

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Київський національний університет  
будівництва і архітектури

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

Інститут телекомунікацій  
і глобального інформаційного простору

# Екологічна безпека та природокористування

---

Environmental safety and natural resources

Збірник наукових праць

ВИПУСК **37**

**2021**

**Міністерство освіти і науки України  
Київський національний університет будівництва і архітектури  
Національна академія наук України  
Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору**

---

**Ministry of Education and Science of Ukraine  
Kyiv National University of Construction and Architecture  
National Academy of Sciences of Ukraine  
Institute of Telecommunications and Global Information Space**

**ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА  
ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

---

**ENVIRONMENTAL SAFETY AND  
NATURAL RESOURCES**

**Збірник наукових праць**

Випуск 1 (37), січень-березень 2021 р.

Заснований у 2008 р.  
Виходить 4 рази на рік

---

**Academic journal**

Issue 1 (37), January-March 2021

Founded in 2008  
The journal is published 4 volume a year

**КИЇВ 2021**

---

**KYIV 2021**

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

**Головний редактор: О.М. Трофимчук**, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАНУ  
**Заступник головного редактора: О.С. Волошкіна**, д-р техн. наук, проф.

### Члени редколегії:

**Биченок М.М.**, д-р техн. наук  
**Бойко І.П.**, д-р техн. наук, проф.  
**Довгий С.О.**, д-р фіз.-мат. наук, проф.,  
академік НАНУ  
**Калюх Ю.І.**, д-р техн. наук, проф.  
**Качинський А.Б.**, д-р техн. наук, проф.  
**Коржнєв М.М.**, д-р геол.-мін. наук, проф.  
**Кочетов Г.М.**, д-р техн. наук, проф.  
**Кривомаз Т.І.**, д-р техн. наук, проф.

**Олійник О.Я.**, д-р техн. наук, проф.,  
чл.-кор. НАНУ  
**Павлишин В.І.**, д-р геол.-мін. наук, проф.  
**Приймак О.В.**, д-р техн. наук, проф.  
**Рудько Г.І.**, д-р техн. наук, д-р геол.-мін.  
наук, д-р геогр. наук, проф.  
**Триснюк В.М.**, д-р техн. наук  
**Яковлев Є.О.**, д-р техн. наук

## МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА РАДА

**М.-Й. Валері**, професор, Польща  
**Н. Касаглі**, професор, Італія  
**Н. Маргвелашвілі**, PhD, Австралія  
**Д. Мінтер**, професор, Великобританія  
**А. Мішо**, дослідник, Франція

**М.Г. Мустафаєв**, д-р аграрних наук,  
член-кор. РАЕ, Азербайджан  
**Я. Пекутін**, професор, Польща  
**Пінг Лу**, професор, Китай  
**Г. Собчук**, професор, Польща

---

Рекомендовано до друку Вченою радою  
Київського національного університету будівництва і архітектури  
(протокол № 39 від 29.03.2021 р.)

Збірник наукових праць включено до Переліку наукових фахових видань України  
(категорія "Б"), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на  
здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук за напрямом «технічні науки»  
(Наказ Міністерства освіти і науки України від 02.07.2020 № 886)

## ОСНОВНІ ТЕМАТИЧНІ РОЗДІЛИ ЗБІРНИКА

- Екологічна безпека
- Основи природокористування
- Інформаційні ресурси та системи
- Дискусійні повідомлення

---

**АДРЕСА РЕДАКЦІЇ**  
03186, м. Київ, Чоколівський бульв., 13,  
Інститут телекомунікацій і глобального  
інформаційного простору НАН України  
Телефони: (044) 245-87-97  
(044) 524-22-62  
E-mail: e.voloshki@gmail.com

Свідоцтво про державну реєстрацію  
КВ № 14146-3117 Р від 27.05.2008 р.

Електронна версія збірника в Інтернеті  
<http://www.es-journal.in.ua> українською  
та англійською мовами



Creative Commons «Attribution» 4.0 WorldWide

## ЗМІСТ

### ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

**Довгий С.О., Копійка О.В.**

Зміна бізнес-моделі управління ІТ на підприємстві природокористування у зв'язку з розвитком сервісно-орієнтованих інформаційних технологій... 5

**Ткаченко Т.М., Пількевич Ю.Г., Розорінов Г.М.**

Розпізнавання акустичних образів риб при моніторингу прісноводних екосистем..... 20

**Бичков С.А., Кириченко П.Г., Варламов Є.М., Бетін О.В., Мірсултанова Л.Р.**

Реконструкція очисних споруд для очищення зливових вод на підприємстві ДП «Антонов»..... 35

### ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

**Тkachenko T., Tkachenko O., Voloshkina O., Ujma A.**

Prospects of designing small architectural forms using alternative energy sources..... 44

**Кривомаз Т.І., Савченко А.М.**

Зниження впливу будівельної галузі на кліматичні зміни шляхом впровадження принципів зеленого будівництва..... 55

### ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА СИСТЕМИ

**Миронцов М.Л., Охарєв В.О.**

Інформаційна система підтримки управлінських рішень для завдань раціонального природокористування та екологічної безпеки..... 69

**Sirenko A.P.**

The early warning systems about landslide hazards in Ukraine..... 83

**ДО ВІДОМА АВТОРІВ**..... 95

## CONTENTS

### ENVIRONMENTAL SAFETY

**Dovgiy S.O., Kopyika O.V.**

Changing the business model of IT management at environmental enterprise in connection with the development of service-oriented information technologies..... 5

**Tkachenko T.M., Pilkevich Y.H., Rozorinov H.M.**

Recognition of fish acoustic patterns at monitoring of freshwater ecosystems 20

**Bychkov S.A., Kyriienko P.G., Varlamov Ye.M, Betin O.V.,  
Mirsultanova L.R.**

Reconstruction of treatment facilities for wastewater treatment at "Antonov" State Enterprise..... 35

### NATURAL RESOURCES

**Tkachenko T., Tkachenko O., Voloshkina O., Ujma A.**

Prospects of designing small architectural forms using alternative energy sources..... 44

**Kryvomaz T.I., Savchenko A.M.**

The reducing of construction industry influence on climate change by implementation of green building principles..... 55

