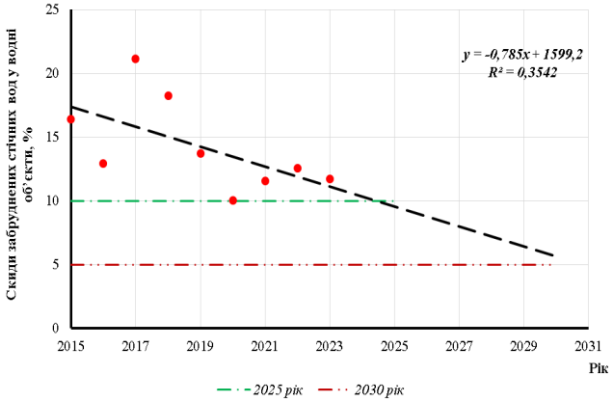


Рисунок 1 – Скиди забруднених стічних вод у водні об'єкти

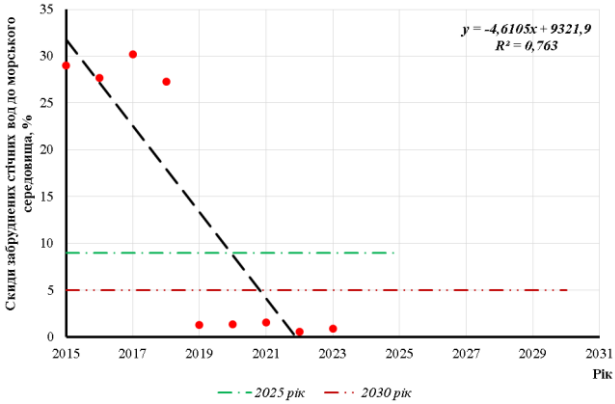


Рисунок 2 – Скиди забруднених стічних вод до морського середовища

Список літератури

1. Наслідки для довкілля війни росії проти України / О. Ангурець та ін. Електронне науково-популярне видання. 2023, с. 84. URL: https://cleanair.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/cleanair.org.ua-war-damages-ua-version-04-low-res.pdf

2. Екозагроза. Офіційний ресурс Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: https://ecozagroza.gov.ua/damage/water

3. Показник 6.3.2. Частка скидів забруднених (забруднених без очистки та недостатньо очищених) стічних вод у водні об'єкти у загальному обсязі скидів, % (за даними офіційної статистики Sustainable Development Goals для України). URL: https://sdg.ukrstat.gov.ua/uk/6-3-2/

4. Показник 14.1.1.Частка скидів забруднених стічних вод у загальному обсязі скидів до морського середовища, % (за даними офіційної статистики Sustainable Development Goals для України). URL: https://sdg.ukrstat.gov.ua/uk/14-1-1

ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Козлітін О.О., Якимець І.В., Ремська А.В.
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ, Україна

Зростання кількості та масштабів надзвичайних ситуацій (НС) потребує впровадження інтелектуальних технологій для підвищення ефективності систем прогнозування та моніторингу. Традиційні методи аналізу не завжди забезпечують достатню точність через складність динамічних процесів та велику кількість взаємозалежних факторів.

Метою доповіді є розроблення та дослідження моделей прогнозування розвитку надзвичайних ситуацій із використанням технологій штучного інтелекту, що дозволяє підвищити достовірність оцінки ризиків, оптимізувати процес прийняття рішень та скоротити час реагування на потенційні загрози.

У роботі представлено результати моделювання із застосуванням нейронних мереж глибокого навчання для аналізу часових та просторових даних.

Розроблена модель здійснює багатофакторний аналіз — поєднуючи метеорологічні, геопросторові та техногенні параметри — і формує прогноз розвитку подій у реальному часі [1].

Отримані результати свідчать, що застосування алгоритмів штучного інтелекту дає змогу значно підвищити якість прогнозів і скоротити похибку порівняно з класичними методами статистичного аналізу. Розроблений підхід придатний для інтеграції в інформаційно-аналітичні системи моніторингу й може бути використаний для побудови інструментів підтримки прийняття рішень на різних рівнях.

Модель демонструє гнучкість, здатність адаптуватися до нових умов і може використовуватися як основа для створення автоматизованих систем підтримки прийняття рішень у сфері безпеки, екології та управління ризиками [2].

Подальший розвиток дослідження передбачає вдосконалення архітектури моделі, розширення наборів даних та підвищення рівня автономності системи для її використання у різних галузях, де важливе своєчасне виявлення потенційних загроз.

Список літератури

1. Даник Ю. О. Кіріченко Д. О. Застосування систем штучного інтелекту для вирішення проблем пожежної безпеки. Механіка та математичні методи. VII/1/2025. С. 152–172. URL: http://mmm-journal.com.ua/journals/13/13.pdf.

2. Деркач К. Ю. Використання штучного інтелекту для прогнозування і попередження надзвичайних ситуацій, Безпека людини у сучасних умовах : зб. доп. 16-ї Міжнар. наук.-метод. конф., 6-7 грудня 2024 р.; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т" [та ін.], 2024. – С. 119-120.

ОПЕРАТИВНИЙ КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Курська Т.М.
Національний університет "Одеська політехніка", Одеса, Україна

Різноманітність технологічних об`єктів стратегічного призначення визначає специфіку умов вимірювання температури, як основного параметра багатьох технологічних процесів. У більшості випадків у процесі вимірювань відбувається втручання в умови теплообміну, які існували в об`єкті перед цим втручанням, тому для забезпечення необхідної прецизійності необхідно мінімізувати наслідки такого втручання. Забезпечення оперативного контролю теплофізичних параметрів технологічних установок, а саме вимірювання температури на об'єктах підвищеного ступеня ризику здійснюється автоматизованими системами термоконтролю. Під час експлуатації існуючих термодатчиків, розташованих у важкодосяжних місцях, наприклад, на АЕС або об'єктах металургії можливе виникнення незворотних змін індивідуальних номінальних статичних характеристик первинних перетворювачів (ПВП), які ставлять під сумнів вірогідність температурних вимірювань [1, 2].

Результати вимірів зумовлюються не лише властивостями реєструвального приладу, але і тим наскільки вдається наблизити температуру датчика до температури вимірюваного середовища. Різниця при цьому і складає помилку вимірів.

Метою доповіді є визначення особливостей вимірювання температури газових потоків та забезпеченню правильного вибору місця установлення відповідних датчиків вимірювання теплофізичних параметрів.

В доповіді наводяться результати вимірювань теплофізичних параметрів в реакторах установок каталітичного риформінгу і гідроочищення нафтопродуктів, які здійснюють за допомогою здійснюють за допомогою перетворювачів термоелектричних типу ТХК-2988 класу допуску 2 та типу ТХА-706-02, класу допуску 2, які застосовують для контролю температури колоснікового і периферійного газів доменного виробництва. Проаналізовані переваги та недоліки методів контактної термометрії при вимірюванні температури газових потоків в умовах експлуатації.

Список літератури

1. Озгович, А. Методи і засоби вимірювання розподілу темератури / А. Озгович, О. Панчук // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2017. – № 78. – С. 34-41.

2. Поліщук, Є.С. Метрологія та вимірювальна техніка : підручник / Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук, В.М. Ванько, Т.Г. Бойко ; за ред. проф.. Є.С. Поліщука. – Львів : Видавництво «Бескид Біт», 2003. – 544 с.

ЗАХИСТ ОБ'ЄКТІВ АВІАЦІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ВІД ТЕРОРИСТИЧНИХ АТАК

Федина В.П., Науменко В.О.
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ, Україна

Оцінювання ризиків терористичних загроз для аеропортів є одним із ключових напрямів у забезпеченні авіаційної безпеки, адже авіаційна інфраструктура належить до об'єктів підвищеної небезпеки. З огляду на зростання кількості терористичних актів у світі та появу новітніх технологій, які можуть бути використані зловмисниками, виникає необхідність у постійному вдосконаленні системи захисту цивільної авіації. Аеропорти являють собою складні технічні комплекси, що обслуговують значну кількість пасажирів і вантажів, тому навіть незначний недолік у системі безпеки може призвести до серйозних наслідків.

