

8. Корольчук М., Крайнюк В. Психологія стресостійкості військовослужбовців. Київ: Золоті ворота, 2017.
9. Марченко О. В. Психологічні наслідки бойового досвіду у військових та шляхи подолання. Актуальні проблеми психології. — 2022.
10. Литвиненко О. Практика роботи військового психолога у зоні бойових дій. Київ: Інститут психології імені Г. С. Костюка, 2023.
11. Переходько О. В. Посттравматичний стресовий розлад у ветеранів: діагностика та корекція. Львів: Світ, 2021.
12. Проєкт «Голос війни». Збірка інтерв'ю з військовослужбовцями та психологами. Київ: Український ветеранський фонд, 2023.
13. Серeda Ю. М. Правові основи медико-психологічного забезпечення військовослужбовців. Харків: Право, 2019.
14. Барановська Л. Психологічні особливості адаптації учасників АТО/ООС. Київ: Університет «Україна», 2020.
15. Концепція розвитку системи психологічного забезпечення у Збройних Силах України. — МОУ, 2020.

ПСИХОЛОГІЧНІ ЧИННИКИ СУБ'ЄКТИВНОГО БЛАГОПОЛУЧЧЯ ОСІБ РАНЬОГО ДОРОСЛОГО ВІКУ В УМОВАХ ВІЙНИ

Щербакова Ірина Миколаївна,
доцент, кандидат філософських наук,
доцент кафедри психології, політології
та соціокультурних технологій
Сумський державний університет

Пащенко Олеся Олегівна,
здобувач вищої освіти
Сумський державний університет

У 1984 р. Е. Ф. Diener опублікував в 95 томі журналу *Psychological Bulletin* наукову статтю «Subjective Well-Being» («Суб'єктивне благополуччя») [6], де визначив змістом феномену суб'єктивного благополуччя емоційні повсякденні переживання різної інтенсивності та частоти, що роблять життя людини приємним або неприємним. У такому розумінні, за Едвардом Дінером, благополуччя постає як оцінка людиною власного життя, що включає визнання наявності трьох компонентів: частих позитивних емоцій; рідких негативних емоцій; задоволеності життям. Отже, суб'єктивне благополуччя охоплює задоволеність життям, позитивні емоції та низький рівень негативних емоцій, що сукупно відображає загальне щастя.

В. В. Волошина наголошує, що під час війни особистісне сприйняття становища індивіда суттєво коливається, адже, страх, тривога, втрата близьких і дестабілізація звичного життя негативно впливають на суб'єктивне сприйняття благополуччя. У контексті сучасних психологічних досліджень, суб'єктивне благополуччя витлумачується як задоволеність життям, наявність сенсу, контроль над життєвими обставинами та гармонійні соціальні зв'язки [2, с. 13].

І. М. Щербакова звертає увагу, що слово «благополуччя» походить від давньоанглійського «*wel*» – достаток, і «*beon*» – бути, існувати, що дозволяє витлумачувати зміст благополуччя, як: хороший або задовільний стан існування; стан безпеки; відчуття поваги з боку інших; відчуття особистої цінності; відчуття міцного зв'язку з оточуючими; відчуття доступності необхідних ресурсів для життєдіяльності; відчуття залученості до процесу прийняття важливих для життя рішень [5].

Л. Березовська наголошує, що з психологічної точки зору, конструкт «благополуччя» (англійською – *wellbeing*, німецькою – *Wohlbefinden*, польською – *samopoczucie*) є широким психологічним конструктом, який описує суб'єктивне сприйняття бажаного стану щастя та задоволеності, що супроводжується позитивними (частими) та негативними (рідкісними) почуттями [1].

Ю. М. Швалб звертає увагу, що у психології благополуччя розглядається у широкому контексті, як складний культурно-психологічним феноменом, де сама ідея благополуччя завжди відповідає певним загальнокультурним уявленням про смисл і цінність життя, а форми його переживання набувають різного змісту і зв'язків з іншими почуттями [4].

На думку А. А. Харитинського [3], суб'єктивне благополуччя є інтегративним феноменом, що означає: задоволеність від реалізації себе у різних сферах життя; задоволеність від відчуття себе повноцінним суб'єктом; задоволеність від діяльності та соціальних ролей. Відповідно, на думку Ю. М. Швалб, суб'єктно-особистісну модель благополуччя можна представити, як система п'ятих взаємопов'язаних компонентів (див. рис. 1).

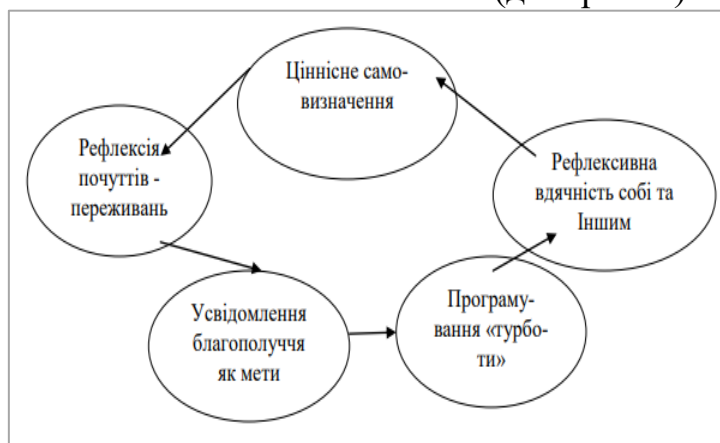


Рис. 1. Суб'єктно-особистісна модель благополуччя [4, с. 268].

Зазначимо, що структура суб'єктивного благополуччя має три структурні компоненти:

- 1) когнітивний, як узагальнена задоволеність життям, як відповідність наявного і бажаного;
- 2) афективний, як баланс емоцій, що включає частоту й інтенсивність приємних і неприємних переживань;
- 3) евдемонічний, як відчуття сенсу життя, автономії, особистісного зростання та компетентності.

Вважаємо за необхідне підкреслити, що узгодженість цих компонентів визначає стійкість благополуччя як у звичайних, так і екстремальних умовах життєдіяльності.

Враховуючи наведене вище, структурно суб'єктивне благополуччя можна уявити як систему з трьох рівнів. На базовому рівні перебувають фізіологічні та поведінкові регулятори сну, харчування, рухової активності. Їх дестабілізація швидко відбивається на афективному балансі та когнітивній продуктивності. Другий рівень утворюють когнітивні та емоційні процеси, інтерпретація подій, саморозмова, толерантність до невизначеності, навички відновлення. Третій рівень утворюють смисли й цінності, довгострокові цілі. Взаємодія різних рівнів забезпечує не лише короточасні підйоми позитивного афекту, як надзвичайно сильні, короточасні емоційні стани, а й більш стійкі зміни у відчутті задоволеності життям і осмисленості.

Суб'єктивне благополуччя у ранній дорослості психологи розуміють як інтегральну оцінку людиною власного життя з позицій задоволеності, частоти та інтенсивності позитивних і негативних емоцій і відчуття осмисленості.

Рання дорослість охоплює приблизно період від 20 до 35-40 років і збігається з ключовими життєвими етапами: завершенням освіти; входженням у професію; побудовою близьких стосунків; формуванням економічної самостійності. У цей час критичними стають процеси саморегуляції, здатність ставити реалістичні цілі, підтримувати соціальні зв'язки та витримувати невизначеність.

Умови війни радикально змінили вагу і взаємодію психологічних чинників суб'єктивного благополуччя. Молоді дорослі постійно стикаються з хронічним стресом, епізодами гострої загрози, втратами, необхідністю вимушеного переміщенням, розривом звичних каналів міжособистісної комунікативної взаємодії, різким звуженням контрольованих ресурсів. Останнє, на нашу думку, підвищує частку негативного афекту та послаблює відчуття передбачуваності й контролю, що у свою чергу обумовлює зниження індексу задоволеності життям. Зауважимо, що в умовах кризового сьогодення, механізми впливу війни на суб'єктивне благополуччя дорослого населення України, включають: когнітивну переоцінку безпеки життєдіяльності; зміну часової перспективи; перевантаження системи саморегуляції; виснаження психологічних ресурсів для подолання постійного стресу в умовах військових дій, що обов'язково призводить до фізичного, емоційного, ментального виснаження.

Війна є потужним багатовимірним стресором, що поєднує гострі загрози та хронічні навантаження. На рівні безпосереднього впливу йдеться про досвід обстрілів, руйнувань, втрат, поранень і свідчення травматичних подій. На рівні опосередкованого впливу йдеться про тривалі повітряні тривоги, евакуації, розриви соціальних зв'язків, зниження контролю над життям і домінування «ефекту негативності», стану емоційної нестійкості на фоні невизначеності і непередбачуваності майбутнього. Для молодих дорослих ці фактори накладаються на стратегічно важливі життєві завдання цього вікового періоду, а саме: початок професійної діяльності; побудову стосунків заради створення сім'ї; народження дітей; докладання максимальних зусиль для забезпечення економічної самостійності і стабільності. У підсумку, молоді дорослі перебуваючи у стресовому середовищі з високою частотою впливу стресорів-війни, відчувають накопичення негативної афективності, що відбуваються у відповідь на екстремальні зовнішні події та гострі внутрішні переживання внаслідок неможливості реалізації стратегічно важливих особистих цілей.

Враховуючи, що формування суб'єктивного благополуччя у молодих дорослих детермінується поєднанням особистісних, соціальних і контекстуальних чинників, на нашу думку, її основними індивідуальними предикторами мають виступати: усвідомленість; оптимістичність; здатність до самоспівчуття; самоефективність; наявність гнучких копінг-стратегій; здатність до емоційної саморегуляції та смислотворення.

Таким чином, суб'єктивне благополуччя осіб ранньої дорослості в умовах війни постає як динамічна багаторівнева система, чутлива до хронічного стресу-війни, порушення базових регуляторів та трансформації смисложиттєвих орієнтацій. Війна не лише знижує показники життєвої задоволеності, насамперед вона змінює механізми підтримання благополуччя, підвищуючи роль саморегуляції, гнучких когнітивних стратегій і соціальної залученості. У цьому контексті, формування адаптивної стійкості до тривалої невизначеності, відновлення відчуття контролю та осмисленості життя є необхідною умовою формування міцного підґрунтя для підтримання суб'єктивного благополуччя молодих дорослих у сучасних кризових умовах.

Список літератури

1. Березовська Л. Внутрішні детермінанти суб'єктивного благополуччя молоді. Вісник Національного університету оборони України 5 (87). 2025. С. 16-25.
URL: <http://visnyk.nuou.org.ua/article/view/337542/327992>
2. В. В. Волошина. Філософія благополуччя в контексті психологічних досліджень. Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія Психологія. Випуск 1. 2025. С. 12-15.
URL: <https://pj.journal.kspu.edu/index.php/pj/article/view/1331/1278>
3. Харитинський А. А. Теоретична модель суб'єктивного благополуччя особистості. Вісник Національного університету оборони України 6 (70). 2022. С 190-197.
URL: <http://visnyk.nuou.org.ua/article/view/268708/264673>
4. Швалб Ю. М. Благополуччя як ідея та принцип організації життєдіяльності. Актуальні проблеми психології, том 7, випуск 48. С. 258-269.
URL: <http://appspsychology.org.ua/data/jrn/v7/i48/28.pdf>
5. Щербакова І. М. Духовне благополуччя та психічне здоров'я людини в умовах кризового сьогодення. Abstracts of XXIII International Scientific and Practical Conference. Madrid, Spain. 2024. Pp. 462-463.
URL: <https://eu-conf.com/wp-content/uploads/2024/04/THE-CURRENT-STATE-OF-THE-ORGANIZATION-OF-SCIENTIFIC-ACTIVITY-IN-THE-WORLD.pdf#page=463>
6. E. Diener. Subjective Well-Being. Psychological Bulletin. 1984, Vol. 95, No. 3, 542-575.
URL: https://labs.psychology.illinois.edu/~ediener/Documents/Diener_1984.pdf

РОЗРОБКА ГІБРИДНОГО СПОСОБУ ЗАХИСТУ ІОТ-СИСТЕМ ВІД БОТНЕТ-АТАК НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ NETFLOW

Mykhailovskyi Serhii,

Master Student

Vasyl' Stus Donetsk National University

Стрімкий розвиток Інтернету речей призвів до масового впровадження мережевих пристроїв у побутових, промислових та критичних інфраструктурах [1]. Водночас більшість IoT-пристроїв характеризуються обмеженими обчислювальними ресурсами, спрощеними механізмами автентифікації та відсутністю регулярних оновлень безпеки, що робить їх привабливою ціллю для ботнет-атак [2]. Масштабні інциденти, спричинені ботнетами Mirai, Satori, Mozi та VPNFilter, засвідчили можливість використання тисяч скомпрометованих пристроїв для проведення розподілених атак відмови в обслуговуванні та несанкціонованого доступу до мереж [3]. Основні характеристики ботнет розглянуті у Таблиці 1.

Таблиця 1.
Основні типи IoT-ботнетів та їх характеристики

Назва ботнету	Тип керування	Спосіб інфікування	Основне призначення	Особливості
Mirai	Централізований	Слабкі/заводські паролі (Telnet)	DDoS-атаки	Висока швидкість поширення, відкритий код
Hajime	Децентралізований (P2P)	Brute-force, відкриті порти	Невідомо	Саморозповсюдження, відсутність шкідливих дій
Mozi	Децентралізований (P2P)	Вразливості IoT-ОС	DDoS, бекдори	Цифрові підписи, зашифрований трафік
Satori	Централізований	Експлойти у прошивках	DDoS, експлуатація	Розширення Mirai
VPNFilter	Гібридний	Роутери та NAS	Шпигунство, саботаж	Модульна структура

Традиційні системи виявлення вторгнень часто є непридатними для застосування безпосередньо на IoT-пристроях через високі вимоги до ресурсів [4]. У зв'язку з цим актуальним є розроблення легковагових методів детектування ботнет-активності, здатних працювати як у лабораторних умовах,

так і в реальних мережах. Метою даної роботи є розробка та дослідження гібридного способу захисту IoT-систем від ботнет-атак на основі аналізу NetFlow-даних [5].