### INFORMATION RESOURCES AND SYSTEMS

**Myrontsov M.L., Okhariev V.O.**

Information system of decision making support for sustainable natural resource management and environmental safety..... 69

**Sirenko A.P.**

The early warning systems about landslide hazards in Ukraine..... 83

**INFORMATION FOR AUTHORS**..... 95

## ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ENVIRONMENTAL SAFETY

УДК 004.942

**Stanislav O. Dovgii**, Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, D. S. (Computer science), professor, Director-organizer  
ORCID ID 0000-0003-1078-0162 *e-mail*: s.dovgii@gmail.com

**Oleh V. Kopyika**, D. S. (Computer science), Head of department  
ORCID ID 0000-0003-0189-3915 *e-mail*: okopyika@gmail.com

Institute of Telecommunications and Global Information Space of NASU, Kyiv, Ukraine

### CHANGING THE BUSINESS MODEL OF IT MANAGEMENT AT ENVIRONMENTAL ENTERPRISE IN CONNECTION WITH THE DEVELOPMENT OF SERVICE-ORIENTED INFORMATION TECHNOLOGIES

***Abstract.** The article offers approaches to building a business model of IT management at an enterprise that deals with the tasks of nature management, taking into account the needs of departments in modern service-oriented information technologies. To increase the efficiency of IT implementation in the enterprise, it is proposed to use the COBIT 5 methodology, which helps companies to achieve optimal efficiency from IT implementation, maintaining a balance between receiving benefits and risks and resources optimizing. The implementation of the methodology will provide an opportunity to manage and control IT throughout the enterprise, both in the field of functional responsibility of IT and business, and also allows to take into account the IT needs of internal and external stakeholders. However, each company must build its own purpose, specifying and detailing it in accordance with the balanced performance maps (finance, customer, internal management and training and development), in addition, performed the task of effective IT implementation associated with development priorities of business. In this case, the task of approving the decision is multi-criteria. Therefore, special attention deserve issues as finding reasons of such multicriteria and the possibility of using appropriate mathematical methods for the purpose of the cascade. The next reason for the multicriteria of decision-making tasks is the influence of time and space. The concrete implementation of decision-making principles is offered in the form of algorithms or procedures for solving multicriteria optimization problems. Almost all known approaches to solving these problems involve their scalarization. Thus one of the main issues is the list of preferences of the person who makes decisions in choosing the best solution. In accordance with this principle, the methods of solving problems of multicriteria optimization will be classified according to the characteristics of the information: decision-making under conditions of certainty; decision-making in the absence of information about the system of preference of the decision-maker; decision-making in the conditions of gradual receipt of information about the system of preference of the decision-maker.*

***Keywords:** business model; business goal; information technology (IT); IT services; IT goal; decision making with many criteria; methods of multicriteria optimization*

С.О. Довгий, О.В. Копійка

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України,  
м. Київ, Україна

## ЗМІНА БІЗНЕС-МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ІТ НА ПІДПРИЄМСТВІ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ У ЗВ'ЯЗКУ З РОЗВИТКОМ СЕРВІСНО-ОРІЄНТОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

***Анотація.** Пропонуються підходи до побудови бізнес-моделі управління ІТ на підприємстві, яке займається задачами природокористування, з врахуванням задоволення потреб підрозділів в сучасних сервісно-орієнтованих інформаційних технологіях. Для підвищення ефективності впровадження ІТ на підприємстві пропонується використовувати методологію СОВІТ 5, яка допомагає підприємствам досягти оптимальної ефективності від впровадження ІТ, підтримуючи баланс між одержанням вигоди й оптимізацією ризиків і ресурсів. Впровадження методології надасть можливість керувати й управляти ІТ у масштабах усього підприємства, як у сфері функціональної відповідальності ІТ, так і бізнесу, а також дозволяє враховувати потреби в ІТ внутрішніх і зовнішніх зацікавлених сторін. При цьому, кожне підприємство повинно вибудовувати власну мету, уточнюючи та деталізуючи її у відповідності до збалансованої мапи показників (фінанси, замовник, внутрішнє управління та навчання та розвиток), окрім цього виконується задача ефективного впровадження ІТ, яка пов'язана з пріоритетами розвитку бізнесу. У цьому випадку завдання схвалення рішення є багатокритеріальним. Тому на окрему увагу заслуговують питання пошуку причин подібної багатокритеріальності й можливості використання для каскаду мети відповідних математичних методів. Наступна причина багатокритеріальності задач прийняття рішень – це вплив фактору часу й простору. Конкретна реалізація принципів прийняття рішень пропонується у вигляді алгоритмів або процедур розв'язку задач багатокритеріальної оптимізації. Практично всі відомі підходи до розв'язку цих завдань припускають їх скаляризацію. При цьому одним з головних питань є перелік переваг особи, яка приймає рішення, у процесі вибору найкращого рішення. Відповідно до цього принципу методи рішення завдань багатокритеріальної оптимізації будемо класифікувати відповідно до характеристики інформації: ухвалення рішення в умовах визначеності; ухвалення рішення в умовах відсутності інформації про систему переваг особи, яка приймає рішення; ухвалення рішення в умовах поступового одержання інформації про систему переваги особи, яка приймає рішення.*

***Ключові слова:** бізнес-модель; бізнес-мета; інформаційні технології (ІТ); ІТ-мета; ІТ-послуги; прийняття рішень при багатьох критеріях; методи багатокритеріальної оптимізації*

### Вступ

Інформація стає все більш цінним активом бізнесу, а в багатьох випадках – основним. Швидкий розвиток інформаційних технологій (ІТ) усунув фізичні бар'єри для виробництва й передачі інформації, змінилося наше розуміння того, яким чином інформація здобувається (виробляється) й споживається.

Сучасний інформаційно-технологічний світ усе частіше складається з сервісів зберігання й передачі інформації через хмару. Тому, пропозиції SaaS від постачальників програмного забезпечення (ПЗ) стали звичайним явищем на ринку інформаційних технологій.

Існує значна кількість досліджень з цієї теми [1–5]. Важливим є те, що еволюція управління IT-послугами відбувалася більш-менш синхронно з фундаментальними змінами в суспільстві.

Можна виділити три етапи еволюціонування мети управління IT-послугами й результатів IT-діяльності:

- управління IT-інфраструктурою;
- управління IT-сервісами;
- управління інформаційними бізнес-сервісами.