Метою доповіді є вивчення систем відеоспостереження як елементів системи безпеки і стійкості підприємств авіаційної інфраструктури.

Ризик у сфері авіаційної безпеки розглядається як поєднання ймовірності виникнення терористичної події та можливих наслідків від її реалізації. За даними Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO), підхід, що базується на ризиках (risk-based approach), є ключовим принципом побудови сучасної системи авіаційної безпеки.

Він передбачає аналіз загроз, виявлення уразливостей об'єктів та визначення ефективних заходів реагування [1]. Однак, як свідчить практика, важливу роль відіграє і людський фактор — рівень підготовленості персоналу, його вміння діяти в надзвичайних ситуаціях та швидко оцінювати потенційні ризики.

В Україні питання оцінки ризиків терористичних загроз у сфері цивільної авіації врегульовані Законом України «Про державну програму авіаційної безпеки цивільної авіації».

Цей документ визначає правові, організаційні та технічні основи запобігання актам незаконного втручання, у тому числі терористичним актам [2].

Кожен аеропорт повинен розробляти та впроваджувати власну систему управління ризиками, що враховує його географічне розташування, обсяг пасажиропотоку, рівень технічного оснащення та можливі загрози. Такі системи мають бути гнучкими й постійно оновлюватися відповідно до актуальних викликів і сучасних тенденцій у сфері протидії тероризму.

Методи оцінювання ризиків у цивільній авіації поділяються на якісні та кількісні.

Якісне оцінювання ґрунтується на експертних висновках і застосуванні матриць ризику, у межах яких кожна потенційна загроза аналізується за ймовірністю виникнення та серйозністю можливих наслідків.

Кількісні методи, своєю чергою, передбачають використання математичних моделей, що дозволяють визначити рівень небезпеки на основі

статистичних даних про попередні події чи інциденти. Дослідження Європейського агентства авіаційної безпеки (EASA) показують, що комбінування обох методів дозволяє створювати більш точні прогнози ризиків і ефективніше розподіляти ресурси безпеки [3].

Однією з найважливіших складових сучасної системи оцінки ризиків є використання цифрових технологій.

Аналітичні системи з елементами штучного інтелекту дозволяють автоматично обробляти великі масиви даних – від відеоспостереження до перевірок багажу та інформації про пасажирів. Це дає змогу не лише виявляти підозрілі дії, а й прогнозувати потенційні загрози.

Водночас, як зазначає Державіус О. В., важливо, щоб цифрові рішення не замінювали людський контроль, а лише посилювали його ефективність [4].

Слід наголосити, що оцінка ризиків не може бути одноразовим заходом. Це безперервний процес, який включає постійний моніторинг, аналіз, оновлення інформаційних баз і адаптацію до нових умов.

Ефективне функціонування системи управління ризиками можливе лише за умови тісної співпраці між авіаційними службами, правоохоронними органами та міжнародними структурами. Важливе значення має також професійна підготовка персоналу – фахівців із безпеки, які володіють сучасними методами аналізу ризиків і мають практичний досвід реагування на надзвичайні ситуації.

Таким чином, ефективна оцінка ризиків терористичних загроз в аеропортах є багатогранним процесом, що поєднує правові, технічні, організаційні та аналітичні складові.

Удосконалення національної нормативної бази, впровадження інноваційних інформаційних технологій і підвищення професійної компетентності працівників сприятимуть зменшенню рівня терористичних загроз і забезпеченню стабільного функціонування авіаційної інфраструктури України.

Список літератури

1. International Civil Aviation Organization (ICAO). Aviation Security Manual (Doc 8973). — Montreal, 2022.

2. Закон України «Про державну програму авіаційної безпеки цивільної авіації» від 21.03.2017 р. № 1965-VIII.

3. European Union Aviation Safety Agency (EASA). Risk Management in Aviation Security. — Cologne, 2021.

4. Державіус О. В. Сучасні підходи до оцінювання ризиків у системі авіаційної безпеки // Вісник НАУ. — 2023. — № 2. — С. 47–54.

ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ПІДПРИЄМСТВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ

Охремчук Д.О., Вальченко О.І.
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ, Україна

Сучасна енергетична інфраструктура України є складною сукупністю технічних систем, що функціонують у режимі підвищених навантажень і характеризуються значною концентрацією пожежонебезпечного обладнання. Підвищення рівня технологічної інтеграції об'єктів енергетики, зокрема електропідстанцій, супроводжується зростанням ризиків займання та аварійних ситуацій. За таких умов традиційні системи протипожежного захисту, побудовані на принципах пасивного контролю, втрачають ефективність, що обумовлює потребу у впровадженні інтелектуальних підходів до управління пожежною безпекою. [1, 2]

Метою дослідження є розроблення концептуальних засад інтелектуалізації системи пожежної безпеки на підприємствах енергетичного комплексу, зокрема на електропідстанціях, для підвищення її адаптивності, надійності та швидкодії реагування на загрози займання.

Інтелектуалізація систем пожежної безпеки передбачає інтеграцію технологій Інтернету речей, штучного інтелекту, машинного навчання та аналітики великих даних у процеси моніторингу та управління. У межах електропідстанцій така система може включати сенсори диму, температури, струму, газів і вібрацій, які формують єдину інформаційну мережу з безперервною передачею даних у центр управління безпекою. [3]

На основі зібраних даних штучний інтелект здійснює прогнозування можливих осередків займання за допомогою алгоритмів виявлення відхилень у роботі електрообладнання.

У разі виявлення потенційної небезпеки система може автоматично активувати локальні засоби пожежогасіння, ініціювати аварійне відключення обладнання або сповістити персонал через інтегровану диспетчерську мережу.

Ключовою перевагою інтелектуальних систем є перехід від реактивного підходу (реагування на вже виявлену пожежу) до прогностичного управління ризиками.

Такий підхід дозволяє мінімізувати людський фактор, зменшити час реагування та запобігти ескалації аварійних процесів. Крім того, аналітичні модулі дають змогу оцінювати ефективність застосованих заходів, адаптувати алгоритми до конкретних технологічних умов і створювати базу знань для подальшого удосконалення системи.

Розроблення інтелектуалізованих систем пожежної безпеки на електропідстанціях передбачає врахування особливостей технологічних процесів енергетичних підприємств, а також вимог чинних нормативних документів у сфері пожежної безпеки.

Важливою складовою є формування інформаційно-аналітичної платформи, що забезпечує взаємодію між технічними засобами контролю,

автоматизованими системами управління технологічними процесами та службами цивільного захисту.

Запровадження таких систем створює передумови для формування єдиного цифрового контуру безпеки енергетичної галузі, де пожежна безпека стає частиною загальної стратегії цифрової трансформації критичної інфраструктури. У перспективі розвиток інтелектуалізованих систем пожежного захисту може стати базою для побудови національної платформи моніторингу техногенної безпеки.

Інтелектуалізація систем пожежної безпеки є стратегічним напрямом підвищення надійності енергетичних підприємств. Використання сучасних інформаційних технологій забезпечує підвищення рівня прогнозування пожежонебезпечних ситуацій, оперативності реагування та мінімізацію збитків. Подальші дослідження мають бути спрямовані на математичне моделювання процесів займання, створення адаптивних алгоритмів управління пожежогасінням та інтеграцію систем моніторингу у структуру національної енергетичної безпеки.