Сучасні підходи до захисту IoT-систем включають сигнатурні методи, поведінковий аналіз, застосування honeypots та алгоритмів машинного навчання [6]. Сигнатурні методи забезпечують високу точність для відомих атак, однак неефективні проти нових або модифікованих ботнетів [7]. Підходи на основі машинного навчання дозволяють виявляти аномалії, проте потребують значних обчислювальних ресурсів і якісних навчальних вибірок, що обмежує їх використання на периферійних пристроях [8]. Аналіз мережевих потоків NetFlow зарекомендував себе як ефективний інструмент моніторингу мережевої активності без глибокого аналізу пакетів [9]. Це робить його перспективним для IoT-середовищ, де важливо мінімізувати навантаження на пристрої, однак більшість існуючих рішень орієнтовані на корпоративні мережі та не враховують специфіку IoT [10].

Запропонований спосіб захисту базується на гібридній двопрофільній архітектурі. У режимі симуляції система генерує синтетичні мережеві події, що моделюють як легітимну, так і шкідливу поведінку IoT-пристроїв. У режимі реального моніторингу здійснюється збір та обробка NetFlow-даних, отриманих з мережевого обладнання. Ключовим елементом є метод нормалізації даних, який перетворює різноманітні вхідні повідомлення у єдиний формат. Це дозволяє використовувати спільне аналітичне ядро для обробки як синтетичних подій, так і реального мережевого трафіку. Для подієвих даних застосовується поведінковий аналіз на основі ковзного вікна, який дозволяє виявляти аномальну частоту або послідовність подій. Для поточних даних NetFlow використовується пороговий аналіз параметрів, таких як кількість пакетів, обсяг переданих даних та кількість унікальних з'єднань.

Система реалізована у вигляді модульного програмного комплексу мовою Python. До її складу входять модулі збору та попередньої обробки NetFlow-даних, центральний сервер моніторингу, аналітичний модуль детектування та веб-інтерфейс для візуалізації результатів, який зображений на рисунку 1. Реалізація орієнтована на розгортання на одноплатних комп'ютерах класу Raspberry Pi, що дозволяє використовувати систему як легковаговий мережевий монітор безпеки.

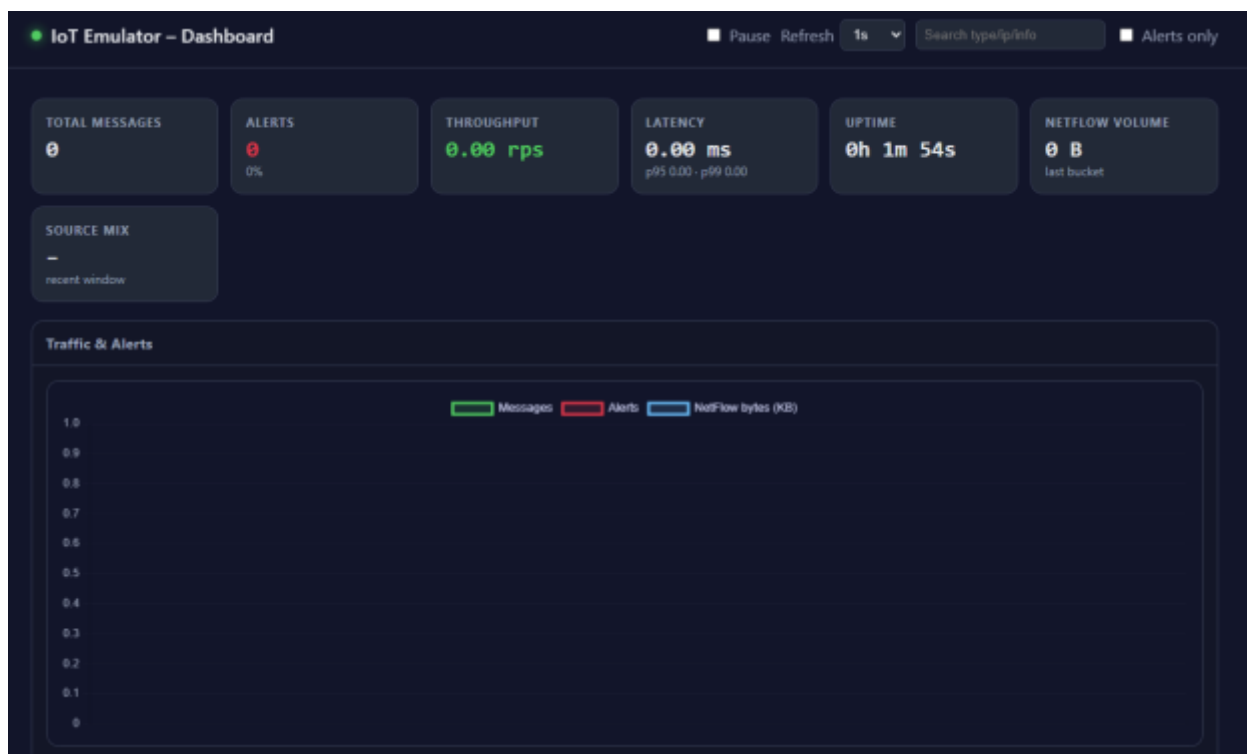


Рисунок 1. Основний інтерфейс програми.

Експериментальне дослідження проводилося у двох режимах роботи системи. У режимі симуляції було згенеровано типові сценарії ботнет-активності, зокрема DDoS-атаки та сканування портів. У режимі реального моніторингу здійснювався аналіз NetFlow-даних з тестової мережі. Результати показали, що середній час обробки одного повідомлення становить менше 1 мс, що підтверджує придатність системи для роботи в реальному часі. Точність виявлення типових атак перевищила 90 % за відсутності значної кількості хибнопозитивних спрацьовувань.

Отже, було запропоновано гібридний спосіб захисту IoT-систем від ботнет-атак, який поєднує аналіз NetFlow-даних з поведінковим аналізом подій. Розроблена двопрофільна архітектура забезпечує гнучкість використання системи як у навчально-дослідних цілях, так і для реального моніторингу мережі. Отримані результати підтверджують ефективність підходу та його придатність для застосування в IoT-середовищах з обмеженими ресурсами. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на інтеграцію методів машинного навчання та розширення набору виявлюваних атак.

Список літератури:

1. Atzori L., Iera A., Morabito G. The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 2010.
2. Roman R., Zhou J., Lopez J. On the features and challenges of security and privacy in distributed internet of things. *Computer Networks*, 2013.
3. Antonakakis M. et al. Understanding the Mirai Botnet. *USENIX Security Symposium*, 2017.

4. Koliass C., Kambourakis G., Stavrou A. DDoS in the IoT: Mirai and other botnets. *Computer*, IEEE, 2017.
5. Cisco Systems. NetFlow Services and Applications. White Paper.
6. Conti M., Dehghantanha A., Franke K. Internet of Things security and forensics. *Digital Investigation*, 2018.
7. Behl A., Behl K. Cyberwar: The Next Threat to National Security. Oxford University Press, 2017.
8. Meidan Y. et al. Detection of unauthorized IoT devices using ML. *IEEE IoT Journal*, 2018.
9. Lakhina A., Crovella M., Diot C. Mining anomalies using traffic feature distributions. *SIGCOMM*, 2005.
10. NIST SP 800-183. Networks of 'Things', 2016.

REVIEW OF MATHEMATICAL MODELS DESCRIBING THE MOTION OF SOLID PARTICLES IN A FLUID FLOW

Nadryhailo Tetiana,
Ph.D., Associate Professor
Dniprovsky State Technical University

Bohdanenko Olha,
Student
Dniprovsky State Technical University

Modeling the motion of solid particles in liquid flows forms the basis of many problems in hydrodynamics, chemical engineering, hydraulic transport, environmental modeling, and the mechanics of multiphase media. In this paper, a classification of models is presented according to two criteria:

1. flow regime — laminar or turbulent;
2. nature of the dispersed phase – dilute or dense suspension.

The work provides a brief overview of classical and modern models.

There are several classes of mathematical models that describe the motion of solid particles in a liquid flow. They differ in the level of detail, the type of approximations used, and the area of application. The main approaches employed in hydrodynamics, the mechanics of multiphase media, chemical engineering, and the modeling of dispersed systems are presented below.

1. In *single-phase models* with effective properties, the mixture is treated as a homogeneous medium with averaged properties (density, viscosity, particle concentration). Such models are used when the particle concentration is high and the relative velocity between the phases is small.

The main equations used in such models are:

- the Navier-Stokes equations for the mixture;
- the transport equation for the concentration of the solid phase;
- models of effective viscosity.

A advantages of such models include their simplicity and low computational costs. The disadvantage is that they do not describe the motion of individual particles and their inertia.

2. In *two-phase Euler-Euler models*, both phases are considered continuous. The particles have their own velocity and pressure fields. The main equations describing the process are:

- mass conservation equations for the liquid and solid phases;
- momentum equations for each phase;
- interphase interactions through drag force, lift force, and virtual mass.

As drag models, the following are selected:

- Schiller-Naumann;
- Wen & Yu;

- Gidaspow;
- Ergun (for dense suspensions).

Two-phase models are applied to describe the hydraulic transport of particles, in fluidized beds, for sedimentation and suspension, and in dense granular flows.

3. *Euler-Lagrangian models* are applied when the liquid is considered as a continuous phase (Eulerian description), while the particles are discrete objects moving along trajectories. The motion of an individual particle is described by the equation:

$$m_p \frac{d\vec{v}_p}{dt} = \vec{F}_{drag} + \vec{F}_{lift} + \vec{F}_{gravity} + \vec{F}_{collision} + \vec{F}_{added\,mass}.$$

3.1. The Euler-Lagrange model variations include Lagrangian models (*Discrete Phase Model*) without considering collisions, in which “dilute” particles (dilute flows) are considered. These models assume one-way or two-way phase coupling.

3.2. For dense granular media, the *Discrete Element Method* (DEM) is applied. Here, particle interactions are modeled using contact laws (Hertz-Mindlin and others). This method is convenient for describing: particle deposition, injection of powders and aerosols, granule collisions, and pneumatic transport.

4. *Full Lagrangian N-body models* (molecular dynamics). They are used rarely, typically for micro- or nanoparticles. Each particle is described by Newton's equations of motion with full consideration of interactions.

5. *Models of the kinetic theory of granular media (KTGF)* use analogies from statistical physics to describe the behavior of particles as a “gas-like” medium. A granular temperature of the form is introduced:

$$\theta = \frac{1}{3} \langle c'^2 \rangle.$$

These models are used in pseudo-fluidized beds, turbulent suspensions, transport flows with high particle concentration.

6. *Simplified analytical models of a single particle* can be of the following types:

a) Stokes' law (low Reynolds number (Re) and spherical particle):

$$m_p \frac{d\vec{v}_p}{dt} = 3\pi\mu d(\vec{u} - \vec{v}_p) + m_p g;$$

b) acceleration in a turbulent flow (Maxey-Riley models, Basset-Boussinesq-Oseen):

$$m_p \frac{d\vec{v}_p}{dt} = drag + added\,mass + history\,term + pressure\,gradient..$$

These models are important for micro- and nanoparticles.

7. In engineering, *recirculating* and *advective-settling models* (settling models) are used:

- the Froude-Stevenson model
- the Hinze model
- the advection–diffusion equation

- the Richardson-Zaki model for settling in vessels.

8. To *the statistical models of particle distribution in a turbulent flow* (Turbulent Dispersion Models) belong:

- the Taylor model
- $k-\varepsilon$ - based dispersion models
- stochastic trajectory models (Random Walk models)

Conclusions. Thus, the mathematical models describing the motion of solid particles in a fluid flow can be divided into four classes based on the level of complexity: simple, intermediate, complex, very complex.

The simple level includes models that incorporate Stokes drag and analytical formulas. These models are used to describe the motion of a single particle.

The intermediate level includes Euler-Lagrangian models DPM and KTGF. Such models are used when describing dilute particles and medium concentration.

Euler-Euler and DEM models, which belong to the complex level, are used to describe dense flows and granular media.

To describe the behavior of micro- and nanoparticles, as well as in fundamental research, very complex level models are used, which are represented by the Maxey-Riley and MD models.

The classification of models based on flow regimes and particle concentration allows for a justified selection of the approach for a specific process. Laminar dilute flows are well described by analytical and Lagrangian models, whereas dense and turbulent media require more complex approaches, in particular Euler–Euler models and KTGF.

For the purpose of research and improvement, we have selected a model that describes the process of washing sludge from abrasive metal processing, which is presented in [1].

References:

1. T. Nadryhailo, V. Vernyhora, A. Korobochka, A. Sasov. Modeling the trajectory of motion of metallic and abrasive particles in a washing gutter / Eastern European Journal of Advanced Technologies. VOL 1, NO 1 (103) (2020) ENGINEERING TECHNOLOGICAL SYSTEMS C. 21-31.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДХОДІВ І МОДЕЛЕЙ РЕКРУТИНГУ ПЕРСОНАЛУ В КОРПОРАТИВНІЙ ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ

Афенченко Дмитро Романович

здобувач вищої освіти магістерського рівня
Харківський національний університет радіоелектроніки

Борисенко Тетяна Іванівна

канд. техн. наук, доцент
Харківський національний університет радіоелектроніки

Сучасний бізнес потребує адаптивних інструментів, здатних швидко реагувати на зміни, і сфера людських ресурсів (HR) не є виключенням. В умовах великого навантаження на рекрутерів автоматизовані системи на базі штучного інтелекту стають практичною необхідністю [1]. Проте існуючі алгоритми часто діють занадто лінійно: вони шукають лише точне співпадіння з текстом вакансії, ігноруючи той факт, що опис вакансії може бути неповним, а резюме кандидата може містити додаткові корисні компетенції (Soft Skills, суміжні технології), які суттєво підвищують цінність кандидата [2]. Метою роботи є розробка гібридної інформаційної технології рекрутингу, яка використовує великі мовні моделі (LLM) для виявлення як явних, так і прихованих характеристик кандидатів, та апарат нечіткої логіки для їх комплексного оцінювання [3].

1. Проблематика втрати інформації при автоматизованому відборі

Аналіз предметної області показав, що класичні рекомендаційні системи, які базуються на content-based підході, ефективно працюють з чіткими характеристиками. Однак у рекрутингу існує проблема «прихованого потенціалу». Часто роботодавець не вказує повний спектр бажаних навичок (наприклад, комунікабельність або знання суміжних інструментів), але їх наявність у кандидата є вагомим бонусом. Традиційні системи, що базуються на перетині множин або простій косинусній подібності, присвоюють таким навичкам нульову вагу, фактично ігноруючи конкурентні переваги кандидата [4]. Це призводить до помилкового заниження рейтингу висококваліфікованих фахівців. Для вирішення цієї проблеми пропонується використовувати можливості сучасних LLM, які здатні аналізувати контекст та формувати осмислені висновки, у поєднанні з підходами багатокритеріального оцінювання.