Більш докладно ці етапи описано в таблиці 1. Кожний з них можна, з певним ступенем точності, пов'язати зі зміною розуміння ролі IT у компанії – переходом від технологічного підрозділу до повноцінного партнерства (рис. 1).

Таблиця 1 – Три етапи еволюції управління IT

| Етап   | Задачі                                     | Пріоритети                                | Характерні риси  |
|--------|--|---|--|
| Етап 1 | Управління IT-інфраструктурою              | Стабільність і контроль IT-інфраструктури | • IT-департамент є постачальником IT-систем;<br>• мета управління IT – мінімізація переривань у роботі IT-систем.                            |
| Етап 2 | Управління IT-сервісами                    | Якість й ефективність IT-процесів         | • IT-департамент є постачальником технологічних сервісів;<br>• мета управління IT – підтримка погоджених параметрів надання IT-сервісів.     |
| Етап 3 | Управління інформаційними бізнес-сервісами | Максимальна ефективність IT               | • IT-департамент є постачальником інформаційних бізнес-сервісів;<br>• мета управління IT – максимально точна відповідність потребам бізнесу. |

Вочевидь, що завдяки підвищенню ролі й значення IT у компанії повинна відбуватися еволюція розуміння мети управління IT-послугами й результатів IT-діяльності [6].

Не менш вагомим є те, що еволюцію в розумінні мети керування IT-послугами й результатів IT-діяльності можна асоціювати зі зрушенням у суспільній свідомості: переходом від продуктово-орієнтованої виробничої економіки до сервісно-орієнтованої інформаційної економіки (звичайно, з визначеною долею умовності, тому що зміна економічної парадигми відбувалася досить повільно й поступово).

Крім загальноринкових факторів, еволюція розуміння того, що ж є результатом IT-діяльності, була викликана необхідністю дати основу для відповідей на складні практичні питання, що існують в області IT.



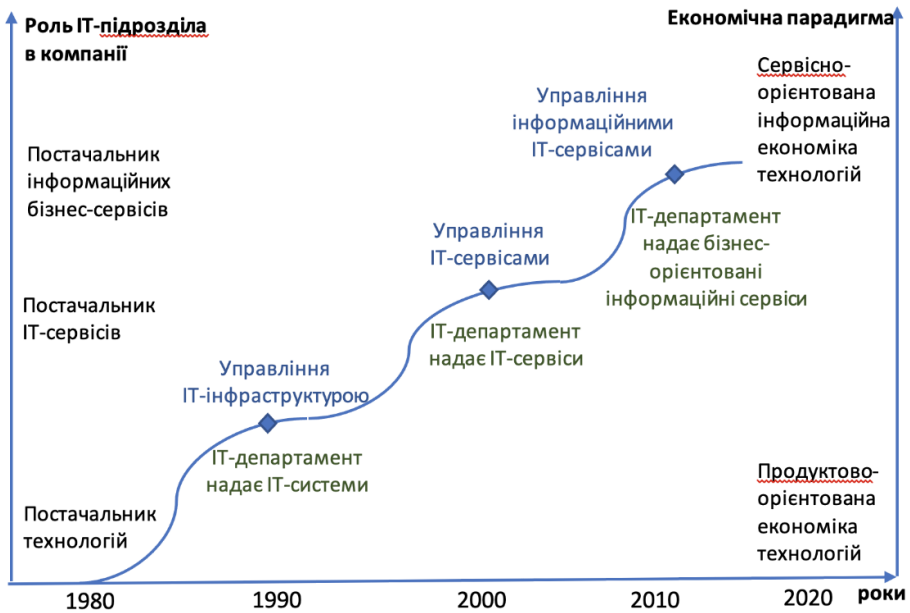


Рис. 1 – Етапи в еволюції мети управління ІТ-послугами й результатів ІТ-діяльності

ІТ-керівники постійно стикаються з багатьма проблемами, для вирішення яких не було системного інструменту. Серед них:

- обґрунтування постійного зростання витрат на ІТ;
- обґрунтування цінності, яку компанія отримує від інвестицій в ІТ, проблема невідповідності результатів очікуванням керівництва компанії;
- управління вимогами до ІТ, проблеми узгодження очікувань бізнес-підрозділів і можливостей ІТ-департаменту;
- хронічна нестача ІТ-ресурсів, ІТ-компетенцій і проблеми залучення зовнішніх ІТ-провайдерів для вирішення складних завдань.

Отже, **метою цієї статті** є презентація підходів до побудови бізнес-моделі управління ІТ на підприємстві, яке займається задачами природокористування, з врахуванням задоволення потреб бізнес-підрозділів в сучасних сервісно-орієнтованих інформаційних технологіях.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Безумовно, споживачеві потрібна не ІТ-система як така, а результат її діяльності [7–9]. І одержання цього результату може вимагати й, як правило, вимагає більшої кількості активів, ніж наявність тільки лише ІТ-системи. Не можна задовольнити комплексні потреби бізнесу, якщо зробити центральним предметом діалогу тільки ІТ-системи. Рух уперед починається зі спільного розуміння спільної мети й завдань.

Підсумовуючи вищезазначене, необхідно зауважити, що інформація є критично важливим ресурсом для всіх підприємств. На всіх етапах свого життєвого циклу інформація критичним чином залежить від спеціалізованих технологій. Інформація та інформаційні технології, які динамічно розбудовуються, є життєвоважливими для сучасних підприємств: як суспільних, державних, так і комерційних.

Тому сьогодні, більше, ніж будь-коли, підприємства і їх керівники зобов'язані:

- Підтримувати високу якість інформації для прийняття управлінських рішень.
- Створювати цінність для бізнесу, реалізуючи інвестиції, пов'язані з ІТ, тобто досягати стратегічної мети й одержувати прибуток шляхом ефективного й інноваційного використання ІТ.
- Удосконалювати операційну модель, надійно та раціонально застосовуючи технології.
- Забезпечувати прийнятний рівень ІТ-ризиків.
- Оптимізувати витрати на ІТ-послуги й технології.
- Підвищувати ступінь дотримання законів, норм, договірних зобов'язань і політик, пов'язаних із застосуванням ІТ.