Запровадження інтелектуалізованої системи на електропідстанції доцільно виконувати як багаторівневу архітектуру: польовий рівень (багатодатчикові пожежні сповіщувачі, тепловізійний контроль шин і силових трансформаторів, газоаналіз у розподільних установках та в обладнанні з масляними діелектриками), рівень периферійних обчислень для попереднього аналізу сигналів і відсіювання завад у реальному часі та центральний рівень з обчислювальним центром, програмними засобами аналізу даних і підсистемою підтримки прийняття рішень. Така побудова забезпечує стійкість до відмов, зменшення затримок передавання даних і сумісність з автоматизованими системами управління технологічними процесами, дозволяє реалізувати сценарії автоматизованого реагування (селективне відключення секцій, локалізація осередку загоряння, запуск модулів автоматичного пожежогасіння) та вимагає періодичних випробувань і калібрування датчиків, резервування електроживлення і каналів зв’язку, а також захисту інформаційних каналів між підсистемами моніторингу і диспетчерськими пунктами.

Список літератури

1. NFPA 850: Recommended Practice for Fire Protection for Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations. National Fire Protection Association, 2020.

2. Гаврилюк В. О., Кузик М. П. Системи протипожежного захисту на енергетичних підприємствах: сучасний стан та тенденції розвитку. Журнал Пожежна безпека, 2022, с. 15–21.

3. ISO 7240-29:2017. Fire detection and alarm systems — Multi-sensor fire detectors.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ З ВИКОРИСТАННЯМ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ

Паращанов В.Г., Доронін Є.В.
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ, Україна

Забезпечення стійкості об’єктів критичної інфраструктури передбачає впровадження надійних систем резервного та альтернативного енергопостачання, що дозволяють підтримувати безперебійну роботу у разі надзвичайних ситуацій або відключень централізованих мереж. Одним із ефективних рішень є використання альтернативних джерел енергії — таких як сонячні, вітрові установки, біоенергетичні системи та когенераційні установки (CHP), які одночасно виробляють електроенергію та теплову енергію з високим коефіцієнтом корисної дії.

Когенерація дозволяє значно підвищити енергоефективність і зменшити залежність від зовнішніх постачальників, забезпечуючи локальне енергопостачання для лікарень, водоканалів, комунікаційних вузлів, об’єктів оборони та інших критично важливих структур. Поєднання когенераційних систем з відновлюваними джерелами енергії створює гібридні енергокомплекси, здатні забезпечити енергетичну автономність, надійність та екологічну безпечність.[1].

Забезпечення стійкості об’єктів критичної інфраструктури є одним із ключових завдань національної безпеки та енергетичної незалежності держави.

До таких об’єктів належать енергетичні, транспортні, комунальні, медичні, інформаційно-комунікаційні, водопостачальні та інші системи, безперервна робота яких є життєво важливою для суспільства та економіки [2, 3].

В умовах зростання загроз — як техногенних, так і воєнних — особливої актуальності набуває створення стійких систем енергопостачання, здатних функціонувати автономно під час аварій, відключень або руйнування центральних енергетичних мереж. Одним із ефективних напрямів є використання альтернативних джерел енергопостачання та когенераційних технологій [3].

До альтернативних джерел енергопостачання належать:

- Сонячні електростанції (СЕС) — забезпечують виробництво електроенергії з енергії сонця;
- Вітрові електростанції (ВЕС) — ефективні в регіонах із достатнім рівнем вітрової активності;
- Біоенергетичні установки — використовують біомасу або біогаз для отримання електроенергії й тепла;
- Малі гідроелектростанції — забезпечують стабільне локальне енергопостачання;

- Акумулюючі системи (батарейні та гібридні) — дозволяють зберігати енергію та використовувати її у періоди пікових навантажень або відключень [4].

Використання цих джерел сприяє підвищенню енергетичної автономності, зменшенню викидів парникових газів і диверсифікації енергобалансу, що підвищує загальну стійкість інфраструктури.

Когенерація (CHP – Combined Heat and Power) — це технологія одночасного виробництва електричної та теплової енергії з одного виду палива [3]:

– природний газ,
– біогаз,
– дизель,
– відходи виробництва тощо).

Когенераційні установки можуть працювати як автономно, так і у складі гібридних енергетичних систем, поєднуючись із сонячними, вітровими або біоенергетичними джерелами. Це забезпечує створення малої локальної енергосистеми (мікромережі), здатної підтримувати роботу об’єкта в ізольованому режимі [1].

Мета доповіді: доповісти про використання альтернативних джерел енергопостачання у поєднанні з когенераційними установками, що є стратегічно важливим напрямом підвищення стійкості, надійності та ефективності функціонування об’єктів критичної інфраструктури.

Такий підхід дозволяє створити гнучкі та автономні енергетичні системи, здатні працювати в умовах будь-яких зовнішніх впливів і забезпечувати безперебійне постачання енергії для життєво важливих сфер суспільства.

Список літератури

1. Когенерація. URL : https://www.kts-eng.com/solutions/kogeneraciya/ (дата звернення 20є10.2025 р.)

Закон України “Про критичну інфраструктуру” URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20#Text (дата звернення 22.10.2025 р.)

2. Деякі питання об'єктів критичної інфраструктури. Постанова Кабінету Міністрів України № 1109 від 09.10.2020 р. URL:https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1109-2020-%D0%BF#Text/ (дата звернення 22.10.2025 р.)

3. Альтернативна енергетика/ Малишев В. В. та ін: конспект лекцій. Київ:Університет Україна. 2020. 60 с.

ЛЮДСЬКИЙ ФАКТОР ЯК ЕЛЕМЕНТ СТІЙКОСТІ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Прохоров Ю.Р., Вальченко О.І.
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ, Україна

Стійкість критичної інфраструктури України, зокрема залізничного транспорту, є однією з фундаментальних умов обороноздатності та життєздатності держави в умовах повномасштабної війни. Якщо технічні аспекти захисту інфраструктури активно досліджуються, то роль "людської ланки" часто залишається недооціненою, хоча саме від ефективності та надійності персоналу залежить реальне функціонування систем. Працівники залізниці діють під впливом екстремальних факторів: пряма фізична загроза життю під час виконання службових обов'язків на об’єктах, що є потенційними цілями ударів; хронічне психологічне виснаження через постійні повітряні тривоги, обстріли та втрати; а також значна інтенсифікація робочих процесів через необхідність забезпечення військової логістики, масових евакуаційних рейсів та оперативної адаптації до зруйнованих маршрутів [1]. Ці умови перетворюють персонал на потенційно вразливий елемент системи, де помилки, викликані втомою, стресом чи недостатньою підготовкою до нових викликів, можуть мати каскадні негативні наслідки. Наслідки таких помилок, зумовлених людським фактором, не є абстрактними. Це конкретні операційні збої: помилкові дії диспетчера через когнітивне перенавантаження можуть призвести до збою графіків руху або аварійних ситуацій; порушення протоколів безпеки ремонтною бригадою через стрес може спричинити технічну відмову інфраструктури; неправильне управління натовпом з боку персоналу вокзалу в стані паніки може призвести до давки та травмування пасажирів в укриттях.

Метою доповіді є підкреслення критичної важливості людського фактору в загальній системі стійкості критичної інфраструктури та представлення методичного підходу до його системної оцінки для превентивного управління відповідними ризиками в кризових умовах.

Забезпечення стійкості критичної інфраструктури вимагає комплексного, системного підходу, що інтегрує технічні, організаційні та людські аспекти [2]. Недооцінка останнього може нівелювати ефективність значних інвестицій у фізичний захист чи кібербезпеку. Тому пропонується методика оцінки вразливості, пов’язаної саме з персоналом, на основі набору ключових індикаторів, які можна згрупувати за напрямками: кадрове забезпечення, професійна, психосоціальна стійкість, та організаційна взаємодія. Запропонована методика передбачає використання стандартизованої шкали для експертного оцінювання цих індикаторів (з можливим залученням як внутрішніх фахівців, так і зовнішніх експертів з безпеки та психології праці) та їх подальшу агрегацію у зважений показник. Такий підхід дозволяє отримати об'єктивну кількісну міру вразливості, зумовлену саме станом людського капіталу, та відстежувати її динаміку. Обґрунтування вибору цих

груп індикаторів є критичним. "Кадрове забезпечення" аналізується через ризики дефіциту унікальних фахівців (диспетчерів, машиністів), що виникає внаслідок мобілізації та міграції. "Професійна стійкість" оцінює не лише базову кваліфікацію, але й готовність персоналу до специфічних воєнних сценаріїв, до яких стандартні інструкції їх не готували. "Психосоціальна стійкість" є ключовою, оскільки хронічний стрес напряму погіршує когнітивні функції та швидкість реакції. "Організаційна взаємодія" є життєво важливою, оскільки чіткі протоколи комунікації та координації першими руйнуються в умовах хаосу, призводячи до неправильних дій.