2. Архітектура та логіка роботи гібридної системи

Запропонований підхід передбачає розширену модель оцінювання, де кандидат розглядається не лише через призму вимог вакансії, а й через призму загальної цінності для професійної сфери. Логічна схема процесу рекрутингу з врахуванням прихованого потенціалу кандидата наведена на рис. 1.

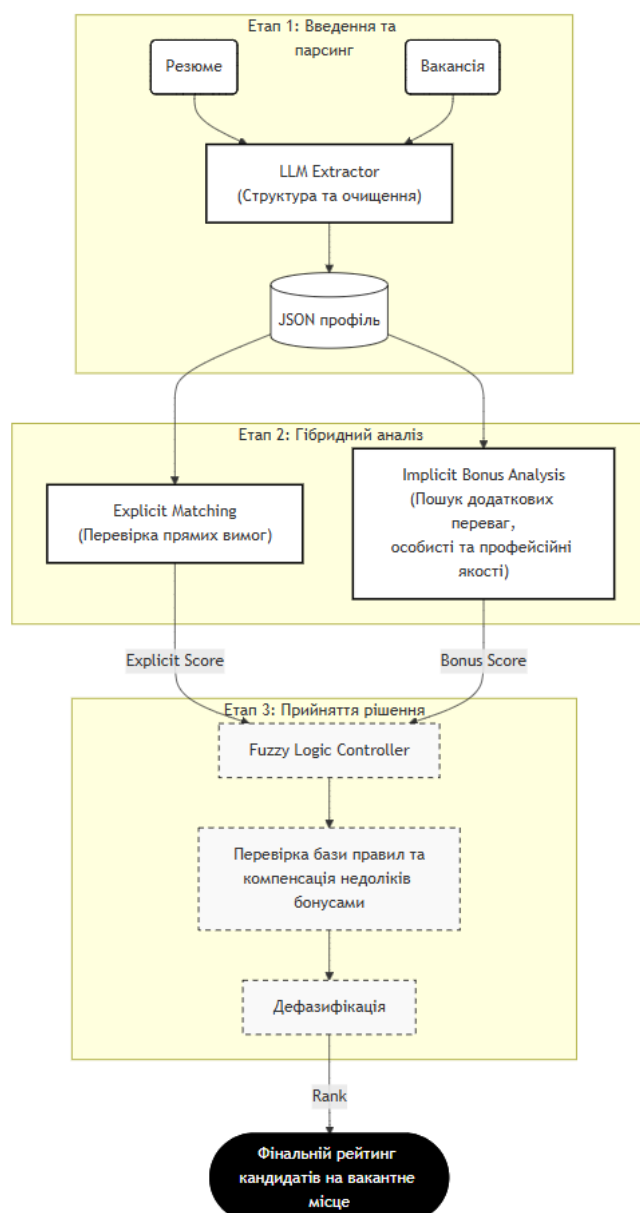


Рисунок 1. Логічна схема процесу рекрутингу з врахуванням прихованого потенціалу кандидата.

Процес обробки включає такі етапи:

– етап 1 «Введення та парсинг». Оскільки LLM можуть мати обмеження контексту та іноді генерувати фактологічні помилки («галюцинації»), вхідні дані (резюме) розбиваються на логічні блоки та структуруються у формат JSON. На цьому етапі система виділяє не тільки навички, що запитувалися, але й усі інші компетенції кандидата;

– етап 2 «Гібридний аналіз». Замість однієї метрики розраховуються дві:

1) явна відповідність – це кількісний показник того, наскільки навички, знайдені у резюме кандидата, збігаються з прямими вимогами, викладеними в описі вакансії. Ця якість береться безпосередньо з порівняння структурованих полів підходом косинусної подібності, який показує найкращу дискримінативну здатність (47%) для текстових даних;

2) бонусний потенціал – це оцінка ваги додаткових навичок (Soft Skills, суміжні навички), які присутні в резюме, але не були явно вказані у вакансії, хоча є релевантними для даної професійної сфери.

– етап 3 «Прийняття рішення». Отримані числові показники передаються до контролера нечіткої логіки. Це дозволяє реалізувати гнучкі правила, які неможливі при лінійному підході. Приклад правила: «ЯКЩО (Явна відповідність = Середня) І (Бонусний потенціал = Високий) І (Особисті якості = Відмінні) ТО (Рейтинг = Високий)». Це дозволяє системі надавати більше уваги кандидатам, які можуть принести компанії додаткову користь, навіть якщо вони не ідеально вписуються в первинний шаблон.

3. Порівняльний аналіз гібридного підходу з існуючими підходами

Для об'єктивної оцінки ефективності запропонованого гібридного підходу (LLM + Нечітка логіка) було проведено порівняльний аналіз із двома альтернативними підходами, які на сьогодні є домінуючими у сфері автоматизації рекрутингу.

Пошук за ключовими словами – це класичний детермінований підхід, що базується на булевій алгебрі. Він був обраний для порівняння як «базовий рівень» (baseline), оскільки саме цей підхід використовується у більшості застарілих ATS-систем (Applicant Tracking Systems). Його головний недолік – нездатність вийти за межі точного співпадіння слів.

Векторний семантичний аналіз – це сучасний стандарт пошуку, що використовує математичні моделі вкладень (Embeddings), такі як BERT або Word2Vec. Цей підхід обрано як головного конкурента, оскільки він здатний розпізнавати синоніми та контекст, представляючи поточний рівень розвитку технологій (State-of-the-Art).

Порівняння проводилося за п'ятьма ключовими критеріями, які визначають якість роботи системи рекрутингу:

- аналіз прямих вимог: здатність системи ідентифікувати навички кандидата, які безпосередньо вказані в описі вакансії, навіть якщо вони сформульовані іншими словами;

- врахування прихованих бонусів: здатність виявляти компетенції, які не були явно запитані у вакансії, але є корисними для професійної сфери. Це критичний показник для зменшення помилок відсіву талановитих кандидатів;

- оцінка особистих якостей: можливість аналізувати особистісні якості кандидата (комунікабельність, лідерство) на основі текстових описів досвіду, а не лише переліку навичок;

- стійкість до помилок у вакансії: здатність системи адекватно оцінити кандидата, навіть якщо опис вакансії є неповним або містить неточності (система має компенсувати це знаннями про предметну область);

- ризик «галюцинацій»: специфічний критерій для систем штучного інтелекту, що відображає ймовірність генерації неправдивої інформації про кандидата.

Результати порівняльного аналізу наведено у табл. 1.

Таблиця 1.

Порівняння гібридного підходу з існуючими підходами

Критерій	Keyword Matching	Vector Semantic	LLM + Нечітка логіка (Запропонований)
Аналіз прямих вимог	Тільки точні слова	Враховує синоніми	Враховує контекст і синоніми
Врахування прихованих бонусів	Ні (ігнорує)	Частково (якщо близький вектор)	Так (окремий розрахунок рейтингу)
Оцінка Soft Skills	Неможлива	Низька точність	Висока (семантичний аналіз описів)
Стійкість до помилок в вакансії	Низька	Середня	Висока (компенсує бонусами)
Ризик «галюцинацій»	Відсутній	Відсутній	Мінімізований (валідація структури)

Висновки. Запропонований підхід вирішує проблему обмеженості традиційних підходів рекрутингу, які ігнорують неявні переваги кандидатів. Поєднання інтелектуального аналізу тексту за допомогою LLM (для виявлення всіх компетенцій) та нечіткої логіки (для зваженого прийняття рішень) дозволяє побудувати систему, яка оцінює кандидата комплексно. Це забезпечує більш якісний відбір кадрів та знижує ризик пропуску талановитих фахівців через недосконалість опису вакансії.

Посилання:

1. Alhasan W. M., Ali M. J., Abo Shdeed W. Y. Fuzzy Logic-based Recruitment System: An Innovative Solution for HR Departments. International Journal of Engineering Research & Technology. 2023. URL: <https://www.ijert.org/fuzzy-logic-based-recruitment-system-an-innovative-solution-for-hr-departments> (date of access: 09.12.2025).
2. Tejaswini K., Umadevi V., Kadiwal S. M., Revanna S. Design and development of machine learning based resume ranking system. Global Transitions Proceedings. 2022. URL: <https://doi.org/10.1016/j.gltp.2022.03.013> (date of access: 09.12.2025).
3. Zhao X. A hybrid deep learning and fuzzy logic framework for feature-based evaluation of English Language learners. Scientific Reports. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-17738-z> (date of access: 11.12.2025).
4. Lum Y. J. Document Matching for Job Descriptions. Stanford CS224N Custom Project. 2021. URL: https://web.stanford.edu/class/archive/cs/cs224n/cs224n.1214/reports/final_reports/report062.pdf (date of access: 11.12.2025).

ПЕРЕДУМОВИ РОЗРОБКИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПЛАНУВАННЯ МАРШРУТУ КОНТЕЙНЕРИЗОВАНОГО ІНТЕРМОДАЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

Головка Тетяна Владиславна,
к.т.н., доцент, УкрДУЗТ, Харків

Демченко Ілля Сергійович,
аспірант, УкрДУЗТ, Харків

Розвиток контейнеризованих інтермодальних перевезень та курс України на інтеграцію до європейського транспортного простору [1] вимагають створення автоматизованих технологій, здатних забезпечувати ефективне планування маршрутів із дотриманням вимог інтероперабельності. Європейські нормативні акти, технічні стандарти, цифрові моделі даних та особливості функціонування АСК ВП УЗ–Є [2] формують комплекс передумов, які визначають архітектуру, функції та обмеження майбутньої технології.

Метою дослідження є систематизація цих передумов і формування теоретико-прикладної основи для розробки автоматизованої технології планування маршруту контейнеризованого інтермодального транспорту.

Аналіз нормативних, технічних та інформаційних джерел. Нормативні документи ЄС визначають основні вимоги до інтероперабельності, цифрової взаємодії та коридорного планування. Зокрема, Regulation (EU) 2024/1679 [3] оновлює вимоги до мережі TEN-T, Directive 2016/797 [4] регламентує інтероперабельність залізничної системи, а Regulation 2020/1056 (eFTI) [5] визначає обов'язковість електронного обміну транспортною інформацією. Технічні специфікації, такі як TAF TSI [6] та OTIF UTP TAF [7], регламентують структури повідомлень, каталоги даних і правила цифрової взаємодії між учасниками вантажних перевезень. Стандарти ISO 6346 [8] і ISO 668 [9] забезпечують уніфікацію фізичних ідентифікаційних та технічних параметрів контейнерів. Інформаційні моделі, включаючи UN/CEFACT MMT RDM [10] та CIM/SMGS [11], створюють основу для мультимодального цифрового документообігу та юридичної сумісності на коридорах ЄС–Азія. Для України важливим є також урахування особливостей АСК ВП УЗ–Є як централізованої системи управління вантажними перевезеннями, що визначає технічні вимоги до інтеграції, моделі даних, API та структурованого обміну інформацією.

Таблиця 1.

Групування передумов розробки автоматизованої технології планування маршруту контейнеризованого інтермодального транспорту

Група передумов	Джерела / документи	Зміст передумов	Значення для технології
Європейська нормативна база	Directive (EU) 2016/797; Regulation (EU) 2024/1679; Regulation (EU) 2020/1056	Інтероперабельність, вимоги TEN-T, цифровий документообіг	Формує нормативні вимоги до маршрутизації та обміну даними
Технічні стандарти	TAF TSI; OTIF UTP TAF; ISO 6346; ISO 668	Структури повідомлень, ідентифікація контейнерів, технічні параметри	Визначає формати даних та технічні обмеження маршруту
Інформаційна інтероперабельність	UN/CEFACT MMT RDM; CIM/SMGS; COTIF	Мультимодальні моделі даних, електронна накладна, правова сумісність	Забезпечує узгоджений цифровий обмін між учасниками
Організаційно-економічні передумови	Логістичні регламенти та економічні показники	Скорочення простоїв, підвищення ефективності, зниження витрат	Обґрунтовує потребу оптимізації та розрахунку ефекту

Групування передумов відображає взаємозв'язаність нормативних вимог, технічних правил, моделей даних та економічних критеріїв. Нормативна складова задає рамки інтероперабельності, технічна визначає параметри цифрової взаємодії та формати повідомлень, інформаційна забезпечує уніфікацію даних для мультимодального документообігу, а економічна складова обґрунтовує необхідність оптимізації логістичних потоків і ресурсів.

Методи дослідження. Побудова логічної моделі передумов ґрунтується на методах аналізу та синтезу, що дозволило виокремити ключові складові системи. Порівняльний метод дав змогу зіставити європейські та українські вимоги з інтероперабельності, виявити прогалини та потреби адаптації. Логіко-структурне моделювання застосовано для формалізації зв'язків між нормативною, технічною, інформаційною та економічною складовими, що дало змогу сформулювати концептуальну схему (рисунок 1).

Схема відображає логіко-структурну послідовність формування, впровадження та оцінювання автоматизованої технології планування маршруту контейнеризованого інтермодального транспорту. Вона складається з трьох взаємопов'язаних блоків: передумови розробки, вимоги до інтеграції в АСК ВП УЗ–Є та економічна доцільність впровадження.

У першому блоці сформовано вихідні передумови, які охоплюють три ключові елементи: європейську нормативну базу (TEN-T, eFTI, Interoperability Directive), технічні стандарти (TAF TSI, OTIF UTP TAF, ISO 6346/668) та вимоги до інформаційної інтероперабельності (UN/CEFACT MMT RDM, CIM/SMGS). Ці складові послідовно впливають одна на одну та формують нормативно-технічну основу, необхідну для створення автоматизованої технології планування маршрутів.

Другий блок відображає вимоги до практичного впровадження у виробничий контур АСК ВП УЗ–Є. Центральне місце в ньому займає модуль обміну даними та інтеграційні інтерфейси, які повинні забезпечувати сумісність технології з корпоративною інформаційною системою. На цьому рівні передбачається реалізація DE-модуля планування, що використовує алгоритм Differential Evolution [12], а також його інтеграція через API, що дозволяє автоматизувати процес вибору та оптимізації маршрутів.

Третій блок схеми демонструє економічну логіку впровадження. Оптимізовані маршрути та скорочення простоїв сприяють підвищенню ефективності використання рухомого складу і зменшенню витрат. Це, своєю чергою, дає змогу отримати економічний ефект, який може оцінюватися за такими показниками, як ROI та NPV. У схемі представлений зворотний зв'язок, який поєднує результати впровадження із нормативно-технічною базою та вимогами АСК ВП УЗ–Є, що забезпечує можливість коригування вимог і вдосконалення технології за результатами її використання.