Таким чином, сучасними характеристиками впровадження ІТ є:

- управління інформаційними бізнес-сервісами;
- підвищення цінності ІТ;
- ІТ-департамент стає постачальником інформаційних бізнес-сервісів;
- мета управління ІТ – максимально точна відповідність потребам бізнесу.

Виходячи з цього, пропонуємо для підвищення ефективності впровадження ІТ на підприємстві використовувати методологію СОВІТ 5, яка покликана допомогти в розв'язанні завдання керівництва й управління ІТ на підприємстві [10].



Рис. 2 – Принципи СОВІТ 5

Застосування цієї методології допомагає підприємствам досягти оптимальної ефективності від впровадження ІТ, підтримуючи баланс між одержанням вигоди й оптимізацією ризиків і ресурсів. Впровадження методології надасть можливість керувати й управляти ІТ у масштабах усього підприємства, як у сфері функціональної відповідальності ІТ, так і бізнесу, а також дозволяє враховувати потреби в ІТ внутрішніх і зовнішніх зацікавлених сторін. Методологія універсальна й буде корисна підприємствам будь-якого масштабу й сфери діяльності: комерційним, суспільним і державним.

Методика ґрунтується на п'ятьох принципах керівництва й управління ІТ на підприємстві, що зображені на рисунку 2.

**Принцип 1: Відповідність вимогам зацікавлених сторін.**

Підприємства існують для того, щоб створювати цінність для зацікавлених сторін, шляхом підтримки балансу між одержанням вигоди й оптимізацією ризиків і ресурсів. Методика описує всі необхідні процеси й інші фактори впливу, які підтримують створення бізнес-цінності за допомогою ІТ. Оскільки завдання, що стоять перед кожним підприємством, можуть бути різними, можна модифікувати модель так, щоб ці рекомендації підходили до конкретного контексту даної організації. Зробити це можна за допомогою каскадування високорівневих завдань підприємства до рівня керованих і конкретних ІТ-завдань і пов'язаних з ними процесів і практик (рис. 3).

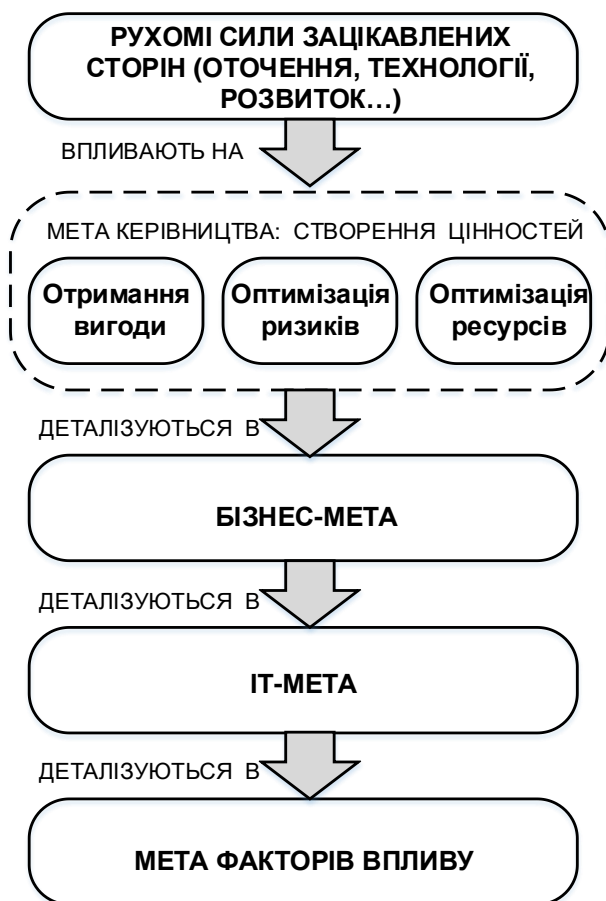


Рис. 3 – Каскад мети

**Принцип 2: Комплексний погляд на підприємство.**

Методика вбудовує керівництво ІТ у керівництво підприємства у цілому, тобто:

- розглядає всі функції й процеси підприємства. Методика спрямована не тільки на реалізацію «ІТ-функції», а й розглядає інформацію та пов'язані з нею активи підприємства, якими слід управляти, як і будь-якими іншими активами;

– ґрунтується на тому, що фактори впливу керівництва й управління, пов'язані з ІТ, працюють на всьому підприємстві й ланцюжку створення цінності і містять у собі всі внутрішні й зовнішні аспекти й ролі, які мають стосунок до керівництва й управління ІТ.

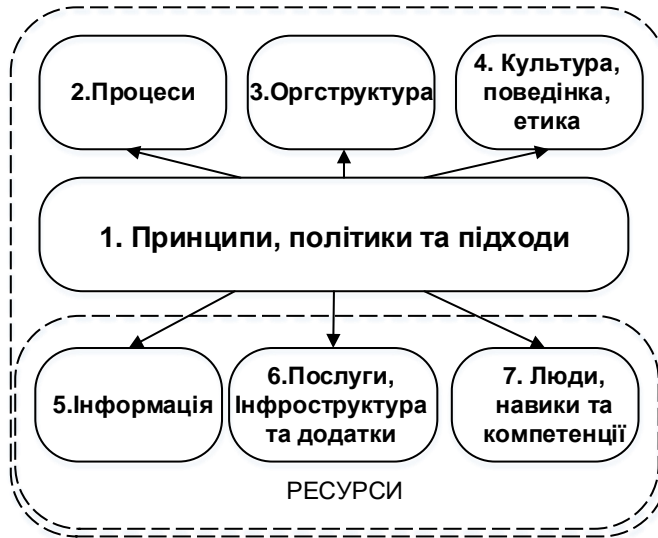


Рис. 4 – Фактори впливу

### **Принцип 3: Застосування єдиної інтегрованої методології.**

Існує множина пов'язаних з ІТ стандартів, що стосуються окремих аспектів ІТ-діяльності. У методиці реалізована відповідність цим стандартам. Таким чином, методика забезпечує інтеграційний підхід для організації керівництва й управління ІТ на підприємстві.

### **Принцип 4: Забезпечення цілісності підходу.**

Ефективне й раціональне керівництво й управління ІТ на підприємстві вимагає структурованого підходу з урахуванням багатьох взаємозалежних компонентів мети.