Аналіз функціонування транспортної системи під час війни [3] та загальні принципи управління людським фактором [1] свідчать, що високий рівень стресу, мобілізація частини персоналу та вимушена міграція кваліфікованих кадрів створюють значні ризики для операційної стійкості. Ймовірність помилок в ухваленні рішень диспетчерами, порушення правил безпеки ремонтними бригадами, зниження уваги машиністами – все це може зростати, а час реагування на інциденти – збільшуватись. Тому управління ризиками, пов'язаними з людським фактором, потребує проактивних, а не лише реактивних заходів.

До них належать: створення багаторівневої системи психологічної підтримки (від груп самодопомоги до професійних консультацій) та програм посттравматичної реабілітації; регулярне проведення максимально реалістичних тренувань, що моделюють специфічні для війни сценарії (наприклад, робота під час обстрілу, дії при пошкодженні інфраструктури); впровадження гнучких та адаптивних графіків роботи з обов’язковими періодами відновлення; активне формування кадрового резерву через програми прискореної підготовки та наставництва, можливо, із залученням ветеранів.

Комплексна робота з персоналом є невід'ємною частиною стратегії забезпечення безперервності функціонування критичної інфраструктури [4] та підвищення загальної обороноздатності держави.

Список літератури

1. Human Factors in Safety-Critical Systems / Ed. by T. Kontogiannis, C. Malakis. CRC Press, 2021. 384 p.

2. Закон України «Про критичну інфраструктуру» від 16.11.2021 № 1882-IX // Відомості Верховної Ради України. – 2022. № 2. ст. 11.

3. Ukraine: Rapid Damage and Needs Assessment. World Bank Group, Government of Ukraine, European Commission, United Nations. February 2023. – P. 136-141.

4. ISO 22301:2019. Security and resilience — Business continuity management systems, Requirements. International Organization for Standardization. – 2019.

ЗАХОДИ ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Федина В.П., Ремська А.В., Ярема М.Р.
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ, Україна

Енергетична інфраструктура є надзвичайно критичною для забезпечення життєво важливих функцій у будь якій державі. У той же час цей сектор є дуже вразливим до впливів природного, техногенного та військового характеру. Особливо наглядно це спостерігається в Україні після вторгнення російських військ в лютому 2022 р.

Порушення функціонування критичної енергетичної інфраструктури може безпосередньо вплинути на безпеку та стійкість інших секторів критичної інфраструктури, громадську безпеку, функціонування економіки та на національну безпеку загалом [1].

Метою доповіді є аналіз досвіду забезпечення стійкості енергетичної інфраструктури на законодавчому та організаційному рівнях у таких країнах як США, Велика Британія та країнах Євросоюзу.

Базуючись на досвіді найбільш розвинених країн світу в Україні формується своя законодавча база для забезпечення стійкості об’єктів критичної інфраструктури в цілому і об’єктів енергетичної інфраструктури окремо [2].

Досвід фахівців енергетичної інфраструктури, які ліквідовують наслідки атак на об’єкти КІ, у створенні форм координації діяльності на випадок кризової ситуації дав можливість створити у 2023 р. загальнодержавний

Координаційний штаб оперативного реагування з метою сприяння координації діяльності центральних та місцевих органів виконавчої влади, а також інших державних органів, органів місцевого самоврядування, суб’єктів господарювання всіх форм власності (за згодою) з питань оперативного реагування та забезпечення створення нормальних умов життєдіяльності населення під час обмеження та/або припинення постачання електричної енергії125, та доручив місцевим органам виконавчої влади створити подібні штаби на місцевому рівні [1].

Список літератури

1. Суходоля О. М. Стійкість критичної енергетичної інфраструктури та життєдіяльності громад : аналіт. доп. Київ : НІСД, 2024. 160 с. – https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2024.04

2. Резнікова О. О. Національна стійкість в умовах мінливого безпекового середовища : монографія. Київ : НІСД, 2022. 532 с.

ОЦІНКА Й РАНЖУВАННЯ НЕБЕЗПЕК ПРИ ГАСІННІ ПОЖЕЖ СЛУЖБОВЦЯМИ ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ НА ОСНОВІ МАТРИЧНОГО РИЗИК-ОРІЄНТОВАНОГО МЕТОДУ

Сєріков Я.О.
Харківський національний університет міського господарства
ім. О.М. Бекетова, Харків, Україна

За даними «Міжнародної асоціації пожежників» професія пожежного за ступенем шкідливого впливу факторів робочої зони на організм та рівнем небезпеки займає одне з перших місць серед інших професій. особливістю роботи пожежних під час гасіння пожеж є наявність екстремальних умов праці при виконанні завдань. При цьому екстремальність проявляється в негативній дії комплексу наступних основних негативних виробничих факторів [4]: - потужні теплові потоки, тобто підвищена температура повітря й підвищений рівень випромінювання теплової енергії; - висока задимленість повітря, значні концентрації шкідливих хімічних речовин (чадний газ СО, продукти горіння різних матеріалів, тверді пиловидні частинки); - підвищені рівні шуму й вібрації, що надходять від працюючих пожежних машин і обладнання; - високий рівень нервово-психічного напруження, пов'язаного зі значним ступенем відповідальності за прийняті тактичні рішення й кінцевий результат завдання з гасіння пожежі;

На додаток до цього на організм таких осіб діють і психічно-емоціональні перевантаження [1].

Очевидно, що так як рівень впливу перерахованих вище *тільки основних* негативних факторів є високим, тому такі умови праці можуть бути причиною формування професійних захворювань різного типу. До основних, найбільш поширених захворювань відносяться [5, 6]:

- хронічні захворювання серцево-судинної системи;
- захворювання органів дихання;
– захворювання кістково-м’язової системи;
– гострі нервово-психічні розлади внаслідок значного нервового перенапруження;
– онкологічні захворювання, що обумовлюється канцерогенною дією таких речовин як фосген, діоксин, бенз-а-пірен.

При цьому, в наслідок дії небезпечних факторів при таких пожежах загинуло 1 309 осіб і 1 612 отримали травми. Порівняно з 2023 р. кількість загиблих за 11 міс. 2024 р. збільшилася на 4,6%, а кількість травмованих на пожежах - на 16,7 %.

Матричний ризик-орієнтований метод є поширеним у розрізі вирішення прикладних задач, стосовно оцінювання ризиків травмування, профзахворювання працівників на установах, підприємствах, організаціях [14, 15]. Він заснований на кількісній оцінці (визначенні) рівня ризику ушкодження здоров’я працівника через такі основні два параметри: - ймовірність виникнення (P); - тяжкість наслідків (S).

В таблиці представлена матриця й ранжування небезпек, діючих на пожежних при гасінні пожежі.