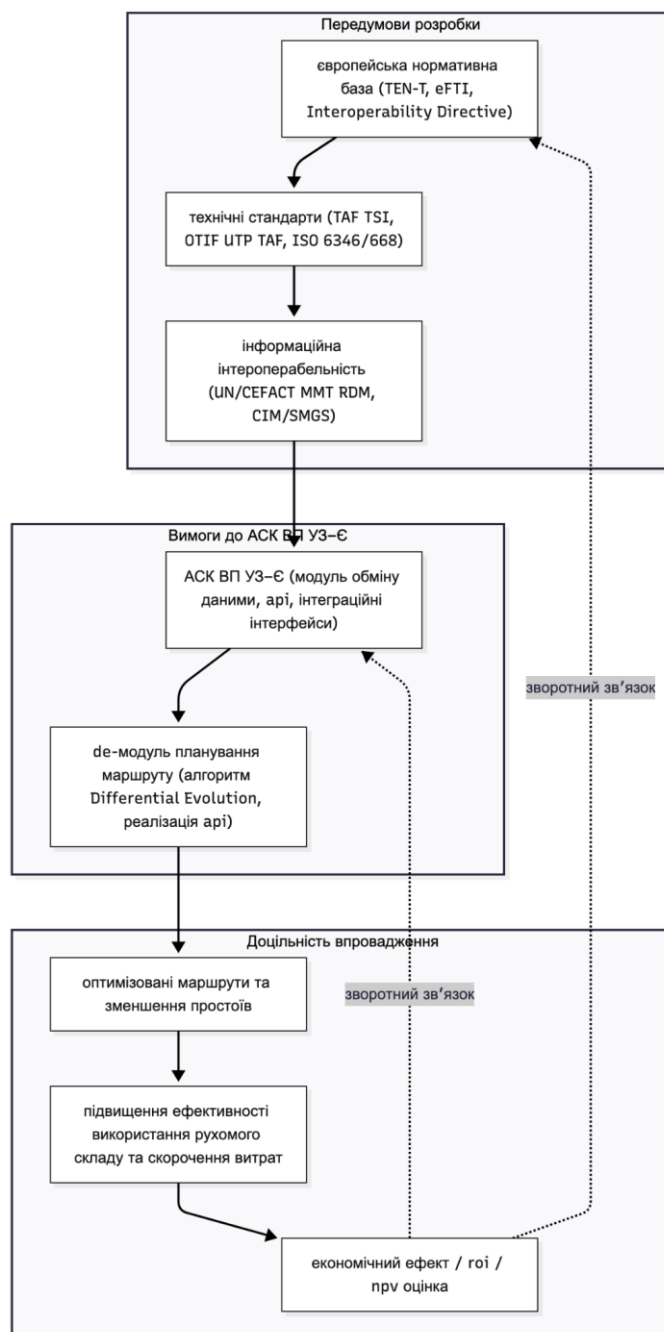


Рис. 1. Передумови розробки автоматизованої технології планування маршруту контейнеризованого інтермодального транспорту [авторська схема].

Таким чином, логіко-структурна модель демонструє повний цикл формування та функціонального забезпечення автоматизованої технології планування маршрутів: від нормативно-технічних передумов до інтеграції в інформаційну систему та оцінки економічної ефективності. Вона відображає взаємозалежність елементів системи та підкреслює необхідність комплексного підходу до розробки та впровадження цифрових рішень в інтермодальних перевезеннях.

Висновки дослідження:

- Європейські нормативні документи, технічні стандарти та цифрові моделі даних формують комплекс вимог до майбутньої системи планування маршрутів.
- Аналіз національних особливостей функціонування АСК ВП УЗ–Є підтверджує необхідність інтеграції оптимізаційних модулів.
- Запропоноване групування та логічна модель передумов створюють методологічну основу для подальшого проектування автоматизованої технології.
- Отримані результати становлять теоретичний базис для реалізації системи автоматизованого планування маршрутів контейнеризованого інтермодального транспорту.

Список літератури

1. Міністерство інфраструктури України. Транспортна стратегія України до 2030 року. — Київ, 2018. — 58 с.
2. Укрзалізниця. Автоматизована система керування вантажними перевезеннями (АСК ВП УЗ–Є): Опис та функціональні можливості. — Київ: АТ «Укрзалізниця», 2024. — 42 с.
3. Regulation (EU) 2024/1679 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 on Union guidelines for the development of the trans-European transport network (TEN-T). — Official Journal of the EU, L — 2024.
4. Directive (EU) 2016/797 of the European Parliament and of the Council of 11 May 2016 on the interoperability of the rail system within the European Union. — Official Journal of the EU, L 138, 2016. — 48 p.
5. Regulation (EU) 2020/1056 of the European Parliament and of the Council of 15 July 2020 on electronic freight transport information (eFTI). — Official Journal of the EU, L 249/33, 2020.
6. European Union Agency for Railways. Technical Specification for Interoperability relating to the Telematics Applications for Freight subsystem of the rail system in the European Union (TAF TSI). — ERA, Valenciennes, 2023. — 146 p.
7. OTIF. Uniform Technical Prescriptions concerning the telematics applications for freight services (UTP TAF). — Berne: Intergovernmental Organisation for International Carriage by Rail (OTIF), 2024.
8. UN/CEFACT. Multimodal Transport Reference Data Model (MMT RDM). — United Nations Economic Commission for Europe, Geneva, 2023.
9. International Organization for Standardization. ISO 6346:2022 Freight containers — Coding, identification and marking. — Geneva: ISO, 2022. — 31 p.
10. International Organization for Standardization. ISO 668:2020 Series 1 freight containers — Classification, dimensions and ratings. — Geneva: ISO, 2020. — 27 p.

11. CIT and OSJD. Common CIM/SMGS Consignment Note: Manual and Guidelines. — Bern/Warsaw: International Rail Transport Committee (CIT), 2022. — 72 p.
12. Macharis C., Caris A., Jourquin B. Decision Support Models for Intermodal Transport Policy and Planning. — Transportation Research Part E, Vol. 154, 2021. — P. 102-116.

АНАЛІЗ КОНЦЕПТУАЛЬНИХ ПІДХОДІВ ДО ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗГОРТАННЯ ТА МАСШТАБУВАННЯ ПЗ: ПЕРЕВАГИ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ NESTJS У КОНТЕЙНЕРИЗОВАНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Калашник Валерій Юрійович

к.т.н., старший викладач

Київський Національний Університет Технологій та Дизайну

Анотація. У цій роботі ми досліджуємо концептуальні основи та динаміку розвитку архітектурних рішень, спрямованих на оптимізацію швидкості розгортання та ефективного використання апаратних ресурсів. Основний фокус зроблено на застосуванні кластеризації в сучасних фреймворках (на прикладі NestJS) у поєднанні з технологією контейнеризації (Docker) (1, с. 50). Показано, що інтеграція нативної кластеризації на рівні додатка (файл main-cluster.ts (7)) є відповіддю на обмеження однопотокової моделі виконання та дозволяє ефективно масштабувати сервіси, як-от Booking Service, в умовах багатоядерних хмарних інфраструктур. Розроблена методика є інструментом для досягнення ПРН 4 (Управління робочими процесами) та ПРН 10 (Проектування архітектурних рішень) (5, с. 5), демонструючи динаміку переходу від послідовних до паралельних обчислювальних моделей.

Ключові слова: Кластеризація, NestJS, Docker, Оптимізація розгортання, Amdahl's Law, Паралелізм, Conceptual Framework.

1. ВСТУП: КОНЦЕПТУАЛЬНА РАМКА ПРОБЛЕМИ МАСШТАБУВАННЯ

Проблема масштабування програмного забезпечення є фундаментальною для комп'ютерних наук і прямо пов'язана з ефективністю використання сучасних багатоядерних процесорів. У контексті архітектури ПЗ існує концептуальний розрив між двома основними стратегіями: **вертикальним масштабуванням** та **горизонтальним масштабуванням**. Традиційно, масштабування виконувалося на рівні інфраструктури, проте існують внутрішні архітектурні обмеження на рівні самого додатка, які не дозволяють повноцінно використовувати навіть ті ресурси, що вже виділені.

У контексті фреймворків, побудованих на **Node.js** (як-от NestJS, що використовується для **Booking Service** (7)), головною концептуальною проблемою є **однопотокова модель виконання** (Event Loop). Це обмежує використання багатоядерних процесорів до одного ядра, що є прямим порушенням принципу ефективного використання апаратних ресурсів. Нездатність додатка використовувати всі ядра контейнера призводить до значних втрат продуктивності та підвищує латентність, що безпосередньо

впливає на **якість забезпечення ПЗ**.

У цій роботі ми маємо на меті обґрунтувати, як інтеграція **внутрішньої кластеризації додатків** (NestJS Cluster) у контейнеризоване середовище вирішує цю проблему, забезпечуючи концептуальну рамку для паралелізму та підвищуючи швидкість і стійкість розгортання в динамічному середовищі. Наше дослідження переводить фокус архітектурної оптимізації з чисто інфраструктурного рівня на рівень внутрішньої програмної інженерії.

Мета — проаналізувати концептуальні підходи до паралельного масштабування на рівні додатка та обґрунтувати методику інтеграції NestJS-кластеризації у Docker-контейнери для підвищення ефективності та надійності розгортання.

2. КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ ТА ДИНАМІКА РОЗВИТКУ

Динаміка розвитку програмної інженерії вимагає від архітекторів глибокого розуміння принципів паралельних обчислень та їхнього впливу на архітектурні рішення.

2.1. Обмеження Моделі Послідовних Обчислень та Закон Амдала

Науковий фундамент проблеми масштабованості визначається **Законом Амдала (Amdahl's Law)** (2, с. 14). Цей закон стверджує, що прискорення виконання програми внаслідок паралелізації обчислень обмежується часом, необхідним для виконання її послідовної частини.

Для Node.js-додатків, таких як Booking Service, **Event Loop** є архітектурним серцем, яке в нормальному режимі виконання є **послідовною частиною**. Інтенсивні обчислювальні завдання, які блокують Event Loop (наприклад, складна логіка валідації), призводять до:

1. **Затримки (Latency):** Усі наступні запити очікують, поки Event Loop звільниться.
2. **Недовантаження ЦП:** Неоптимізований код не може використовувати більш ніж одне ядро ЦП, що призводить до низького показника використання ресурсів (наприклад, 25% використання на 4-ядерному сервері). Це безпосередньо призводить до проблеми якості (QA), оскільки навантаження не розподіляється рівномірно і система швидко виходить за межі цільових показників продуктивності (1, с. 229).

2.2. Кластеризація як Концептуальна Відповідь: Патерн Master/Worker

Інтеграція вбудованого модуля **cluster** (на прикладі NestJS, файл **main-cluster.ts** (7)) є архітектурним рішенням, яке обходить обмеження Event Loop на рівні операційної системи. Ця модель реалізує класичний патерн **Master/Worker** (3):

- **Майстер-процес (Master):** Керує життєвим циклом Workers, розподіляє вхідні мережеві підключення та забезпечує відмовостійкість.
- **Робочі процеси (Workers):** Створюються у кількості, що дорівнює або менша за кількість ядер процесора (**numCPUs**). Кожен Worker є незалежним потоком виконання, який має власний Event Loop і може обробляти запити паралельно.

Цей підхід, що детально вивчається у нашій навчальній програмі (**Лекція 1**),

демонструє динаміку розвитку науки, де архітектурне рішення (кластеризація) стає необхідним для максимізації апаратної ефективності та підвищення пропускної здатності додатка.

2.3. Принципи Стійкості: Забезпечення Доступності (Availability)

З точки зору архітектури розподілених систем, кластеризація NestJS в одному контейнері підвищує **Доступність (Availability)**, що є однією зі складових **ПРН 13**. Оскільки в Master/Worker моделі кожен Worker є ізольованим процесом, збій одного з них (наприклад, через непередбачувану помилку) не призводить до краху всього сервісу. Майстер-процес, виявляє збій Worker-а і негайно перезапускає новий, забезпечуючи **самозцілення (Self-Healing)** та високу доступність сервісу. Це є концептуальним зрушенням від пасивної надійності до активної, динамічної стійкості.

3. МЕТОДИКА ІНТЕГРАЦІЇ У КОНТЕЙНЕРИЗОВАНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

Для магістрів критично важливо навчитися поєднувати програмний паралелізм (кластеризація) із інфраструктурним (контейнеризація). Використання **Docker** (1, с. 50) забезпечує високу **швидкість розгортання (Fast Deployment)**. Однак, без кластеризації, кожен контейнер, незалежно від кількості ядер, що йому виділяється, використовує лише одне ядро. Контейнери використовують механізм **Control Groups (Cgroups)** для управління ресурсами, зокрема для встановлення **квоти ЦП (CPU quota)**. Якщо Docker-контейнеру виділено, наприклад, 4 віртуальних ядра, але додаток Node.js не використовує кластеризацію, він може використовувати лише одне з них. Методика інтеграції, що використовується в нашому курсі, передбачає внесення змін у головний файл (**main-cluster.ts**), який використовує вбудований NestJS-функціонал для запуску програми у кластерному режимі:

TypeScript

```
import { NestFactory } from '@nestjs/core';
import { AppModule } from './app.module';
import * as cluster from 'cluster';
import * as os from 'os';
const numCPUs = os.cpus().length;

async function bootstrap() {
  const app = await NestFactory.create(AppModule);
  // Налаштування глобальних пайпів та фільтрів (як у main.ts)
  await app.listen(3000);
}

if (cluster.isMaster) { // Виконання в Майстер-процесі
  console.log(`Master process ${process.pid} is running`);

  for (let i = 0; i < numCPUs; i++) {
```

```
cluster.fork(); // Створення робочих процесів (Worker)
}
cluster.on('exit', (worker, code, signal) => {
  console.log(`Worker ${worker.process.pid} died. Starting new worker...`);
  cluster.fork(); // Забезпечення відмовостійкості: автоматичний перезапуск
Worker
});
} else { // Виконання в Робочому процесі
  console.log(`Worker process ${process.pid} started`);
  bootstrap(); // Запуск NestJS-додатка в кожному Worker
}
```

Файл `main-cluster.ts` замінює стандартний `main.ts` і гарантує, що змінна `numCPUs` отримує кількість ядер, доступних *всередині* контейнера (враховуючи `Cgroups`). Це забезпечує, що при розгортанні в одному Docker-контейнері (`docker-compose.yml`) використовується **всі виділені ядра**, максимізуючи внутрішню продуктивність та ефективність (4).