У методиці описаний набір факторів впливу, які забезпечують впровадження системи керівництва й управління ІТ на підприємстві. Фактори впливу – це сутності, які сприяють вирішенню завдань підприємства. Методика описує сім видів факторів впливу (рис. 4): принципи, політики й підходи; процеси; організаційна структура; культура, етика й поведінка; інформація; послуги, інфраструктура й додатки; персонал, навички й компетенції.

### **Принцип 5: Відокремлення керівництва й управління.**

Методика проводить чітку межу між керівництвом й управлінням. Ці дві дисципліни містять у собі різні види діяльності, вимагають різних організаційних структур і служать різній меті. У розумінні методики різниця між керівництвом і управлінням полягає в наступному.

У більшості випадків обов'язки з керівництва на підприємстві виконує рада директорів, яка очолена головою ради директорів.

Деякі обов'язки можуть бути делеговані спеціальним організаційним одиницям відповідного рівня – особливо у великих організаціях.

Значною мірою, обов'язки з управління на підприємстві виконують виконавчі директори, очолювані генеральним директором (СЕО). Разом ці принципи допомагають побудувати ефективну методологію керівництва й управління, що оптимізує інвестиції в інформаційні технології для одержання вигоди зацікавленими сторонами.

Беручи до уваги сформульовані п'ять принципів, мета підприємства та мета впровадження ІТ узгоджуються наступним чином (табл. 2).

Таблиця 2 – Зв'язок мети підприємства з головними завданнями керівництва («Р» означає прямий зв'язок, а «S» – непрямий, тобто менш сильний)

| Вимірювання збалансованої мапи показників | Мета підприємства  | Зв'язок із завданнями керівництва |                     |                      |
|---|--|-----------------------------------|---------------------|----------------------|
|   |  | Одержання вигоди                  | Оптимізація ризиків | Оптимізація ресурсів |
| Фінанси                                   | 1. Прибуток від інвестицій для зацікавлених сторін         | Р                                 |                     | S                    |
|   | 2. Портфель конкурентоспроможних товарів і послуг          | Р                                 | Р                   | S                    |
|   | 3. Керовані бізнес-ризиків (захист активів)                |                                   | Р                   | S                    |
|   | 4. Відповідність зовнішнім законам і регулюючим нормам     |                                   | Р                   |                      |
|   | 5. Фінансова прозорість                                    | Р                                 | S                   | S                    |
| Замовник                                  | 6. Сервісна культура орієнтована на клієнта                | Р                                 |                     | S                    |
|   | 7. Безперервність і доступність бізнес-послуг              |                                   | Р                   |                      |
|   | 8. Гнучка реакція на мінливі умови ведення бізнесу         | Р                                 |                     | S                    |
|   | 9. Прийняття стратегічних рішень на основі інформації      | Р                                 | Р                   | Р                    |
|   | 10. Оптимізація витрат на надання послуг                   | Р                                 |                     | Р                    |
| Внутрішнє управління                      | 11. Оптимізація функціональності бізнес-процесів           | Р                                 |                     | Р                    |
|   | 12. Оптимізація витрат бізнес-процесів                     | Р                                 |                     | Р                    |
|   | 13. Керування програмами бізнес-змін                       | Р                                 | Р                   | S                    |
|   | 14. Операційна продуктивність персоналу                    | Р                                 |                     | Р                    |
|   | 15. Дотримання внутрішніх політик                          |                                   | Р                   |                      |
| Навчання та розвиток                      | 16. Кваліфікований і мотивований персонал                  | S                                 | Р                   | Р                    |
|   | 17. Культура довгострокових інновацій продуктів та бізнесу | Р                                 |                     |                      |

Важливість цієї мети полягає в тому, що вона дозволяє визначити пріоритети впровадження, удосконалення й гарантує наявність керівництва ІТ на підприємстві на основі розуміння (стратегічної) мети підприємства, а також зв'язаних ризиків. На практиці ця мета:

- визначає важливі й обґрунтовані цілі й завдання на різних рівнях відповідальності;
- дозволяє витягти з бази знань усі дані про визначені цілі підприємства, які можуть знадобитися в проектах впровадження, удосконалення або оцінки якості;
- ясно визначає і демонструє (у деяких випадках дуже докладно) те, яким чином фактори впливу допомагають у досягненні мети підприємства.

Таблиця відповідності між метою підприємства й ІТ-цілями (табл. 3) не є безперечною істиною в останній інстанції, і потрібно використовувати її не буквально, а як підказку.

Таблиця 3 – Цілі ІТ

| Вимірювання збалансованої мапи показників | Мета інформаційних і пов'язаних з інформацією технологій  |
|---|---|
| Фінанси                                   | 1. Відповідність між ІТ- і бізнес-стратегіями   |
|   | 2. Відповідність зовнішньому законодавству та регулюючим вимогам в галузі ІТ та підтримка бізнес-відповідності                    |
|   | 3. Лідируюча роль вищого керівництва в прийнятті рішень в області ІТ  |
|   | 4. Керовані бізнес-ризиком, пов'язані з використанням ІТ  |
|   | 5. Реалізація прибутку від портфеля ІТ інвестицій і послуг  |
|   | 6. Прозорість ІТ-витрат, вигід і ризиків  |
| Замовник                                  | 7. Надання ІТ-послуг у відповідь на бізнес-вимоги   |
|   | 8. Адекватне використання додатків, інформації й технічних рішень   |
| Внутрішнє управління                      | 9. Гнучкість ІТ   |
|   | 10. Безпека інформації, що обробляє інфраструктури й додатки  |
|   | 11. Оптимізація ІТ-активів, ресурсів і здатностей   |
|   | 12. Забезпечення роботи й підтримка бізнес-процесів, шляхом інтеграції додатків і технологій у бізнес-процеси                     |
|   | 13. Здобуття вигоди з програм і проектів, що виконуються у визначені терміни, бюджет та відповідність вимогам і стандартам якості |
|   | 14. Доступність надійної та потрібної інформації для прийняття рішень   |
| Навчання та розвиток                      | 15. Дотримання внутрішніх політик   |
|   | 16. Компетентний і мотивований персонал ІТ  |
|   | 17. Знання, експертиза й ініціативність для здійснення бізнес-інновацій   |

Отже, кожне підприємство повинно вибудовувати власну мету, уточнюючи та деталізуючи її у відповідності до збалансованої мапи показників (фінанси, замовник, внутрішнє управління та навчання та розвиток), окрім цього, виконується задача ефективного впровадження ІТ, яка пов'язана з пріоритетами розвитку бізнесу.