Таблиця – Ранжування небезпек, діючих на пожежних при гасінні пожежі

№ з/п	Небезпечний чи шкідливий виробничий фактор	Ймовірність (P)	Серйозність (S)	Вплив (E)	Рівень ризику (R)
1	Висока концентрація диму, токсичних продуктів горіння в повітрі робочої зони, контакт з технологічними речовинами	5	5	5	125
2	Висока температура повітря робочої зони, ІЧ- випромінювання	5	5	4	100
3	Психоемоційні перевантаження. Посттравматичний стрес	5	5	4	100
4	Підвищена напруга в електричному ланцюзі	3	5	4	60
5	Підвищений рівень шуму та вібрації від обладнання	5	3	3	45

Список літератури

1. Гігієнічна оцінка умов праці пожежних. – Режим доступу: https://oppb.com.ua/articles/gigiyenichna-ocinka-umov-praci-pozhezhnyh

2. Drew E Gonzalez, Sarah N Lanham, Steven E Martin , Richard E Cleveland, Thad E Wilson, Emily L Langford, Mark G Abel "Firefighter Health: A Review of Occupational Hazards and Countermeasures» / Healthcare. 12(4) :44008.02.2024. Basel. – Access mode: DOI: 10.3390/healthcare12040440

3. Woo-Ri Lee, Haejong Lee, Eun Woo Nam, Jin-Won Noh, Jin-Ha Yoon, Ki-Bong Yoo «Comparison of the risks of occupational diseases, avoidable hospitalization, and all-cause deaths between firefighters and non-firefighters: A cohort study using national health insurance claims data» / Front Public Health, 2023, Jan 16;10. – Access mode: DOI:: 10.3389/fpubh.2022.1070023

4. Sara Alves, Josiana Vaz, Adília Fernandes «Occupational health of firefighters: a systematic review» / International Symposium on Occupational Safety and Hygiene (SHO'23), pp. 56-66. – Access mode: doi.org/10.24840/978-989-54863-4-2_0056-0066

ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ШЛЯХОМ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ПРОЯВУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ПОДІЙ

Третьяков О.В., Ремська А.В.
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ, Україна

Стійке функціонування енергетичної інфраструктури є одним із головних чинників національної безпеки держави. Порушення роботи енергетичних об'єктів призводить до збоїв у системах життєзабезпечення, транспорту, зв'язку та оборони. В умовах зростання техногенних ризиків, кібератак, екстремальних погодних явищ і воєнних загроз актуальним є створення ефективних механізмів оцінки та управління ризиками небезпечних подій для енергетичних систем.

Метою доповіді є розроблення підходу до підвищення безпеки енергетичних об'єктів на основі системної оцінки ризику та управління ризиками потенційних загроз, що враховує технічні, організаційні й інформаційні аспекти стійкості інфраструктури.

У роботі проаналізовано чинники, які впливають на зниження надійності функціонування енергетичних систем, зокрема: фізичні ушкодження обладнання, порушення ланцюгів постачання, несанкціоновані втручання, а також зовнішні природні фактори. Для визначення ступеня небезпеки запропоновано використовувати ризик-орієнтований підхід, що базується на методах кількісного оцінювання ймовірності реалізації загроз та прогнозування їх наслідків [1].

У доповіді наведено результати аналізу вразливості окремих елементів енергетичної інфраструктури з використанням сучасних цифрових технологій моніторингу та ранжування ризиків відповідно до їх визначених рівнів. Отримані результати свідчать, що впровадження комплексної системи управління ризиками дозволяє підвищити рівень захищеності енергетичних об'єктів, скоротити час відновлення після аварійних подій і забезпечити безперервність енергопостачання критичних споживачів [2]. Такий підхід може бути застосований для розроблення місцевих і секторальних програм підвищення безпеки і стійкості об'єктів критичної інфраструктури.

Список літератури

1. Визначення та класифікація загроз енергетичній безпеці України в сучасних умовах військових викликів / Y. Kliat та ін. Journal of Scientific Papers «Social Development and Security». 2024. Т. 14, № 2. С. 272–285. URL: https://doi.org/10.33445/sds.2024.14.2.22

2. Khomik M., Matsko P. Системні передумови оцінювання загроз для об'єктів критичної енергетичної інфраструктури в умовах збройного протистояння в Україні. Journal of Scientific Papers «Social Development and Security». 2024. Т. 14, № 5. С. 191–201. URL: https://doi.org/10.33445/sds.2024.14.5.19

УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ВНУТРІШНІХ ЗАГРОЗ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Третьяков О.В.
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ, Україна

Ризик визначається як можливість навмисного або ненавмисного заподіяння шкоди організації шляхом неналежного використання її ресурсів особою, яка має до них авторизований доступ. Під доступом мається на увазі як фізичний, так і віртуальний доступ, а ресурси включають інформацію, процеси, системи та обладнання [1].

Метою доповіді є розроблення підходу до оцінки ризику внутрішніх загроз та можливих шляхів управління ними задля підвищення безпеки і стійкості об'єктів критичної інфраструктури.

У роботі проаналізовани інциденти з безпекою з наявним наміром заподіяти шкоду, спричинені інсайдерами, які можуть виникати різними способами:

насильство або загрозу насильства інших працівників;

саботаж (умисне пошкодження обладнання або розкриття конфіденційної інформації);

крадіжка ресурсів, конфіденційних даних або інтелектуальної власності організації задля отримання особистої вигоди;

промислове шпигунство;

шахрайські дії з метою отримання особистої вигоди [2].

У доповіді наведено основні індикатори виявлення внутрішніх ризиків, в яких відіграють роль як люди, так і технології.

Ключова умова – визначити межі норми поведінки, що дозволить легше виявляти незвичні дії.

До основних індикаторів віднесено:

1. зміни в діях користувача (колеги, керівники та партнери здатні помітити зміни в поведінці схильного до ризику інсайдера, який має на меті спричинити інцидент із безпекою даних);
2. послідовність пов'язаних ризикованих дій з конфеденційними даними, матеріалами тощо;
3. аномальний доступ до системи (потенційні внутрішні ризики можуть починатися з того, що користувачі отримують доступ до ресурсів, які зазвичай не потрібні їм для роботи);
4. перевищення повноважень доступу без чіткого ділового обґрунтування;
5. аномальна ексфільтрація даних (користувач раптово ділиться незвично великим обсягом конфіденційних даних або завантажує його);
6. ексфільтрація даних, яка зростає разом зі звільненнями та може бути як навмисною, так і ненавмисною;
7. погрози, переслідування або дискримінації співробітників.

Цілісна програма керування внутрішніми ризиками, яка визначає пріоритетність відносин між працівниками та роботодавцем та інтегрує елементи керування конфіденційністю, може зменшити кількість потенційних внутрішніх інцидентів із безпекою, і прискорити їх виявлення.

Нещодавнє дослідження, проведене корпорацією Майкрософт, виявило, що компанії з цілісною програмою керування внутрішніми ризиками на 33% частіше швидко виявляють ризики витоку інсайдерської інформації, та на 16% частіше швидко усувають такі ризики, ніж компанії з більш фрагментарним підходом.

Організації можуть цілісно підходити до боротьби із внутрішніми ризиками, зосереджуючи увагу на процесах, людях, інструментах та освіті.

Створення довіри серед працівників починається з визначення їхньої конфіденційності пріоритетом. необхідно впровадити багаторівневий процес затвердження для ініціювання внутрішніх розслідувань, щоб сприяти створенню відчуття комфорту за допомогою програми керування внутрішніми ризиками. Важливо перевіряти дії тих, хто проводить розслідування, щоб переконатися, що вони не перевищують свої повноваження. Збереженню конфіденційності також сприятиме упровадження елементів керування доступом на основі ролей для обмеження кількості членів команди безпеки, які можуть отримати доступ до даних розслідування. Знеособлення імен користувачів під час розслідувань може додатково захистити конфіденційність працівників.

ІТ-відділи та відділи безпеки повинні нести основну відповідальність за керування внутрішніми ризиками, але важливо залучати до цих зусиль усіх працівників компанії. Відділи кадрів, юридичні відділи відіграють важливу роль у визначенні політик, спілкуванні із зацікавленими сторонами та прийнятті рішень під час розслідування. Щоб розробити більш комплексну та ефективну програму керування внутрішніми ризиками, організаціям слід залучити до цього процесу співробітників, що представляють усі напрямки діяльності компанії.