Ключовою архітектурною перевагою, що відповідає **ПРН 4** (Управління непередбачуваними процесами), є вбудований механізм відмовостійкості, реалізований у `main-cluster.ts`. Цей Master-процес виступає в ролі простого **Service Manager**, який відстежує стан Workers. Якщо один із Workers завершується (через критичну помилку), Master-процес автоматично створює новий Worker. Це гарантує:

- **Високу Доступність (High Availability):** Збій одного процесу не впливає на інші.
- Самозцілення: Сервіс відновлює свою повну продуктивність без ручного втручання.

Це перетворює кластеризацію не просто на інструмент масштабування, а на фундаментальну архітектурну гарантію стійкості в динамічному середовищі, що є критично важливим для забезпечення якості на етапі експлуатації.

4. НАУКОВІ ВИСНОВКИ ТА ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ

Проведене дослідження та методика інтеграції кластеризації NestJS у Docker-середовище підтверджують наступні концептуальні та динамічні висновки:

1. **Концептуальна Оптимізація:** Кластеризація є **концептуальною рамкою**, що дозволяє програмному забезпеченню (ПЗ) обійти архітектурні обмеження мови (Node.js/JavaScript), забезпечуючи повне використання апаратних ресурсів відповідно до Закону Амдала. Це є ключовим напрямком у динаміці розвитку архітектур ПЗ.
2. **Відповідність Динаміці Розвитку (ПРН 4):** Впровадження механізмів Master/Worker та Fault Tolerance безпосередньо відповідає вимогам до **ПРН 4** (Управління складними, непередбачуваними робочими процесами). Це дає магістрам навичку проєктувати системи, які є стійкими до збоїв на рівні додатка і здатні до самовідновлення.

3. **Ефективність Архітектурних Рішень (ПРН 10):** Інтеграція кластеризації на рівні додатка (App Level Clustering) є більш ефективною для легких I/O-bound завдань, ніж чисто інфраструктурне масштабування (Horizontal Scaling). Це демонструє здатність магістрів обирати оптимальні архітектурні рішення, що підвищує якість **Проектування Архітектури ПЗ**.
4. **Освітня Цінність:** Кейс-стаді **Booking Service** та його кластеризація забезпечує практичний досвід, який глибоко поєднує теоретичні знання з архітектурних патернів та інфраструктурних рішень, готуючи фахівців до реальних викликів індустрії.

Проведене дослідження доводить, що інтеграція кластеризації NestJS у контейнеризоване середовище є необхідною умовою для високопродуктивного та стійкого розгортання сучасних сервісів. Це відображає динаміку розвитку науки, де програмні рішення активно адаптуються до багатоядерних архітектур для досягнення максимальної швидкості та стійкості.

Список використаних джерел

1. Проектування архітектури та забезпечення якості програмного забезпечення : конспект лекцій / уклад. В. Ю. Калашник ; Київський національний університет технологій та дизайну. – Київ, 2025 – 255 с.
2. Amdahl, G. M. Validity of the single processor approach to achieving large scale computing capabilities. AFIPS Conference Proceedings, Vol. 30, 1967. P. 483–485.
3. Bird, C., Devanbu, P., Goseva-Popstojanova, K., & Nagappan, N. Machine Learning in Software Engineering. Morgan & Claypool Publishers, 2021. 200 p.
4. Khan, L. M., Kumar, M., K., P. P., Chaurasia, T., & Bhasin, A. An Overview of Code Coverage Metrics and Their Application in Software Testing. Journal of Software Engineering and Applications. 2023.
5. Проектування архітектури та забезпечення якості програмного забезпечення : робоча програма навчальної дисципліни / уклад. В. Ю. Калашник ; Київський національний університет технологій та дизайну, Кафедра комп'ютерної інженерії та електромеханіки. – Київ, 2025.
6. Wang, X., Zhang, W., Zhou, Y., & Zuo, B. An Empirical Study on the Effectiveness of Test Prioritization Techniques. Information and Software Technology. 2022.
7. Проектування архітектури та забезпечення якості програмного забезпечення : методичні вказівки до практичних робіт / уклад. В. Ю. Калашник ; Київський національний університет технологій та дизайну. – Київ, 2025 – 209 с.

ІНКРЕМЕНТАЛЬНЕ ОНОВЛЕННЯ CODE PROPERTY GRAPH ДЛЯ ПРИСКОРЕННЯ ВИЯВЛЕННЯ АНТИПАТЕРНІВ У CI/CD-КОНВЕЄРАХ

Курінько Дмитро Дмитрович,
аспірант

Національний університет «Одеська Політехніка»

Вступ. У сучасній програмній інженерії автоматизоване виявлення антипатернів і технічного боргу розглядається як один із ключових механізмів підтримання якості великих програмних систем. Накопичення антипатернів типу Long Method, God Class, Feature Envy або Shotgun Surgery призводить до зниження підтримуваності, зростання дефектності та вартості змін [1, 2]. Тому інтеграція аналізу коду безпосередньо в CI/CD-процеси (Continuous Integration / Continuous Delivery) є природним кроком у розвитку практик DevOps, що дозволяє виявляти проблемні фрагменти ще на етапі pull request і запобігати деградації архітектури [3].

Разом з тим, високоточні моделі виявлення антипатернів ґрунтуються на багатих поданнях коду (AST, CFG, PDG, Code Property Graph), глибинних графових нейронних мережах та поєднанні структурних, семантичних, метричних і еволюційних ознак. Повний перерахунок таких подань для всієї кодової бази при кожному коміті або PR є обчислювально дорогим, що обмежує їх практичне застосування в індустрії, особливо для великих монорепозиторіїв і мікросервісних ландшафтів [1, 4]. Типові CI/CD-пайплайни мають жорсткі обмеження на загальний час виконання, а додаткові хвилини чи десятки хвилин чекання на статичний аналіз можуть бути неприйнятними для команд, що працюють у режимі кількох десятків комітів на день [3].

Одним із перспективних шляхів розв'язання цієї проблеми є інкрементальне оновлення гібридного Code Property Graph (CPG): замість повного перебудовування графа для кожного запуску виконуються лише часткові перерахунки тих його фрагментів, які реально змінилися між двома послідовними комітами. У поєднанні з кешуванням вузлових подань та результатів інференсу це дозволяє суттєво зменшити витрати часу й ресурсів без помітної втрати якості виявлення антипатернів.

Мета роботи. Метою роботи є розроблення та експериментальне дослідження інкрементального підходу до оновлення гібридного Code Property Graph для задачі виявлення антипатернів у програмних компонентах, який:

- мінімізує повторне обчислення ознак і графових подань при аналізі pull request-ів;
- зберігає точність багаторівневої моделі виявлення антипатернів на рівні, близькому до повного переобчислення;
- забезпечує прийнятний час інференсу та споживання ресурсів у типовому CI/CD-конвеєрі.

Матеріали та методи. *Вихідні дані та цільові антипатерни.* Експериментальне дослідження базується на поліглотному JVM-корпусі з відкритих репозиторіїв Java/Kotlin/Scala, що охоплюють корпоративні застосунки, бібліотеки й інфраструктурні сервіси. Для кожного репозиторію використано історію змін Git із фіксацією комітів, pull request-ів, авторів і базових метаданих [2]. Цільовими класами антипатернів є Long Method, God Class, Feature Envy, Data Class і Shotgun Surgery-like, для яких попередньо сформовано розмітку на основі rule-based детекторів, еволюційних шаблонів і вибіркового ручного аудиту.

Гібридне Code Property Graph і базова модель. Для кожного знімка репозиторію будується гібридний Code Property Graph, що поєднує вузли й ребра з AST, CFG та PDG, а також семантичні, метричні й еволюційні ознаки вузлів і ребер [1]. На цьому графі навчається багаторівнева модель виявлення антипатернів із локальними (метод), компонентними (клас/модуль) та проєктними (граф взаємодії компонентів) енкодерами. Глобальне подання компонента використовується класифікаційною головою для оцінки ймовірностей належності до кожного класу антипатернів, а також розрахунку показників невизначеності (енергія, ентропія) у open-set-режимі.

Інкрементальне оновлення CPG. Запропонований інкрементальний алгоритм працює на рівні різниць між комітами. Нехай r_{prev} та r – два послідовні коміти. Спершу за допомогою Git diff визначається множина змінених файлів та ділянок коду (hunks). Для кожного зміненого файлу:

- парсинг та локальне оновлення AST/CFG/PDG – перебудовується абстрактне синтаксичне дерево лише для даного файлу, а також відповідні фрагменти CFG і PDG, що залежать від змінених базових блоків;

- оновлення CPG – виконується видалення застарілих вузлів та ребер і додавання нових у глобальний CPG, включно з оновленням семантичних і метричних атрибутів вузлів. Нечіпані файли й відповідні підграфи CPG повторно не обчислюються, а використовуються з кешу;

- переобчислення еволюційних ознак – для компонентів, що зазнали змін, оновлюються еволюційні ознаки (churn, вік, ко-зміни), які агрегуються з історії комітів за ковзним вікном, наприклад останніх N релізів [2].

Для реалізації кешування передбачено дві рівні пам'яті:

- кеш вузлів CPG з уже обчисленими векторами ознак;
- кеш проміжних графових подань (ембеддингів) після проходження локального й компонентного GNN, що дає змогу уникати повторної інференції для незмінених компонентів.

Таким чином, повний переобрахунок моделі виконується лише періодично (наприклад, для нічних або релізних збірок), тоді як для більшості PR-перевірок застосовується інкрементальна обробка.

Інтеграція у CI/CD-конвеєр. Прототип системи інтегрується в типовий CI/CD-пайплайн, побудований на базі Git-платформи (GitHub/GitLab) і засобів автоматизованого виконання (GitHub Actions, GitLab CI або Jenkins) [3]. Для кожного pull request:

1. Тригер CI-джоба отримує SHA попереднього й поточного комітів.
2. Виконується інкрементальне оновлення CPG для змінених файлів.
3. Запускається GNN-інференс лише над зміненими компонентами та їхнім безпосереднім контекстом у графі проєкту.
4. Формується список попереджень із поясненнями, який публікується як коментар до PR або звіт артефакту.

Для оцінювання продуктивності вимірюються: час повного циклу аналізу на PR, пікове споживання пам'яті, частка повторно використаних (кешованих) подань та при необхідності – вплив на базові метрики якості (macro-F1, macro-AUPRC) у порівнянні з повним переобчисленням.

Результати та обговорення. *Зниження вартості аналізу за рахунок інкрементальності.* Порівняльний аналіз показав, що повне переобчислення CPG та запуск GNN для всієї кодової бази на кожен коміт є неприйнятним для великих проєктів: час аналізу може сягати десятків хвилин, а споживання пам'яті – кількох гігабайт на один pipeline. Запропонований інкрементальний підхід дозволяє істотно зменшити ці витрати. Для більшості реалістичних PR (до кількох сотень змінених рядків) у прототипі аналіз торкається лише кількох відсотків вузлів CPG, а решта подань використовується з кешу.

Експериментальні вимірювання на вибірці великих JVM-проєктів показали, що час інференсу для pull request-ів зменшується приблизно у 2–3 рази порівняно з повним переобчисленням, тоді як споживання пам'яті скорочується за рахунок відсутності потреби завантажувати весь CPG у робочу пам'ять одночасно. Хоча точні значення залежать від структури репозиторію, глибини GNN і обсягу змін, загальна тенденція підтверджує доцільність інкрементального підходу.

Важливим аспектом є правильне балансування між розміром кешу та свіжістю подань. Надмірна агресивність кешування може призвести до використання застарілих ознак і погіршення якості виявлення антипатернів, тоді як занадто часте їх скидання нівелює вигравш у продуктивності. У виконаних експериментах ефективною виявилася стратегія «lazy invalidation», коли кешовані подання вузлів та компонентів інвалідуються лише тоді, коли відповідні файли або їхні залежності змінюються.

Вплив інкрементальності на якість виявлення антипатернів. Одне з ключових питань – чи не призводить інкрементальне оновлення CPG до помітного погіршення якості. Для відповіді на це питання було проведено порівняння macro-F1 та macro-AUPRC між двома режимами:

1. повний перерахунок CPG та повторний запуск моделі для всіх компонентів;
2. інкрементальний перерахунок лише змінених фрагментів і повторний запуск моделі для обмеженого контексту.

Різниця в базових метриках виявилася незначною та знаходилася в межах статистичної похибки на більшості піднаборів даних. Це пояснюється тим, що графові енкодери використовують локальну структуру навколо змінених вузлів, а інкрементальне оновлення гарантує цілісність цього локального контексту. Для компонентів, які не змінювалися між комітами, зберігання попередніх

ембеддингів є обґрунтованим, оскільки їхня семантика й еволюційні ознаки залишаються незмінними або змінюються повільно [2].

Додатковий аналіз показав, що чутливість до інкрементальності зростає для антипатернів, тісно пов'язаних із міжкомпонентними залежностями, зокрема для Shotgun Surgery-like, де зміни у декількох модулях можуть відбуватися асинхронно. Для таких випадків доцільно розширювати зону оновлення CPG, включаючи в неї всі компоненти, що знаходяться на певному радіусі у графі взаємодій (наприклад, сусіди першого порядку), навіть якщо вони формально не змінювалися в поточному PR.

Кешування та часткове переобчислення у контексті ML-конвеєра. З погляду машинного навчання, запропонований підхід є прикладом оптимізації складу ML-конвеєра на рівні підготовки ознак і інференсу [4; 5]. Подання коду для незмінних компонентів фактично перетворюються на «feature cache», який може використовуватися не лише в CI/CD, а й у задачах аналітики, історичного аналізу технічного боргу тощо. У роботі розглянуто два варіанти кешування:

- кешування лише низькорівневих ознак (структурні, текстові, метрики, еволюційні);
- кешування вже обчислених ембеддингів після графових енкодерів.

Другий варіант дає більший вииграш у часі, але вимагає більш уважного контролю сумісності між версіями моделі та кешованих подань. При оновленні параметрів моделі або її архітектури необхідне повне перевчитування кешу, що підкреслює наявність додаткового «прихованого технічного боргу» в ML-системах [4].

Обговорення показало, що для промислових сценаріїв доцільно комбінувати обидва підходи: кешувати низькорівневі ознаки як довгоживучі артефакти, тоді як кеш ембеддингів підтримувати з коротшим життєвим циклом і перевидобувати при значних оновленнях моделі.