У цьому випадку завдання схвалення рішення є багатокритеріальним. Тому на окрему увагу заслуговують питання пошуку причин подібної багатокритеріальності й можливості використання для каскаду мети відповідних математичних методів.

Таким чином, мета «Впровадження ІТ» зводиться до встановлення значень більшого числа якісних і кількісних параметрів – часткових цілей. Ці цілі можуть конкурувати між собою.

Наступна причина багатокритеріальності задач прийняття рішень – вплив фактору часу – простору. І результати діяльності, і витрати розподілені, тому доводиться порівнювати «цінність» впровадження ІТ сьогодні, завтра й через рік, перспективи розвитку і т.п. Відомі прийоми згортки (наприклад, для розподілу в часі – дисконтування) несуть у собі неабияку частку суб'єктивізму (причому суб'єктивізму автора методики, а не експерта – особи, що приймає рішення (ОПР)).

Постановка задач прийняття рішень при багатьох критеріях принципово пов'язана із двома аспектами. З одного боку, ці задачі близькі до задач прийняття рішень в умовах невизначеності, тому що різні варіанти рішень повинні оцінюватися також і відносно ймовірності їх успіху й пов'язаного із цим ризику. З іншого боку, у багатокритеріальних задачах прийняття рішень в умовах визначеності урахування великої кількості критеріїв засноване на відмові від традиційного допущення того, що вибір однієї з альтернатив завжди здійснюється на підґрунті лише одного критерію. У таких ситуаціях скалярне завдання оптимізації замінюється завданням векторної оптимізації.



Рис. 5 – Класифікація методів рішення багатокритеріальних задач

Прагнення урахування цих двох аспектів вимагало розробки математичної моделі, яка відображала б багатомірну систему цільових функцій у скалярний критерій оптимальності. Такий підхід вимагає допущення в особи, що приймає рішення, наявності спеціальних функцій переваги. Справедливість цього

припущення заздалегідь не очевидна. Однак цей напрямок має досить розвинену теорію розв'язків таких завдань [11–15].

Конкретна реалізація принципів прийняття рішень виступає у вигляді алгоритмів або процедур розв'язку задач багатокритеріальної оптимізації (БКО). Практично всі відомі підходи до розв'язку цих завдань припускають їх скаляризацію. При цьому одним з головних питань є врахування переваг ОНР у процесі вибору найкращого рішення. Відповідно до цього принципу методи вирішення завдань багатокритеріальної оптимізації можна класифікувати відповідно до характеристики інформації про переваги ОНР:

- ✓ ухвалення рішення в умовах визначеності;
- ✓ ухвалення рішення в умовах відсутності інформації про систему переваги ОНР;
- ✓ ухвалення рішення в умовах поступового одержання інформації про систему переваги ОНР.

Класифікація багатокритеріальних методів прийняття рішень наведена на рис. 5.

Розглянемо першу групу завдань, пов'язаних з ситуацією визначеності, щодо системи переваги ОНР [16].

1. Особливо великий клас принципів прийняття рішення ґрунтується на існуванні на безлічі векторних оцінок відносини переваги, залежить тільки від системи цільових функцій. В цьому випадку можлива побудова відповідної функції цінності. Крім цього, знання функції цінності однозначно визначає структуру переваги ОНР. Більш детальну інформацію про теорію функції цінності можна знайти в [17].

2. Одним з методів прийняття рішень в багатокритеріальній оптимізації для звуження паретовської безлічі є поняття упорядкування критеріїв за важливістю. Питання про важливість критеріїв, адресовані ОНР, виявляються, з одного боку, досить зрозумілими ОНР, а з іншого – її поради можуть бути ефективно використані в алгоритмах оптимізації. Однак, у багатьох методах потрібно, щоб важливість критеріїв ОНР висловила точно (повідомила вагові коефіцієнти). Прикладом якісного упорядкування критеріїв (без визначення вагових коефіцієнтів) є лексикографічне впорядкування, а багатокритеріальні задачі зі строго ранжируемими за важливістю критеріями називаються лексикографічними завданнями оптимізації. Ясно, що коло багатокритеріальних задач з лексикографічним упорядкуванням занадто вузьке. Принцип лексикографічного впорядкування може використовуватися і у випадках, коли на критеріальному просторі задаються порогові (мінімально допустимі) значення критеріїв. Тоді вказане впорядкування вихідних критеріїв за важливістю буде визначатися черговістю максимізації цих критеріїв до відповідних порогових значень і багатокритеріальна задача перетворюється в лексикографічне завдання з векторним критерієм. Однак, слід зазначити, що в загальному випадку лексикографічного завдання оптимізація може виявитися нестійкою, оскільки незначні зміни параметрів (вихідних даних), що входять до неї, можуть серйозно позначитися на виборі оптимальних альтернатив. Тому для їх вирішення застосовуються спеціальні методи.

3. Ще одним алгоритмом прийняття рішень в умовах визначеності є методи цільового програмування. В основі методу цільового програмування для розв'язання багатокритеріальних задач лежить впорядкування критеріїв (цілей) за ступенем важливості. Вихідна задача вирішується шляхом



послідовного вирішення ряду завдань з однією цільовою функцією таким чином, що рішення задачі з менш важливою метою не може погіршити оптимального значення цільової функції з більш високим пріоритетом. В результаті ми отримуємо задовільне рішення для даної проблеми. Цільове програмування, як правило, застосовується до лінійних моделей. Основна його відмінність від завдання лінійного програмування полягає в тому, що багато цілей формалізуються не як цільові функції, а як обмеження в іншій, більш загальній моделі. З цією метою вводяться передбачувані кількісні значення цільових функцій і так звані змінні відхилення, які характеризують ступінь досягнення поставлених цілей для даного рішення.

У разі, коли немає ніякої інформації про систему переваг ОПР, застосовуються стандартні процедури виявлення ефективних рішень. Потім ОПР вибирає найкращу альтернативу, шляхом явного оцінювання.