Працівники відіграють важливу роль у запобіганні інцидентів із безпекою, що робить їх першою лінією захисту. Щоб захистити ресурси компанії, потрібна підтримка всіх працівників, що, у свою чергу, підвищує безпеку організації в цілому.

Одним із найефективніших способів забезпечення підтримки всіх працівників є навчання. Навчаючи працівників, можна зменшити кількість ненавмисних інцидентів внутрішніх ризиків. Важливо роз’яснювати, як інциденти внутрішньої безпеки можуть вплинути на компанію, та її працівників.

Крім того, дуже важливо обговорювати політики захисту даних і навчати працівників уникати потенційного витоку даних.

Позитивні стримувальні фактори, такі як події, спрямовані на підвищення морального стану працівників, ретельний інструктаж, постійне навчання та тренування з безпеки даних, ефективний зворотний зв’язок та програми з

балансу роботи та особистого життя можуть зменшити ймовірність внутрішніх ризиків.

Залучаючи працівників у ефективний і проактивний спосіб, позитивні стримувальні фактори усувають джерела ризику та сприяють розвитку культури безпеки в організації.

Ефективний захист організації від внутрішніх ризиків вимагає не лише впровадження найкращих інструментів безпеки; але й інтегрованих рішень, які забезпечують видимість і захист на рівні підприємства. Інтегровані рішення з керування безпекою даних, ідентичністю та доступом, розширеного виявлення та реагування (XDR), а також керування захистом інформації (SIEM) дозволяють командам безпеки ефективно виявляти та попереджати інциденти внутрішньої безпеки.

Для сучасного робочого місця характерними є динамічні ризики безпеки з різними факторами, що постійно змінюються. Це ускладнює виявлення й реагування на них.

Втім, організації можуть миттєво виявляти та зменшувати внутрішні ризики завдяки використанню машинного навчання та штучного інтелекту, забезпечуючи адаптивну та орієнтовану на людей безпеку. Ця передова технологія допомагає організаціям зрозуміти, як користувачі взаємодіють із даними, обчислюють і призначають рівні ризиків, а також автоматично налаштовують відповідні елементи керування безпекою.

За допомогою цих інструментів організації можуть оптимізувати процес виявлення потенційних ризиків і визначити пріоритети використання своїх обмежених ресурсів для запобігання діям з внутрішніми ризиками високого ступеню. Це заощаджує цінний час для команд безпеки та посилює безпеку даних.

Захиститися від внутрішніх загроз може бути складно, оскільки природно довіряти тим, хто працює в організації та разом з нею.

Швидка ідентифікація найкритичніших внутрішніх ризиків та визначення пріоритетів використання ресурсів для розслідування та усунення цих ризиків вкрай важливі для зменшення впливу потенційних інцидентів і порушень безпеки.

Список літератури

1. Герасименко О. М. Моделювання системи забезпечення кадрової безпеки суб'єкта господарювання. *Актуальні проблеми економіки*. 2012. № 2. С. 118–124.

2. Панченко В. А. Схематика дій інсайдерів у системі кадрової без пеки суб'єктів господарювання. *Підприємництво і торгівля*. 2018. Вип. 22. С. 101-107.

СТІЙКІСТЬ ОБ'ЄКТІВ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ. ПОВІТРЯНИЙ ТРАНСПОРТ

Васильчишина А.С., Канцелярук О.С, Доронін Є.В.
Державний університет "Київський авіаційний інститут" , Київ, Україна

Транспортна інфраструктура України достатньо складна й разгалужена. Воеа складається з низки транспортних систем: наземної, водної, повітряної, газонафтотранспортної, енергетичної. Кожен підвид траспортної системи має безліч об'єктів, які впливають на стійкість роботи кожної з систем. Вихід з ладу одного з елементів систми здатно суттєво вплинути на роботц системи в цілому. Так, подкодження злітної смуги або вихід з ладу її обладнання здатні перешкодити нормальній роботі аеропорту. Тому забезпечення штатної роботи об'єктів транспортної інфрасруктури є актуальною задачею, особливо в умовах сьогодення.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є визначення слабких сторін в роботі повітряної транспортної системи та розробка заходів, які дозволять підвищити ступінь її захисту та забезпечити стійку роботу усіх об'єктів.

В доповіді викладені основні структурні елементи аеропортів: аеровокзал, злітна смуга та її обладнання, диспетчерські служби, ремонтні служби, склади авіаційного палива, об'єкти протипожежної служби: депо, місця розміщення чергових караулів тощо.

В плані правового поля безпека роботи повітряного транворту забезпечена Повітряним кодексом України [1], національною транспортною стратегією України на період до 2030 р [2] тощо.

До початку повномасштабного розвитку не приділялося в достатній мірі уваги до стійкої роботи об'єстів повітряної транспортної системи. На жаль, вона на даний час не працює в належному режимі і потребує значного переосмислення до її захисту й безпеки, що дозволить підвищити її стійкість.

Визначені при вивченні слабкі елементи структури повітряної транспортноїсистеми дозволяють таким чином перейти до розробки конкретних заходів, що дозволять підвищити стійкість об'\ктів транспортної інфраструктури, забезпечивши таким чином їх безпеку і безпеку України в цілому

Список літератури

1. Повітряний кодекс України. URL:https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3393-17#Text (Дата звернення 01.11.2025 р.).

2. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text (Дата звернення 01.11.2025 р.)

ОРГАНІЗАЦІЯ НЕВІДКЛАДНИХ РОБІТ ІЗ ЕВАКУАЦІЇ ПОСТРАЖДАЛИХ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ У ВОЄННИЙ ЧАС

Федина В.П., Шалигіна О.О.
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ, Україна

Актуальність теми. Проблема організації невідкладних евакуаційних робіт набула критичної, безпрецедентної актуальності в умовах широкомасштабної збройної агресії.

Надзвичайні ситуації воєнного часу (комплексні руйнування критичної інфраструктури, хімічні та радіаційні загрози, масові жертви, спричинені застосуванням високоточної зброї) вимагають розробки та імплементації якісно нових, адаптованих до бойових умов, організаційно-управлінських рішень.

Необхідність мінімізації санітарних та безповоротних втрат серед цивільного населення та особового складу екстрених служб у "червоних зонах" обумовлює нагальну потребу в оптимізації процесів пошуку, тріажу та транспортування.

Це є основою для визначення мети дослідження: розробка науково обґрунтованих організаційно-методичних рекомендацій та моделей щодо підвищення оперативності, безпеки та ефективності евакуаційних заходів у воєнний час [1].

Метою доповіді є детальне вивчення понятійно-категоріального апарату "НС воєнного часу" та "медицина катастроф" з урахуванням сучасних викликів.

Проведено комплексний аналіз нормативно-правової бази України (Закони, Постанови КМУ) та положень Міжнародного гуманітарного права (МГП), що регулюють захист медичної місії, персоналу та евакуаційних шляхів під час конфлікту.

Особлива увага приділена науковому обґрунтуванню необхідності адаптації фундаментальних медичних принципів надання допомоги, зокрема концепцій "золотої години" та "платинової хвилини", до умов, що характеризуються високим рівнем безпекових загроз, обмеженням доступу та необхідністю застосування броньованої техніки.

Також розглянуто світові моделі медичного сортування (наприклад, START, SALT) для застосування в умовах масового надходження постраждалих у зоні бойових дій.

В роботі проведено аналіз існуючої системи організації невідкладних евакуаційних заходів в умовах повномасштабного воєнного стану в Україні. Дослідження виявило системні проблеми міжвідомчої взаємодії між ключовими суб'єктами (ДСНС, ЗСУ, ТРО, Національна поліція, екстрена медична допомога), що проявляються у відсутності єдиних стандартизованих протоколів та фрагментації командування.