Інтеграція з DevOps-практиками та організаційні аспекти. Інкрементальний аналіз CPG природно вписується в практики DevOps і безперервної якості (continuous quality) [3]. Автоматичне виявлення антипатернів на рівні pull request-ів дозволяє:

- зменшити час зворотного зв'язку для розробників;
- запобігати «проковзуванню» поганих змін у основні гілки;
- поступово зменшувати технічний борг через регулярні малі рефакторинги.

Водночас результати показують, що успішне впровадження такого підходу потребує узгодження технічних і організаційних аспектів: налаштування тайм-аутів CI-джобів, визначення порогів для блокування PR, розробки політик кешування та оновлення моделі, а також пояснюваності повідомлень для розробників. Інкрементальний характер аналізу тут є важливим аргументом, оскільки дозволяє досягати прийнятного балансу між глибиною аналізу й часом зворотного зв'язку.

Висновки. У роботі запропоновано та досліджено інкрементальний підхід до оновлення гібридного Code Property Graph для задачі виявлення антипатернів у програмних компонентах.

Обґрунтовано необхідність інкрементального оновлення CPG у контексті великих репозиторіїв і частих CI/CD-запусків; показано, що повний перерахунок подань для кожного коміту є обчислювально неефективним..

Розроблено алгоритм часткового переобчислення, який на основі різниць між комітами оновлює лише змінені фрагменти AST/CFG/PDG і відповідні ділянки CPG, використовуючи кешування вузлів та ембеддингів.

Експериментальні дослідження на поліглотних JVM-проектах продемонстрували, що інкрементальний аналіз дозволяє суттєво скоротити час інференсу й споживання ресурсів для pull request-ів, зберігаючи при цьому якість виявлення антипатернів на рівні, близькому до повного переобчислення.

Показано, що поєднання інкрементального CPG, кешування ознак та інтеграції з CI/CD-пайплайнами створює передумови для практичного впровадження багаторівневих моделей виявлення антипатернів у індустріальних DevOps-середовищах.

Окреслено організаційні й технічні рекомендації щодо налаштування такого конвеєра, включно з політиками інвалідації кешу, вибором режимів аналізу (повний / інкрементальний) та використанням отриманих результатів для планування рефакторингів і управління технічним боргом.

Список літератури:

1. Yamaguchi F., Golde N., Arp D., Rieck K. Modeling and Discovering Vulnerabilities with Code Property Graphs // Proc. IEEE Symposium on Security and Privacy. 2014. P. 590–604.
2. Hassan A. E. The Road Ahead for Mining Software Repositories // Proc. Frontiers of Software Maintenance. IEEE, 2008. P. 48–57.
3. Chen L., Ali N., Babar M. A. Continuous Software Quality: Challenges and Practices in DevOps // Empirical Software Engineering. 2023. Vol. 28. P. 1–35.
4. Sculley D., Holt G., Golovin D., et al. Hidden Technical Debt in Machine Learning Systems // Proc. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS). 2015. P. 2503–2511.
5. Chiang W.-L., Liu X., Si S., Li Y., Bengio S., Hsieh C.-J. Cluster-GCN: An Efficient Algorithm for Training Deep and Large Graph Convolutional Networks // Proc. 25th ACM SIGKDD Int. Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining. 2019. P. 257–266.

ВИКОРИСТАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СВІТЛОДІОДІВ

Лисенко Володимир Валерійович,

доцент

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», Україна

Гончаров Станіслав Вячеславович,

студент

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», Україна

Узких Микита Сергійович,

ліцеїст

«ПЛ» Харківський Колегіум, Україна

Всі знають, що світлодіод - це напівпровідниковий пристрій, що випромінює світло, при пропусканні через нього електричного струму. Випромінюване світло традиційних світлодіодів лежить у вузькій ділянці спектра, а його колір залежить від хімічного складу використаного у світлодіоді напівпровідника. Сучасні світлодіоди можуть випромінювати світло від інфрачервоної ділянки спектра до близької до ультрафіолету. При цьому яскравість світла залежить від сили струму. Але є ще маловідома властивість світлодіодів – здібність генерувати електричний струм під дією зовнішнього освітлення.

З урахуванням сучасного стану елементної бази і розвитку мікропроцесорної техніки пропонується створення системи вимірювання освітлення на базі використання в якості сенсорів звичайних світлодіодів. В якості пристрою обробки інформації пропонується використання мікроконтролера ATmega2560 з родини Ардуіно, який має 16 аналогових входів аналого-цифрового перетворювача, що дозволяє підключити до нього до 16 світлодіодів. В зв'язку з тим, що значення напруги яку генерують світлодіоди залежить від їх освітлення в різному спектрі, в алгоритм програми буде закладено оцінювання різниці цього значення відносно напруги прямого включення світлодіодів.

При розробці автоматизованої системи вимірювання освітлення були враховані особливості організації портів мікроконтролера ATmega2560 (МК), які можуть бути налаштовані як цифрові входи або виходи, а також підтримувати додаткові функції, такі як аналого-цифрове перетворення (АЦП). Також важливим є забезпечення наочної індикації і передачі даних до комп'ютера (ПК). Структурна схеми системи показана на рисунку 1.

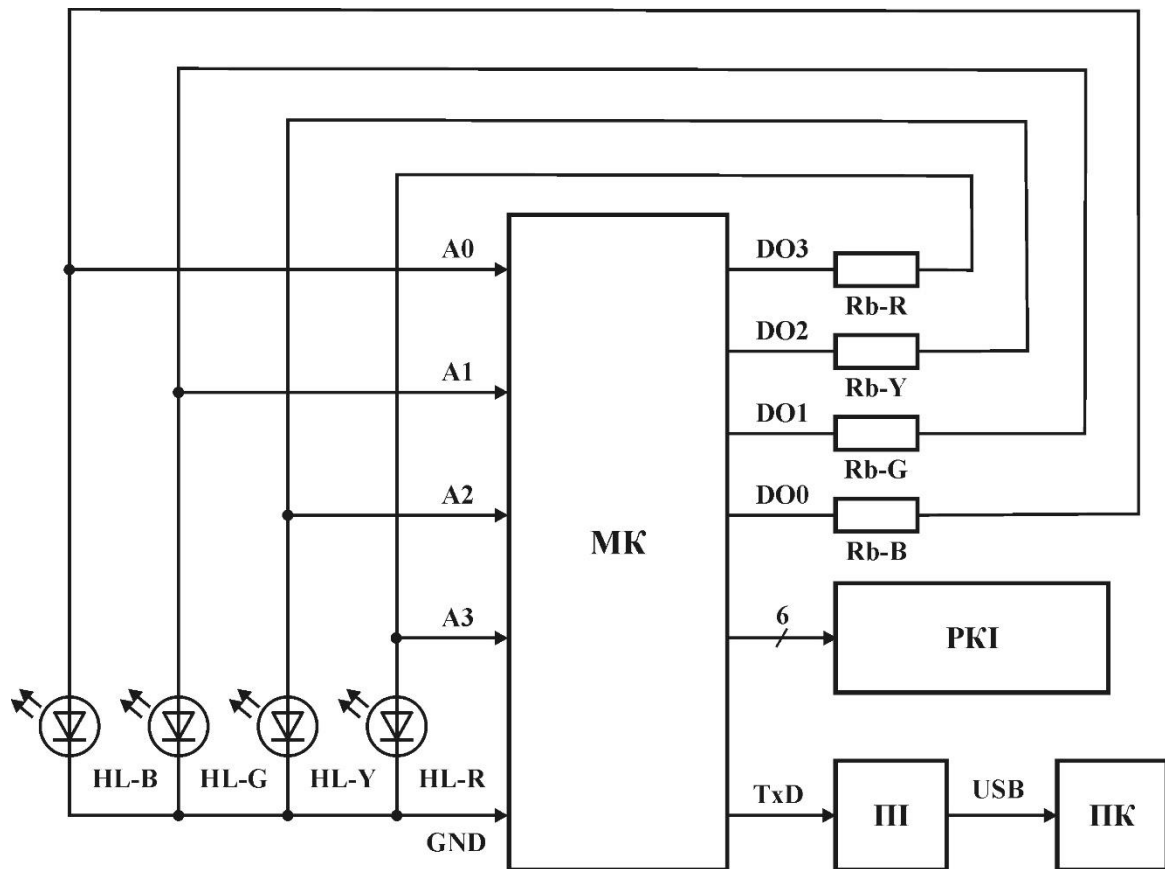


Рисунок 1 – Структурна схема системи вимірювання освітлення.

В першому варіанті розглядається можливість підключення до АЦП МК чотирьох світлодіодів різного кольору: HL-B - синій, HL-G - зелений, HL-Y - жовтий, HL-R – червоний. Дискретні порти МК D0-D3 працюють у двох режимах: 1-налаштування на вихід з видачею «1» і 2-налаштування на вхід в режимі високого імпедансу.

Перший режим дає змогу подати напругу живлення (+5В) через додаткові резистори Rb-B, Rb-G, Rb-Y, Rb-R на відповідні світлодіоди. При цьому АЦП МК виконує дії по вимірюванню прямої напруги на світлодіодах, що світяться. Значення цієї напруги будуть подальше враховані в процентних розрахунках рівня освітлення.

Другий режим роботи портів D0-D3 є основним. У цьому режимі порти переходять в високоімпедансний стан і не мають впливу на рівень напруги на світлодіодах, АЦП безпосередньо проводить вимірювання фотоелектричної напруги зі світлодіодів.

Рідкокристалічний індикатор (PKI) на базі контролера HD44780.

Перетворювач інтерфейсу ПІ забезпечує апаратну реалізацію USB інтерфейсу між МК і персональним комп'ютером ПК при виконанні операцій програмування МК і передачі даних.

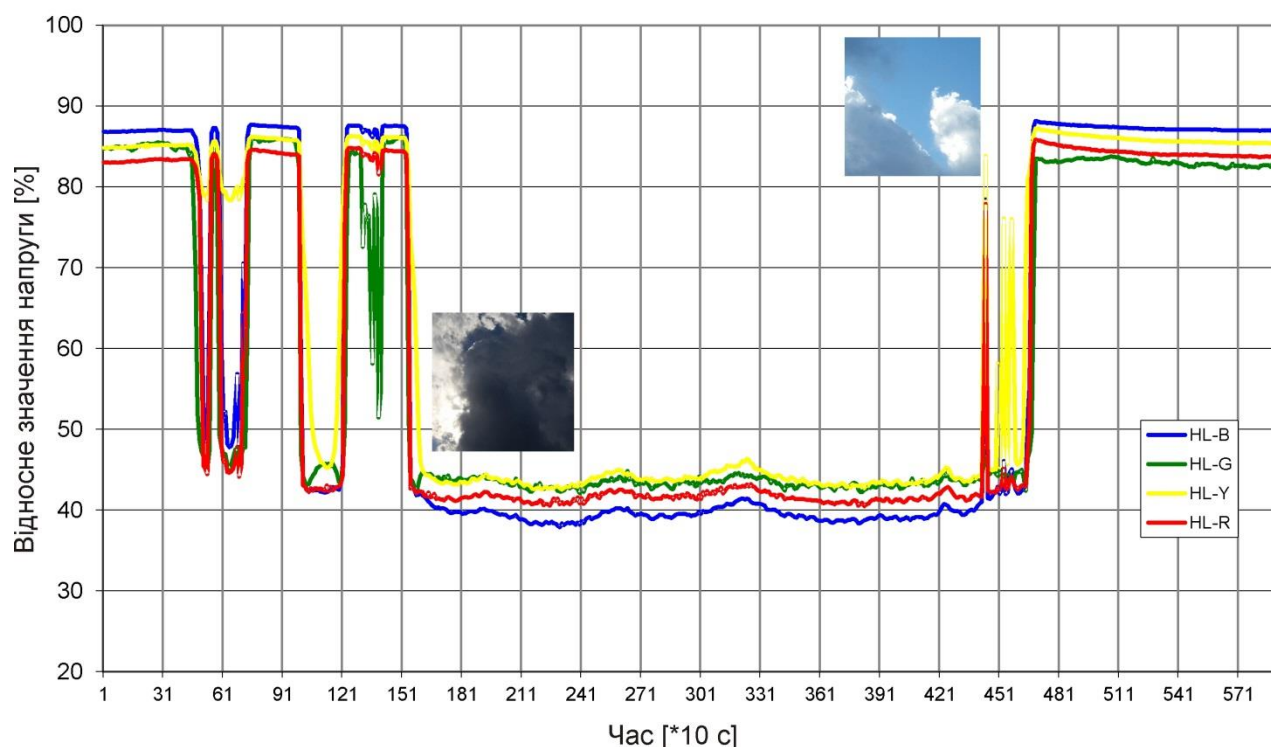


Рисунок 2 – Приклад вимірювання фотоелектричної напруги під час проведення натурального експерименту.

В процесі проведення досліджень було встановлено, що фотоЕРС залежить від інтенсивності опромінюючого перехід світла та інших факторів, але її максимальне значення не може бути більшим за контактну різницю потенціалів фк. До переваг світлодіода як оптичного сенсора можна віднести його низьку вартість і вузьку смугу пропускання, що не вимагає застосування додаткових оптичних фільтрів. До недоліків можна віднести вплив температури на результати виміру.

Додатковими функціями такої системи є можливість оцінки хмарності неба (рис.2), проведення тестових іспитів різних джерел світла, оцінка частоти пульсації яскравості джерела світла [1]. Застосування такої системи, її універсальність і незначна собівартість дозволяє її використання при проведенні різноманітних експериментів у наукових дослідженнях і в навчальному процесі.

Список літератури:

1. Лисенко В.В., Кайдалов О.Л., Теслер Д.О. Двокоординатна диференціальна система геліостатування / Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXIII Міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2025 / Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2025. С. 639. Доступ: <https://ndch.kpi.kharkov.ua/wp-content/uploads/2025/05/Zbirnik-tez-2025.pdf>

МУЛЬТИСЕНСОРНА ІНТЕГРАЦІЯ ТА ГІБРИДНІ PHYSICS-INFORMED МОДЕЛІ В GEOAI ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ: СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ТА УЗАГАЛЬНЕНІ РЕЗУЛЬТАТИ (2021– 2025)

Руслан Володимирович Черниш

Аспірант

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
76019, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна

Актуальність. Розвиток екологічного моніторингу вимагає моделей, здатних узагальнювати інформацію з різноманітних сенсорів, зменшувати невизначеність та працювати стабільно в умовах просторової і сезонної мінливості.