Для випадку поступового отримання часткової інформації про систему переваг ОПР є дві групи багатокритеріальних методів прийняття рішень.

1. Приклад методу багатокритеріальної оптимізації, що відноситься до групи, позначеної нами на класифікаційній схемі як «апостеріорне виявлення переваг на ефективній множині». В цьому випадку застосовуються так звані методи ЕЛЕКТРА, запропоновані відомим фахівцем з ТПР професором Б. Руа (Франція) [18].

Мета застосування методів ЕЛЕКТРА – звуження паретовської множини альтернатив. Робиться це так. Для кожного з критеріїв (передбачається, що вони – числові) визначається за результатами опитування ОПР «вага» – число, що характеризує важливість відповідного критерію. У всіх модифікаціях методу ЕЛЕКТРА робиться спроба отримання від ОПР інформації якісного характеру про відносну важливість критеріїв (вислови на кшталт «критерій 3 і 4 мають однакову важливість і мають більшу важливість, ніж критерій 1») і перетворення її в кількісну, числову. Проблема тут полягає в тому, що зробити це можна в загальному випадку безліччю способів.

2. Інтерактивні або людино-машинні процедури вирішення завдань БКО (ЧМП). ЧМП дозволяють досліджувати області допустимих значень з метою пошуку в них найкращого рішення. Пошук рішення здійснюється в діалозі ОПР і системи підтримки прийняття рішень (СППР). В якості вихідних даних для ЧМП виступають варіанти рішень і критерії, за якими будуть оцінюватися ці рішення. ЧМП включають дві фази: фазу аналізу, яку проводить ОПР, і фазу розрахунків, які виконуються на комп'ютері.

1. Фаза розрахунків. СППР:

- проводить розрахунки, засновані на попередній інформації або інформації, отриманій від ОПР на попередньому кроці;
- обчислює рішення;
- виробляє допоміжну інформацію для ОПР.

2. Фаза аналізу. ОПР:

- оцінює пред'явлене рішення, визначає, чи є воно (одне з них) прийнятним. Якщо так, то ЧМП закінчена; інакше ОПР аналізує допоміжну інформацію;
- повідомляє СППР додаткову інформацію, за допомогою якої СППР обчислює нове рішення.

## Висновки

1. Запропоновані підходи до побудови бізнес-моделі управління ІТ на підприємстві, яке займається задачами природокористування, з врахуванням задоволення потреб бізнес-підрозділів в сучасних сервісно-орієнтованих інформаційних технологіях.

2. Запропоновано використовувати методи рішення завдань багатокритеріальної оптимізації як математичного апарату для встановлення значень більшого числа якісних і кількісних параметрів – часткових цілей, що конкурують між собою. Оскільки кожне підприємство вибудовує власну мету, яка з часом змінюється та потребує деталізації.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Перспективи розвитку ринку хмарних обчислень в Україні: переваги та ризики. Аналітична записка. Національний інститут стратегічних досліджень. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.niss.gov.ua/articles/1191/>. – Назва з екрана.
2. Бізнес-моделі SaaS та PaaS. Особливості реалізації та законодавчого регулювання в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://plr.kiev.ua/ua/publications/170-business-models-saas-paas>. – Назва з екрана.
3. А. В. Голидзьбіна, Н. В. Язвінська Особливості сучасного ринку ІТ-послуг та специфіка просування на ньому [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/108738>. – Назва з екрана.
4. Копійка О. В. Архітектура мережі в сучасних дата-центрах / О. В. Копійка // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2014. – № 2(30). – С. 34–41.
5. Копейка О. В. Сетевые службы и службы сетевых устройств в Дата-центрах / О. В. Копейка // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2013. – Випуск 4 (28). – С. 98–104.
6. Информационные сервисы в XXI [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://itclubvologda.ru/sites/default/files/news/attachment/information\\_services\\_xxi\\_information\\_management\\_3\\_2013.pdf](http://itclubvologda.ru/sites/default/files/news/attachment/information_services_xxi_information_management_3_2013.pdf) – Назва з екрана.
7. Новые технологии в телекоммуникации: выбор технологической архитектуры. Современные тенденции развития / С.А. Довгий, О.В. Копейка, С.П. Поленок. – К.: Укртелеком, 2001. – 281 с.
8. Довгий С.О., Копійка О.В. Автоматизована система для підтримки прийняття рішень при ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС // Інформатизація аерокосмічного землезнавства. – К.: Наук. думка, 2001. – С. 211–266.
9. Балашов В.А., Копійка О.В., Ляховецький Л.М. VDSL – ближайшее будущее цифрового абонентского доступа // Зв'язок. – 2005. – № 4. – С. 10–16.
10. COBIT 5: Бизнес-модель по руководству и управлению ИТ на предприятии [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.isaca.org/cobit/pages/default.aspx>
11. Волошин, О. Ф. Моделі та методи прийняття рішень : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / О. Ф. Волошин, С. О. Машенко. – 2-ге вид., перероб. та допов. – К. : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2010. – 336 с.
12. Экономико-математические методы и прикладные модели: Учеб. пособие для вузов / В.В. Федосеев, А.Н. Гармаш, Д.М. Дайитбегов и др.; Под ред. В.В. Федосеева. – М.: ЮНИТИ, 1999. – 391 с.
13. Лотов А.В., Поспелова И.И. Многокритериальные задачи принятия решений: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 197 с.
14. Васильев Ф. П. Методы оптимизации – М.: Факториал Пресс, 2002. – 415 с.

15. Беркман Л. Н. Теоретичні основи методології синтезу інформаційно-комунікаційних систем / Л. Н. Беркман, О. В. Копійка // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2014. – №4. – С. 12–20.
16. Соболев И.М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. – М.: Дрофа, 2006. – 175 с. – ISBN 5-7107-7989-X.
17. Rubinstein A. Lecture Notes in Microeconomic Theory. – 2nd. – Princeton University Press, 2013. – 153 с. – ISBN 978-0-691-15413-8.
18. Руа Б. Проблемы и методы принятия решений в задачах со многими целевыми функциями // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М.: Мир, 1976. – 232 с.