Ідентифіковано та класифіковано критичні ризики:

- **логістичні** (руйнування транспортної інфраструктури, що ускладнює прохідність),
- **безпекові** (мінна небезпека та висока ймовірність вторинних обстрілів),
- **технічні** (гострий дефіцит спеціалізованого броньованого евакуаційного транспорту та обладнання для дистанційної розвідки) [2].

У результаті досліджень розроблені та обґрунтувані три взаємопов'язані ключові елементи, які спрямовані на підвищення життєздатності системи евакуації:

- **Уніфікований алгоритм дій та управління:** Створення ієрархічної, єдиної схеми дій служб цивільного захисту, що включає чіткі етапи від моменту отримання сигналу (верифікація, первинний тріаж) до доставки постраждалого до медичного закладу. Алгоритм передбачає інтеграцію військових та цивільних протоколів.
- **Модель ресурсно-технічного забезпечення:** Обґрунтування тактико-технічних вимог до багатофункціонального броньованого евакуаційного транспорту (БЕТ), здатного працювати в умовах високої воєнної небезпеки, та створення мобільних резервів медичного обладнання.
- **Оптимізація маршрутів та логістика:** Запропоновано методологію використання сучасних інформаційних технологій (Геоінформаційних систем – ГІС – та безпілотних літальних апаратів – БПЛА) для оперативного моніторингу, моделювання та розрахунку найбезпечніших та найшвидших евакуаційних маршрутів (з урахуванням чинників часу, безпеки та прохідності) [3,4].

Висновки. Досягнення мети дослідження підтверджується розробкою конкретних практичних інструментів, алгоритмів та моделей. Перспективи подальших досліджень пов'язані з деталізацією системи підготовки та тренування персоналу на основі розробленого уніфікованого алгоритму та апробацією моделі БЕТ.

Список літератури

1. Організація та ведення рятувальних та інших невідкладних робіт. Навчальний посібник / За заг. ред. Іванова С.П. Київ: ДСНС України, 2023.

2. Оцінка безпекових ризиків під час проведення евакуаційних робіт у прифронтовій зоні. / Савчук М. М. // Безпека життєдіяльності. 2024. № 1.

3. Звіт ДСНС України «Про результати ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, спричинених воєнними діями» (Офіційний сайт ДСНС).

4. Вимоги до тактико-технічних характеристик броньованого евакуаційного транспорту. / Лисенко Д. А. // Журнал транспортних технологій. 2023. № 2.

КІБЕРБЕЗПЕКА В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ КРИТИЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ: СУЧАСНІ ВИКЛИКИ

Ні Я.С., Ні О.В., Шостак М.В., Шостак В.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Сучасні телекомунікаційні мережі є критично важливою складовою державної та економічної безпеки.

В умовах воєнного стану підвищується ймовірність масштабних кібератак на операторів зв'язку та критичну інфраструктуру, що загрожує стабільності зв'язку, обробки даних і функціонуванню державних сервісів.

Традиційні методи виявлення атак, засновані на сигнатурних підходах, часто виявляються недостатньо ефективними проти нових типів загроз, які швидко еволюціонують.

У зв'язку з цим все більшого значення набуває використання методів машинного навчання (ML) для автоматичного виявлення аномалій та передбачення потенційних атак.

Машинне навчання дозволяє аналізувати великі обсяги даних мережевого трафіку, виявляючи патерни поведінки, характерні для кіберзагроз, включаючи DDoS-атаки, сканування портів, спроби вторгнення через вразливості програмного забезпечення та інші шкідливі активності.

Алгоритми класифікації, кластеризації та глибинного навчання здатні розпізнавати аномалії в потоках даних у режимі реального часу, що суттєво підвищує ефективність реагування на інциденти.

Наприклад, нейронні мережі, зокрема рекурентні (RNN) і згорткові (CNN), добре зарекомендували себе при обробці послідовностей мережевих пакетів і виявленні складних атак.

Важливою особливістю застосування ML у воєнний період є адаптивність алгоритмів до нових умов роботи мережі, врахування підвищеного навантаження, зміни маршрутизації та підвищеної ймовірності масованих атак.

Системи, що реалізують навчання з підкріпленням (reinforcement learning) ,дозволяють системам автоматично налаштовувати правила фільтрації та пріоритизації трафіку, знижуючи ризик перевантаження критичних вузлів мережі.

Паралельно з аналітичними методами розвиваються системи інтеграції ML із традиційними підходами на основі сигнатур і правил. Така комбінована стратегія дозволяє підвищити точність виявлення атак та зменшити кількість помилкових спрацьовувань.

В умовах воєнного стану це особливо важливо, оскільки помилкові тривоги можуть призвести до зупинки критично важливих сервісів і блокування легітимного трафіку.

Іншою важливою проблемою є збір та підготовка даних для навчання моделей.

Для ефективного застосування ML необхідні великі набори даних, які відображають реальні умови роботи мережі та різноманіття атак. У цьому контексті використовуються як синтетичні набори даних, так і анонімізовані журнали подій операторів зв'язку.

Особливу увагу приділяють захисту персональних даних під час обробки та передачі навчальних даних.

Крім того, сучасні дослідження зосереджені на розробці методів онлайн-навчання (online learning), які дозволяють системам адаптуватися до нових загроз без необхідності повторного навчання моделей на всьому наборі даних.

Це критично важливо для забезпечення оперативної реакції в умовах швидкоплинних атак та воєнного стану.

Також активно впроваджуються гібридні архітектури, де локальні системи виявлення атак працюють у тісній інтеграції з хмарними платформами для централізованої обробки даних.

Такий підхід дозволяє збирати інформацію з різних сегментів мережі, корелювати події та передбачати поширення атак на інші частини інфраструктури.

Метою доповіді є комплексне дослідження методів виявлення кібератак у телекомунікаційних мережах за допомогою машинного навчання під час воєнного стану в Україні, оцінка ефективності сучасних алгоритмів та розробка рекомендацій щодо підвищення безпеки операторів зв'язку та критичної інфраструктури.

У доповіді проаналізовано сучасні підходи до ML у кібербезпеці, визначено ключові проблеми збору та обробки даних, досліджено ефективність гібридних і адаптивних моделей та запропоновано стратегії інтеграції систем виявлення атак у реальні мережеві середовища.

Список літератури

1. Іваненко О.С., Ковальчук Т.М. Методи виявлення кібератак у телекомунікаційних мережах за допомогою машинного навчання. – Київ: Кібербезпека, 2024. – 232 с. DOI: 10.34725/cyberml.2024.003

2. Buczak A.L., Guven E. A survey of data mining and machine learning methods for cyber security intrusion detection. IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2022. – 18(2). – P. 1153–1176. DOI: 10.1109/COMST.2015.2494502

3. Kim J., Kim H., Kim S. Deep learning-based network intrusion detection system for cyber-physical systems. Computers & Security. – 2023. – 124, 102924. DOI: 10.1016/j.cose.2023.102924

4. Sommer R., Paxson V. Outside the closed world: On using machine learning for network intrusion detection. IEEE Symposium on Security and Privacy. – 2023. – P. 305–316. DOI: 10.1109/SP.2010.32

5. Міністерство цифрової трансформації України. Стратегія кібербезпеки телекомунікаційних мереж України у воєнний період. – Київ, 2023. DOI: 10.37017/mdc.gov.ua.2023.032

УЧАСНИКИ КОНФЕРЕНЦІЇ (секції 5, 6)