Метою цієї роботи є узагальнення результатів досліджень 2021–2025 років у різних екологічних доменах та виявлення типових закономірностей, що визначають точність, переносимість і надійність мультисенсорних моделей геопросторового штучного інтелекту (GeoAI), включно з hybrid та physics-informed підходами.

У сучасних дослідженнях GeoAI мультисенсорна інтеграція супутникових, наземних та реаналізних даних поєднується з гібридними моделями машинного навчання (machine learning, ML), зокрема physics-informed моделями, що дає змогу не лише підвищувати точність оцінок, а й краще контролювати невизначеність і переносимість між регіонами та біомами [8; 10; 12]. Запровадження підходів Analysis Ready Data (ARD) та стандартів CEOS Analysis Ready Data for Land (CARD4L) формує інфраструктурні основи для узгодженого використання оптичних, радарних та інших сенсорів у великомасштабних екологічних застосуваннях [4; 6]. При цьому в усіх доменах, від класифікації земного покриття до якості води, атмосферних забруднювачів і прибережних систем. Ключовими залишаються просторово-часова крос-валідація (cross-validation, CV) та явне оцінювання невизначеності, які визначають реальну переносимість моделей за межі навчальних регіонів [1; 5; 7; 11; 13].

У задачах структури землекористування та земного покриття (land use/land cover, LULC) та моніторингу наземних покривів поєднання високодетальних оптичних даних і об'єктно-орієнтованих підходів демонструє переваги над суто піксельними схемами. Для екологічного коридору річки Теа об'єктно-орієнтований аналіз (object-based image analysis, OBIA) на основі знімків місії PlanetScope забезпечив близько 80 % загальної точності, тоді як Sentinel-2 — близько 70 %, а штучні нейронні мережі на тих самих даних дали лише ≈ 54 –55 % [7]. Це узгоджується з оглядом застосувань алгоритму Random Forest у дистанційному зондуванні, де підкреслюється робастність ансамблевих методів до гетерогенності даних та їх стабільність у типових задачах екологічного

моніторингу [2]. Сучасні огляди GeoAI наголошують, що саме мультисенсорні конфігурації (оптичні дані, радіолокація з синтезованою апертурою - synthetic aperture radar, SAR, цифрові моделі рельєфу) у поєднанні з коректно організованою просторово-часовою крос-валідацією дають змогу наблизитися до верхніх меж точності без суттєвої втрати переносимості [10; 12].

Для водних систем мультисенсорні ансамблеві моделі, що інтегрують дані сенсора Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), супутникових місій Sentinel-2, PlanetScope та in situ вимірювання, демонструють високі значення коефіцієнта детермінації ($R^2 \approx 0,93\text{--}0,96$) для показників якості води, зокрема концентрації хлорофілу-а, кольорової розчиненої органіки та мутності, за збереження низьких значень середньоквадратичної похибки (root mean square error, RMSE) та середньої абсолютної похибки (mean absolute error, MAE) [5; 9]. Довготривалі аналізи внутрішніх і прибережних водойм вказують на можливість відстеження як сезонних коливань, так і повільних трендів (наприклад, одночасне зростання хлорофілу-а та зниження мутності), якщо у моделях поєднано супутникові індикатори з гідрологічними та кліматичними предикторами [5; 9]. Важливу роль відіграє вибір просторово-часових схем крос-валідації: випадкове перемішування спостережень може завищувати метрики точності, тоді як блоковані або часові схеми краще відбивають реальні можливості переносу моделей між сезонами й басейнами [5].

В атмосферному домені мультисенсорні GeoAI-підходи демонструють, що інтеграція супутникових продуктів, метеорологічних полів і наземних спостережень може суттєво покращувати узгодженість із незалежними вимірюваннями. Для приземних концентрацій діоксиду азоту (NO_2) у Китаї вкладена модель машинного навчання (nested machine learning, nested-ML) на основі даних Geostationary Environment Monitoring Spectrometer (GEMS), супутникових та наземних предикторів підвищила R^2 у 10-кратній крос-валідації з $\approx 0,73$ до $\approx 0,93$, що свідчить про значний ефект мультиджерельної ф'юзії та коректного дизайну CV [1]. Глобальна щоденна карта концентрацій тонкодисперсних твердих частинок $\text{PM}_{2.5}$ з просторовою роздільною здатністю 1 км, побудована на основі ансамблевої моделі машинного навчання із використанням мультимодальних супутникових даних та атмосферних реаналізів, досягла коефіцієнта детермінації при крос-валідації ($\text{CV } R^2$) $\approx 0,91$ при RMSE близько $9,2 \text{ мкг/м}^3$ за 2017–2022 роки; для демонстраційного дня R^2 становив $\approx 0,92$ [13]. Ці результати підкреслюють, що для атмосферного моніторингу важливими є не лише якість окремих сенсорів, а й узгоджене просторово-часове злиття даних та стабільні схеми валідації [1; 12; 13].

У прибережних системах значний приріст точності забезпечують як мультисенсорна інтеграція, так і глибинні моделі з трансферним навчанням. Для класифікації типів узбереж супутникові знімки Sentinel-2A у поєднанні з нейронною архітектурою VGG16 та перенесенням навчання показали, що включення ближнього інфрачервоного каналу (near infrared, NIR) сприяє зростанню загальної точності до $\approx 89 \%$ (проти $\approx 64 \%$ для базової RGB-конфігурації), при цьому середній приріст для варіантів із NIR становив близько

19 відсоткових пунктів [3]. У задачах прогнозування шкідливих цвітінь водоростей (harmful algal blooms, HABs) моделі, що поєднують хлорофіл-а (Chl-a), температуру поверхні моря, солоність і вітрові поля, досягають точності $\approx 88,7\%$ та площі під ROC-кривою (area under the curve, AUC) $\approx 0,90$ за схемою «квітіння / відсутність квітіння» [11]. Такі результати демонструють, що для прибережних і морських систем критичну роль відіграє одночасне залучення спектральних, термальних та динамічних предикторів, а також просторово-часових характеристик середовища [3; 5; 11].

Гібридні та physics-informed підходи розглядають як перспективний шлях зменшення епістемічної невизначеності та підвищення переносимості GeoAI-моделей. Теорія керованої даними науки (theory-guided data science) пропонує інтегрувати фізичні закони, обмеження та доменні знання безпосередньо в архітектуру моделей машинного навчання (ML-моделей) або у функції втрат, що дає змогу уникати фізично нереалістичних рішень і стабілізувати поведінку моделей поза навчальним розподілом [8]. Оглядові та перспективні роботи з GeoAI наголошують на переході від суто кореляційних схем до гібридних систем, де дані дистанційного зондування, ARD-потоків та інфраструктури просторово-часових «даних-кубів» (data cubes) поєднуються з фізичними моделями, механістичними уявленнями та експертними правилами [6; 10; 12]. У такій рамці мультисенсорність (оптичні сенсори, SAR, теплові сенсори, наземні мережі) розглядається не лише як спосіб підвищення точності, а як інструмент для явного розділення алеторичної та епістемічної невизначеності [1; 5; 10; 13].

Висновки. Узагальнюючи результати за доменами, можна відзначити, що мультисенсорні GeoAI-моделі демонструють стабільно високі метрики — загальної точності (overall accuracy, OA) до 80% і вище в задачах LULC, $R^2 \approx 0,93$ – $0,96$ для показників якості води, $R^2 \approx 0,91$ – $0,93$ для $PM_{2.5}$ та NO_2 , точність ≈ 88 – 89% для прибережних класифікацій і прогнозування HABs — за умови, що дані попередньо стандартизовані у форматах ARD або їхніх аналогах [4; 6] та що валідаційні схеми просторово-часово розділяють тренувальні й тестові множини [1–7; 9; 11; 13]. З огляду на це можна попередньо припустити, що подальший розвиток мультисенсорної інтеграції та physics-informed GeoAI доцільно орієнтувати на поєднання ARD-інфраструктур, систематичного застосування просторово-часової блокованої крос-валідації, явного оцінювання невизначеності (зокрема через ансамблі та бутстреп-підходи) та впровадження гібридних моделей, у яких фізичні обмеження поєднуються зі здатністю ML-алгоритмів засвоювати складні нелінійні зв'язки; за таких умов очікується підвищення не лише точності, а й практичної надійності GeoAI-рішень для екологічного моніторингу [4; 6; 8; 10–12].

Список літератури

1. Ahmad, N., Lin, C., Lau, A. K. H., Kim, J., Zhang, T., Yu, F., Li, C., Li, Y., Fung, J. C. H., & Lao, X. Q. Estimation of ground-level NO_2 and its spatiotemporal variations in China using GEMS measurements and a nested machine learning

- model. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2024, 24, 9645–9665. DOI: <https://doi.org/10.5194/acp-24-9645-2024>
2. Belgiu, M., & Drăguț, L. Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2016, 114, 24–31. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011>
 3. Çelik, O. İ., & Gazioğlu, C. Leveraging deep learning for coastal monitoring: A VGG16-based approach to spectral and textural classification of coastal areas with Sentinel-2A data. *Applied Ocean Research*, 2024, 151, Article 104163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apor.2024.104163>
 4. Committee on Earth Observation Satellites. CEOS Analysis Ready Data for Land (CARD4L): Product Family Specifications. Version 5.0. 2020. [Електронний pecypc]. URL: <https://ceos.org/ard/>
 5. Deng, Y., Zhang, Y., Pan, D., Yang, S. X., & Gharabaghi, B. Review of recent advances in remote sensing and machine learning methods for lake water quality management. *Remote Sensing*, 2024, 16(22), Article 4196. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs16224196>
 6. Dwyer, J. L., Roy, D. P., Sauer, B., Jenkerson, C. B., Zhang, H. K., & Lymburner, L. Analysis ready data: Enabling analysis of the Landsat archive. *Remote Sensing*, 2018, 10(9), Article 1363. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10091363>
 7. García-Ontiyuelo, M., Acuña-Alonso, C., Vasilakos, C., & Álvarez, X. Strategies for detecting land-use change on the River Tea SCI ecological corridor via satellite images. *Science of the Total Environment*, 2024, 957, Article 177507. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177507>
 8. Karpatne, A., Atluri, G., Faghmous, J. H., Steinbach, M., Banerjee, A., Ganguly, A., & Kumar, V. Theory-guided data science: A new paradigm for scientific discovery from data. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2017, 29(10), 2318–2331. DOI: <https://doi.org/10.1109/TKDE.2017.2720168>
 9. Karthick, M., Shanmugam, P., & Kumar, G. S. Long-term water quality assessment in coastal and inland waters: An ensemble machine-learning approach using satellite data. *Marine Pollution Bulletin*, 2024, 209, Article 117036. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117036>
 10. Mai, G., Xie, Y., Jia, X., Lao, N., Rao, J., Zhu, Q., & Jiao, J. Towards the next generation of geospatial artificial intelligence. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2025, 136, Article 104368. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2025.104368>
 11. Shahmiri, A., Seyed-Djawadi, M. H., & Siadatmousavi, S. M. AI-driven forecasting of harmful algal blooms in coastal waters using satellite and in-situ data. *Environmental Modelling & Software*, 2025, 185, Article 106311. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2024.106311>
 12. Tuia, D., Schindler, K., Demir, B., Zhu, X. X., Kochupillai, M., Džeroski, S., & Camps-Valls, G. Artificial intelligence to advance Earth observation: A perspective. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 2024, 12(2), 92–141. DOI: <https://doi.org/10.1109/MGRS.2024.3425961>

13. Wei, J., Li, Z., Lyapustin, A., Wang, J., Dubovik, O., Schwartz, J., et al. First close insight into global daily gapless 1 km PM_{2.5} pollution from multi-source satellite data and atmospheric reanalysis. *Nature Communications*, 2023, 14, Article 8349. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-023-43862-3>

ІСТОРИКО-КУЛЬТУРНІ РЕКРЕАЦІЙНІ РЕСУРСИ МІСТ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Ворожбит Юлія Федорівна

магістрантка кафедри географії України і туризму
Тернопільський національний педагогічний університет
імені Володимира Гнатюка

У сучасних умовах посилення глобалізаційних процесів, урбанізації та зростання ролі культурної ідентичності особливого значення набуває збереження та ефективне використання історико-культурних ресурсів як важливого чинника сталого розвитку територій. Івано-Франківська область — один із регіонів України, що має надзвичайно багату історико-культурну спадщину, яка відображає багатовікові традиції, етнокультурне розмаїття та духовні цінності українського народу. Міста області — Івано-Франківськ, Галич, Коломия, Калуш, Долина, Надвірна та інші — є носіями унікальних історичних пам'яток, архітектурних ансамблів, музейних комплексів і культурних ландшафтів, що становлять значний потенціал для розвитку туризму та підвищення соціально-економічної привабливості регіону [1].

Дослідження історико-культурних ресурсів міст Івано-Франківщини є актуальним не лише з точки зору охорони та збереження культурної спадщини, але й у контексті формування сучасних підходів до регіонального розвитку, розробки стратегій туристичної діяльності, а також утвердження національної ідентичності через популяризацію культурних надбань.

Теоретичну основу роботи становлять наукові праці з питань культурної географії, історії, краєзнавства, урбаністики та туризмознавства.

Методологічна база дослідження спирається на історичний метод (для аналізу становлення та еволюції історико-культурних ресурсів), аналітичний і статистичний методи (для оцінки стану ресурсів та їхнього потенціалу), порівняльний метод (для зіставлення ресурсної бази різних міст області) та картографічний метод (для просторової візуалізації даних) [2].

Інформаційними джерелами є архівні документи, матеріали державних та місцевих установ охорони культурної спадщини, наукові публікації, статистичні дані, звіти туристичних організацій та результати власних польових досліджень.

Наукова новизна роботи полягає у комплексному підході до аналізу історико-культурних ресурсів міст Івано-Франківської області з позицій їхньої ролі в забезпеченні сталого розвитку територій. У роботі вперше здійснено систематизацію та оцінку історико-культурних об'єктів регіону за критеріями збереження, туристичної привабливості та інтеграційного потенціалу. Запропоновано авторську схему оцінки історико-культурних ресурсів, адаптовану до умов Прикарпаття.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання їх органами місцевого самоврядування, туристичними

організаціями, закладами освіти та культури при розробці програм збереження культурної спадщини, формуванні нових туристичних маршрутів та концепцій розвитку культурного туризму в містах Івано-Франківщини. Розроблені рекомендації можуть слугувати основою для створення стратегічних документів регіонального розвитку, спрямованих на поєднання культурної спадщини з економічним потенціалом територій.

У ході дослідження встановлено, що Івано-Франківська область володіє високою концентрацією історико-культурних ресурсів, які формують унікальний регіональний ландшафт та становлять значний потенціал для культурного, туристичного й соціально-економічного розвитку. Проведений аналіз довів, що міста регіону — Івано-Франківськ, Коломия, Галич, Калуш, Болехів, Долина та інші — мають різновікові пам'ятки архітектури, сакральної спадщини, археологічні комплекси, елементи нематеріальної культурної спадщини та музейні інституції, здатні формувати цілісні тематичні туристичні маршрути.

Узагальнення матеріалів дослідження підтвердило початкову гіпотезу про те, що історико-культурні ресурси міст регіону використовуються неповною мірою, а їхній туристичний та економічний потенціал залишається значною мірою нереалізованим. Основними бар'єрами є: нерівномірний рівень збереження пам'яток, недостатність фінансових інструментів для реставрації, фрагментарність управлінських рішень, обмежена участь громад у процесах охорони спадщини та недостатньо розвинена інфраструктура супровідних сервісів.

Окремим результатом дослідження стало підтвердження важливості залучення місцевих громад як активних учасників процесів охорони спадщини. Встановлено, що громадські ініціативи забезпечують оперативність реагування на виклики, підвищують рівень локальної ідентичності та сприяють формуванню соціального капіталу. Водночас ефективність таких ініціатив часто залежить від рівня співпраці з органами влади та бізнесом.

Дослідження також показало перспективність впровадження моделей державно-приватного партнерства у сфері культурної спадщини. Приклади успішної співпраці демонструють можливості поєднання інвестицій приватного сектору, управлінських функцій держави та креативного потенціалу громад, що дозволяє модернізувати культурні простори, створювати нові туристичні продукти й забезпечувати сталі механізми утримання пам'яток [4].

Отже, проведена робота підтвердила основну гіпотезу про те, що комплексна система охорони та використання історико-культурних ресурсів у містах Івано-Франківської області може забезпечити їх ефективну інтеграцію в стратегії розвитку регіону. Для цього необхідні модернізація управління, багаторівнева співпраця, диверсифікація джерел фінансування та активне залучення громад.

Пропозиції

На основі проведеного дослідження сформульовано такі практичні пропозиції щодо підвищення ефективності збереження та використання історико-культурних ресурсів міст Івано-Франківської області:

1. Удосконалення системи управління культурною спадщиною.

Запровадити єдину регіональну електронну систему моніторингу стану пам'яток, яка включатиме їх інвентаризацію, технічні паспорти, дані про реставраційні роботи та ступінь ризиків.

Розробити комплексні міські програми управління спадщиною з чіткими пріоритетами, строками та механізмами фінансування.

Створити регіональний центр компетенцій, що забезпечуватиме методичну підтримку для громад та органів влади.

2. Розширення фінансових механізмів.

Активізувати інструменти державно-приватного партнерства для реставрації й адаптивного використання пам'яток.

Запровадити конкурси мікрогрантів для громадських ініціатив у сфері збереження спадщини.

Створити регіональний фонд охорони культурної спадщини, наповнення якого здійснюватиметься за рахунок місцевих бюджетів, бізнесу та благодійних внесків.

3. Залучення громад та розвиток взаємодії на місцевому рівні.

Сприяти створенню локальних волонтерських груп «друзів пам'яток», які опікуватимуться окремими об'єктами.

Розробити та впровадити освітні програми про спадщину для шкіл, музеїв, молодіжних центрів.

Підтримувати ініціативи спільного користування просторами пам'яток (культурні події, фестивалі, виставки).

4. Формування конкурентоздатних туристичних продуктів.

Створити інтегровані тематичні туристичні маршрути (сакральний, археологічний, промисловий, етнографічний) між містами області.

Розвивати цифрову інфраструктуру: мобільні додатки, аудіогіди, AR/VR-рішення для музеїв і пам'яток.

Просувати регіональний бренд культурної спадщини Івано-Франківщини на національному та європейському ринках.

5. Адаптивне використання спадщини та інновації.

Забезпечити можливість комерційного використання історичних просторів (креативні хаби, ремісничі майстерні, туристичні центри) зі збереженням автентичності.

Підтримувати стартапи та бізнеси, пов'язані зі спадщиною, зокрема у сферах ремесел, музейних технологій, креативних індустрій.

Стимулювати енергоефективні та екологічні рішення при реставраційних роботах.

Реалізація запропонованих заходів дозволить не лише забезпечити збереження історико-культурної спадщини міст Івано-Франківської області, але й інтегрувати її у сучасні стратегії розвитку, перетворивши спадщину на потужний ресурс економічного зростання, формування ідентичності та зміцнення соціальної згуртованості громад регіону.

Список використаних джерел

1. <https://ich.unesco.org/>. URL: <https://ich.unesco.org/en/what-is-intangible-heritage-00003>.
2. Бейдик О. О. Рекреаційно-туристські ресурси України: Методологія та методика аналізу, термінологія, районування: монографія. Київ : ВПЦ «Київський ун-т», 2001. 395 с.
3. Лопата Д. Тенденції у розвитку культурно-пізнавального туризму на Івано-Франківщині // Матеріали III Всеукр. наук.-практ. конф. «Сучасні тенденції розвитку туризму». – Миколаїв: ВП «МФ КНУКІМ», 2015. – С. 54-56. – URL: https://tourlib.net/statti_ukr/lopata.htm
4. Туристична асоціація Івано-Франківської області. Проєкт “Nature/Culture Stations Network”. URL: <https://huskroua-cbc.eu/projects/project-idea-database/tourist-association-of-ivano-frankivsk-region>

СВІТОВІ КРУЗІНІ РЕГІОНИ ТА ЇХ ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ РОЗВИТКУ МІЖНАРОДНОГО ТУРИЗМУ

Мархонос Світлана Миколаївна

кандидат географічних наук, доцент,
доцент кафедри міжнародного туризму,
Державний університет «Київський авіаційний інститут»

Турло Наталія Платонівна

кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри економіки підприємства та менеджменту
Академія праці, соціальних відносин і туризму

Світові круїзні регіони відіграють важливу роль у структурі міжнародного туризму. Круїзний туризм формує стійкі міжрегіональні туристичні потоки, сприяє розвитку портової інфраструктури, стимулює розвиток міжнародних економічних відносин і економік країн. Також розвиток круїзного туризму забезпечує мультиплікативний ефект для суміжних галузей, а саме транспорту, готельно-ресторанного бізнесу, роздрібної торгівлі та культурних індустрій. Глобальні зміни у поведінці туристів, зростання попиту на пакетні тури та поява нових технологічних рішень у сфері морських перевезень посилюють значення круїзних регіонів як стратегічних центрів туристичної активності.

Основною рисою, що відрізняє круїз від інших турів та приваблює туристів, є цілісність послуг круїзного судна, оскільки воно поєднує в собі місце пересування, проживання, харчування та дозвілля. Тому круїзний лайнер повинен мати сучасну інфраструктуру, необхідну для ефективного надання послуг його пасажирам [1].

Регіональна структура круїзного ринку зазнає змін під впливом геополітичних ризиків, екологічних обмежень, кліматичних змін та конкуренції між портами. Це потребує переосмислення географічного розподілу круїзних маршрутів та оцінки їхнього внеску у розвиток міжнародного туризму. Тому дослідження світових круїзних регіонів, їхніх функціональних особливостей та впливу на туристичну сферу є актуальним.

До основних круїзних регіонів світу відносяться Карибський басейн, Середземне море, Північна Європа та Балтійське море, Північна Європа та Балтійське море, Аляска, Азійсько-Тихоокеанський регіон, Близький Схід, Південна Америка та Антарктида. Варто також розглянути основні порти та популярні напрямки по цим регіонам (Табл.1)

Таблиця 1

Основні круїзні регіони світу

Назва круїзного регіону	Основні порти	Популярні напрямки
Карибський басейн	Маямі (США), Кі-Вест, Форт-Лодердейл, Нассау (Багамські острови).	– Східні Кариби: Багами, Віргінські острови, Пуерто-Рико. – Південні Кариби: Барбадос, Аруба, Кюрасао, Тринідад і Тобаго. – Західні Кариби: Ямайка, Кайманові острови, Беліз, Коумель (Мексика). – Короткі круїзи з Флориди: Маямі – Нассау – Кі-Вест.
Середземне море	Барселона (Іспанія), Генуя та Венеція (Італія), Афіни (Греція), Марсель (Франція).	– Західне Середземномор'я: Іспанія – Франція – Італія (Барселона, Марсель, Рим). – Східне Середземномор'я: Греція – Туреччина – Кіпр (Афіни, Родос, Кушадаси). – Адріатичні маршрути: Венеція – Дубровник – Котор. – Острівні маршрути: Сардинія, Сицилія, Мальта.
Північна Європа та Балтійське море	Копенгаген, Гамбург, Стокгольм.	– Скандинавські фіорди: Норвегія (Берген, Гейрангер). – Балтійські столиці: Копенгаген – Стокгольм – Гельсінкі – Таллінн. – Британські острови: Шотландія, Ірландія, Англія. – Ісландія та Гренландія: екотуристичні маршрути.
Аляска	Сіетл, Ванкувер.	– Південна Аляска: Глейшер-Бей, Сьєррні фіорди. – Маршрут «Внутрішній прохід» (Inside Passage): Ванкувер – Джуно – Скагуей – Кетчикан. – Експедиційні круїзи до льодовиків: Хаббард, Данкаан.
Азійсько-Тихоокеанський регіон	Сінгапур, Гонконг, Японія, Південна Корея, Австралія.	– Південно-Східна Азія: Сінгапур – Малайзія – Таїланд – В'єтнам. – Східна Азія: Японія (Йокогама, Осака) – Південна Корея (Пусан). – Китайські узбережжя: Шанхай – Хайнань. – Австралія та Нова Зеландія: Сідней – Веллінгтон – Окленд. – Індонезійсько-папуаські маршрути: Балі – Комодо – Папуа.
Близький Схід	Дубай, Абу-Дабі, Салала.	– Перська затока: Дубай – Абу-Дабі – Доха – Маскат. – Червоне море: Єгипет – Йорданія – Саудівська Аравія. – Комбіновані круїзи: Близький Схід + Середземне море.
Південна Америка та Антарктида	Буенос-Айрес, Ріо-де-Жанейро, Ушуая (Аргентина)	– Південноамериканське узбережжя: Ріо-де-Жанейро – Сантьяго – Буенос-Айрес. – Патагонія: мис Горн, фіорди Чилі. – Антарктичні експедиційні маршрути: Ушуая – Антарктичний півострів. – Амазонка: круїзи по річці від Манауса.

Основними регіонами круїзного бізнесу в світі є Карибський (75% обсягу) та Середземноморський басейни (20% обсягу). Двадцять найбільших круїзних компаній світу (зокрема Carnival Group, Royal Caribbean Line, Princess) щорічно обслуговували близько 6 мільйонів туристів на бортах понад 150 комфортабельних лайнерів[2].

Світові круїзні регіони відіграють важливу роль у формуванні та розвитку міжнародного туризму. Їх значення проявляється через економічні, соціальні, територіально-просторові, інноваційні та іміджеві ефекти. Саме вони визначають сучасну динаміку туристичної сфери та особливості впливу на її розвиток.

Круїзні регіони забезпечують значні фінансові надходження для економіки країни. Туристи витрачають кошти на екскурсії, харчування, шопінг, транспортні послуги, що стимулює розвиток малого та середнього бізнесу. Також у круїзних регіонах формується значний ринок праці: від портових робітників до гідів, постачальників, аніматорів, тощо. Один великий круїзний порт може забезпечувати десятки тисяч робочих місць.

Круїзні маршрути пов'язують між собою кілька країн і регіонів у межах однієї подорожі. Це сприяє розвитку міжнародних туристичних коридорів та посиленню взаємодії між державами. Порти, що регулярно приймають круїзні судна, отримують стимули до комплексного розвитку: благоустрою, модернізації інфраструктури, створення нових туристичних продуктів. Це сприяє географічному розширенню міжнародного туризму. Також круїзні регіони сприяють міжкультурному діалогу: туристи відвідують різні країни, знайомляться з місцевими традиціями, історією та культурою. Це формує глобальну мобільність населення та підвищує рівень культурного обміну. Завдяки розвитку нових круїзних регіонів з'являються нові ніші: експедиційні, тематичні, річкові, полярні круїзи.

Інноваційне значення круїзних регіонів полягає у тому, що вони формують сучасну туристичну сферу, задають стандарти якості, комфорту та екологічності, тестують передові технологічні рішення та сприяють розвитку інфраструктури, сервісів і нових туристичних продуктів. Завдяки цьому круїзні регіони відіграють ключову роль у глобальній модернізації міжнародного туризму.

Отже, круїзні регіони є ключовими просторовими елементами міжнародного туристичного ринку, оскільки формують географічну структуру попиту та пропозиції, визначають напрями міжнародних туристичних потоків та виступають базовими платформами для розвитку інфраструктури морських подорожей. Найпотужнішими регіонами залишаються Карибський басейн, Середземномор'я та Азійсько-Тихоокеанський регіон, проте зростає значення Північної Європи, Австралії, Аляски та Антарктики. Розвиток круїзних регіонів суттєво впливає на міжнародний туризм, забезпечуючи активізацію туристичних потоків, диверсифікацію туристичного продукту, підвищення доступності та привабливості припортових територій, зміцнення конкурентних позицій регіональних ринків.

Список літератури:

1. Юрченко, С. А., Юрченко, Е. Е., & Кондрова, А. Е. (2014). Особливості розвитку сучасного морського круїзного туризму. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: Міжнародні відносини. Економіка. Країнознавство. Туризм, 1(3), 185–189.
2. Zhou, J., Chen, S. P., Shi, W. W., Kanrak, M., & Ge, J. (2023). The impacts of COVID-19 on the cruise industry based on an empirical study in China. *Marine Policy*, 153, 105631–105647. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105631>
3. Бойко, В. (2023). Круїзний туризм: тенденції розвитку галузі у період невизначеності. Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка, 17, 133–139. <https://doi.org/10.32782/2708-0366/2023.17.18>

Scientific publications

MATERIALS

The XVI International Scientific and Practical Conference
«Conceptual framework and dynamics of the development of science»

Munich, Germany
(December 15-17, 2025)