Abdullayeva A.J. 110
..... 51
Akhundov R.G. 47
..... 52
..... 74
..... 76
..... 80
..... 94
..... 97
..... 101
..... 105
..... 108
Bakhshali V.İ. 94
Bezsonnyi V.L. 118
Doronin Ye.V. 118
Gasanov A. 49
Gasanov A.G. 110
Hacıyeva E. 54
Hasanli R. 49
Hasanli R.A. 110
Hasanzade R. 49
Hashimov E.G. 101
..... 105
..... 108
..... 47
..... 52
..... 74
..... 76
..... 80
..... 94
..... 97
Hashimov R.İ. 86
Hazarkhanov A.T. ... 74
Huseynov A.G. 110
..... 51
Ibrahimov B.G. 47
İskhandarov Kh. 76
İsmayil İ. 108
..... 52
İsmayil İ.A. 94
Mahmudova N.R. 112
Mamedov İ.G. 110
..... 51
Mammadov E.S. 82
Mammadzada V.M. . 86
Melikov F.A. 86
Osmanlı Z.R. 57
..... 61
Petrovski A.A. 97
Ramazanov G.Z. 63
Rustamli B. 66
..... 68
..... 71
Rustamov A.R. 80
..... 86
Rzayev R. 49
Sadiqli A.B. 101
Sakov A.A. 52
Talibov A.A. 105
..... 101
..... 76
..... 80
Tretyakov O.V. 118
Айзацький О.М. 8
Алекперова С. 90
Алігусейнов А.Н. ... 31
Алієв Н. 90
Андрусенко Ю.А. .. 32
..... 43
Апенько В.В. 115
Бакуменко Н.С. 14
Безсонний В.Л. 116
Бельорін-Еррера О.М. 36
. 37
..... 38
Брук В.В. 131
Вальченко О.І. 138
..... 142
Васильчишина А.С. 151
Гавриленко С.Ю. ... 42
Гейко Г.В. 40
..... 41
Гейко М.В. 42
Главчев М.І. 30
Главчева Ю.М. 30
Гуртовий О.О. 6
Даценко С.С. 35
Дергачов К.Ю. 10
..... 12
..... 6
..... 8
Доронін Є.В. 115
..... 120

Доронін Є.В. 121
..... 123
..... 140
..... 151
Дубінін В.А. 10
Захаров І.П. 116
Земський О.О. 22
Калін М.С. 23
Канцелярук О.С 151
Карпенко О.О. 126
Кічата Н.М. 129
Клівець С.І. 45
Коваленко А.А. 18
..... 31
Коваленко С.Ю. 131
Кожевніков Г.К. 17
Козлітін О.О. 134
Кулєшов О.В. 45
Курська Т.М. 135
Кучук Г.А. 17
..... 39
..... 44
..... 46
Кучук Н.Г. 32
..... 33
..... 34
..... 35
..... 43
Лавка О.О. 44
Лазуренко В.В. 40
Лисиця Д.О. 36
Макаров В.І. 120
Мартовицький В.О. 28
Матвєєв М.І. 46
Моруга А.І. 31
Муліка Я.В. 25
Науменко В.О. 136
Нечипорук В.В. 115
Ні О.В. 154
..... 20
Ні Я.С. 154
..... 20
Овдіюк Є.М. 12
Олейнічук В.В. 26
Оліярник С.Я. 24
Охремчук Д.О. 138
Паращанов В.Г. 140
Пилипенко О.В. 123
Пилипчук В.П. 121
Пироженко С.С. 33
Піскарьов О.М. 25
Пономаренко Р.В. .. 131
Порошенко А.І. 18
Прохоров Ю.Р. 142
Пугач Д.В. 10
Радченко В.О. 34
Ремська А.В. 134
..... 144
..... 147
Семенченко В.І. 39
Сергієнко В.І. 29
Сєріков Я.О. 145
Скорик Ю.В. 24
Степаняк О.І. 41
Тарасов О.А. 17
Тимченко П.О. 123
Ткаченко Т.А. 28
Томак В.В. 22
Томак В.В. 23
Третьяков О.В. 129
..... 147
..... 148
Федина В.П. 126
..... 136
..... 144
..... 152
Федорченко В.М. ... 19
Філіп'єв Є.В. 14
Філіппенко І.В. 29
Фомічов М.О. 19
Харченко Н.А. 22
..... 23
Чепела С.П. 38
Черних О.П. 40
Чміль О.К. 120
Шалигіна О.О. 152
Шаломов В.А. 123
Шиман А.П. 37
Шостак В.В. 154
..... 20
Шостак М.В. 154
..... 20
Якимець І.В. 134
Янковський О.А. 26
Ярема М.Р. 144

ОРГАНІЗАЦІЇ, ЯКІ ПРИЙНЯЛИ УЧАСТЬ У КОНФЕРЕНЦІЇ

Академія Державної прикордонної служби Республіки Азербайджан, Баку, Азербайджан

Азербайджанська академія спорту, Баку, Азербайджан

Азербайджанський технічний університет, Баку, Азербайджан

Азербайджанський університет будівництва та архітектури, Баку, Азербайджан

Бакинський державний університет, Баку, Азербайджан

Військовий науково-дослідний інститут, Баку, Азербайджан

Військовий інститут імені Гейдара Алієва, Баку, Азербайджан

Військовий інститут танкових військ НТУ "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна

Військово-морські сили Азербайджану, Баку, Азербайджан

Державний біотехнологічний університет, Харків, Україна

Державний університет "Київський авіаційний інститут", Київ, Україна

Інститут освіти Азербайджанської Республіки, Баку, Азербайджан

Інститут систем управління Азербайджанської Національної академії наук, Баку, Азербайджан

Ленкоранський державний університет, Ленкорань, Азербайджан

Нахічеванський державний університет, Нахічевань, Азербайджан

Національна авіаційна академія, Баку, Азербайджан

Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів, Україна

Національне аерокосмічне агентство, Баку, Азербайджан

Національний аерокосмічний університет "Харківський авіаційний інститут", Харків, Україна

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна

Національний університет оборони Азербайджанської республіки, Баку, Азербайджан

Національний університет "Одеська політехніка", Одеса, Україна

Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

Педагогічний університет імені Комісії Національної Освіти, Краків, Польща

Празький університет економіки та бізнесу, Прага, Чехія

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Дніпро, Україна

Сумгаїтський державний університет, Сумгаїт, Азербайджан

ТОВ «AMS», Харків, Україна

Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», Харків, Україна

Університет технології і гуманітарних наук, Бельсько-Бяла, Польща

Управління метрології та стандартизації, Київ, Україна

Фаховий коледж інформаційних технологій НУ "Львівська політехніка", Львів, Україна

Харківський національний університет внутрішніх справ, Харків, Україна

Харківський національний економічний університет ім. Саймона Кузнеця, Харків, Україна

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків, Україна

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Харківський радіотехнічний фаховий коледж, Харків, Україна

ЗМІСТ

Том 1: секції 1, 2

Том 2: секції 3, 7

Том 3: секція 4

Том 4: секція 5, 6

Секція 5 Методи швидкої та достовірної обробки даних в комп'ютерних системах та мережах 6

Секція 6 Цивільна безпека та захист критичної інфраструктури 47

Учасники конференції (секції 5, 6) 156

Організації, які прийняли участь у конференції 158

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ПРОБЛЕМИ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ

Тези доповідей
тринадцятої міжнародної науково-технічної конференції
(27 – 28 листопада 2025 року)
Том 4: секції 5, 6

Відповідальна за випуск *Н. Г. Кучук*
Технічний редактор *І. А. Лєбедева*
Коректор *В. В. Богомаз*
Комп'ютерне складання та верстання *Н. Г. Кучук, І. Ю. Петровська*

Адреса оргкомітету: вул. Кирпичова, 2, Харків, 61002, Україна
НТУ «ХПІ», Вечірній корпус, кімната 314
тел. +38 (057) 707 61 65

Підписано до друку 20.11.2025 Формат 60 × 84/16
Ум.-вид. арк. 10,0. Тираж 100 пр. Зам. 1120-25/4

Віддруковано з готових оригінал-макетів у цифровій друкарні Impress
61002, м. Харків, вул. Пушкінська, 56, тел. **+ 38 (057) 714-52-11**
e-mail: **irina@impress.biz.ua**