Стаття надійшла до редакції 10.11.2020 і прийнята до друку після рецензування 18.02.2021

## REFERENCES

1. Prospects for the development of the cloud computing market in Ukraine: advantages and risks. Analytical note. National Institute for Strategic Studies. Retrieved from: <http://www.niss.gov.ua/articles/1191/>.
2. SaaS and PaaS business models. Peculiarities of implementation and legislative regulation in Ukraine. Retrieved from: <http://plp.kiev.ua/ua/publications/170-business-models-saas-paas>.
3. Golidbina, A.V., & Yazvinska, N.V. Features of the modern market of IT services and the specifics of promotion on it. Retrieved from: <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/108738> (in Ukrainian).
4. Копійка, О.В. (2014). Network architecture in modern data centers. *Scientific notes of the Ukrainian Research Institute of Communications*, 2(30), 34-41 (in Ukrainian).
5. Копійка, О.В. (2013). Network services and network device services in Data Centers. *Control, navigation and communication systems*, 4 (28), 98-104 (in Russian).
6. Information services in XXI. Retrieved from: [http://itclubvologda.ru/sites/default/files/news/attachment/information\\_services\\_xxi\\_information\\_management\\_3\\_2013.pdf](http://itclubvologda.ru/sites/default/files/news/attachment/information_services_xxi_information_management_3_2013.pdf)
7. Dovgiy, S.O., Копійка, О.В., & Polenok, S.P. (2001). *Novye tehnologii v telekommunikacii: vybor tehnologicheskoy arhitektury. Sovremennyye tendencii razvitiya* [New technologies in telecommunications: the choice of technological architecture. Modern development trends]. Kyiv: Ukrtelecom (in Russian).
8. Dovgiy, S.O., & Копійка, О.В. (2001). Avtomatyzovana systema dlia pidtrymky pryiniattia rishen pry likvvidatsii naslidkiv avarii na ChAES [Automated system to support decision-making in the aftermath of the Chernobyl accident]. In *Informatyzatsiia aerokosmichnoho zemleznavstva* [Informatization of aerospace geology], (pp. 211-266). Kyiv: Naukova dumka (in Ukrainian).
9. Balashov, V.A., Копійка, О.В., & Lyakhovetsky, L.M. (2005). VDSL – near future of digital subscriber access. *Communication*, 4, 10-16 (in Russian).
10. COBIT 5: Business model for the leadership and management of IT at the enterprise. Retrieved from: <http://www.isaca.org/cobit/pages/default.aspx>
11. Voloshin, O.F., & Mashchenko, S.O. (2010). *Modeli ta metody pryiniattia rishen* [Models and methods of decision making]. (2nd ed., rev.). Kyiv: Vydavnycho-polihrafichnyi tsentr "Kyivskiy universytet" (in Ukrainian).
12. Fedoseev, V.V., Garmash, A.N., Dayitbegov, D.M. et al. (1999). *Jekonomiko-matematicheskie metody i prikladnye modeli* [Economic and mathematical methods and applied models]. (V.V. Fedoseev, Ed.). Moscow: UNITY (in Russian).
13. Lotov, A.V., & Pospelova, I.I. (2008). *Mnogokriterial'nye zadachi prinjatija reshenij* [Multicriteria decision-making tasks]. Moscow: MAKS press (in Russian).

14. Vasiliev, F.P. (2002). *Metody optimizacii* [Optimization methods]. Moscow: Factorial press (in Russian).
15. Berkman, L.N., & Kopyika, O.V. (2014). Theoretical bases of methodology of synthesis of information and communication systems. *Telecommunication and information technologies*, 4, 12-20 (in Ukrainian).
16. Sobol, I.M. (2006). *Vybor optimal'nyh parametrov v zadachah so mnogimi kriterijami* [Selection of optimal parameters in problems with many criteria]. Moscow: Drofa.
17. Rubinstein, A. (2013). *Lecture Notes in Microeconomic Theory*. (2nd ed.). Princeton University Press.
18. Rua, B. (1976). Problemy i metody prinjatija reshenij v zadachah so mnogimi celevymi funkcijami [Problems and methods of decision making in problems with many objective functions]. In *Voprosy analiza i procedury prinjatija reshenij* [Questions of analysis and decision making procedures]. Moscow: Mir (in Russian).

*The article was received 10.11.2020 and was accepted after revision 18.02.2021*

**Довгий Станіслав Олексійович**

академік НАН України, доктор технічних наук, професор, директор-організатор Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України  
**Адреса робоча:** 03186, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13  
ORCID ID 0000-0003-1078-0162 **e-mail:** s.dovgii@gmail.com

**Копійка Олег Валентинович**

доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України  
**Адреса робоча:** 03186, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13  
ORCID ID 0000-0003-0189-3915 **e-mail:** okopiyka@gmail.com

УДК 654:679.76 (078)

**Tatiana M. Tkachenko**<sup>1</sup>, D.S., Professor  
ORCID ID 0000-0003-2105-5951 *e-mail*: tkachenkoknuba@gmail.com

**Yulia H. Pilkevich**<sup>1</sup>, assistant of the department  
ORCID ID 0000-0002-7618-0250 *e-mail*: y.rozorinova@gmail.com

**Heorhii M. Rozorinov**<sup>2</sup>, D.S., Professor  
ORCID ID 0000-0002-6095-7539 *e-mail*: grozoryn@gmail.com

<sup>1</sup> Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

## RECOGNITION OF FISH ACOUSTIC PATTERNS AT MONITORING OF FRESHWATER ECOSYSTEMS

***Abstract.** The basic sources of contamination and obstruction of reservoirs are cleared not enough sewer water of industrial and communal enterprises, large stock-raising complexes, wastes of production; upcast of water and railway transport; wastes of roughing-out of flax, pesticides and other. Contaminents, getting in natural reservoirs, result in the quality changes of water, that, mainly, appear in the change of physical properties of water, in the change of chemical composition of water, in a presence floating substances on the surface of water and laying of them on the bottom of reservoirs. The increases of population, expansion of old and origin of new cities considerably increased entering of domestic flows internal reservoirs. Synthetic cleansers that is widely used in the way of life contaminate reservoirs in a yet greater degree. In the total the capacity of waters goes down for oxigenating, activity of bacteria that mineralize organic substances is paralysed. The unfavorable ecological state of many freshwater ecosystems inflicts substantial harm to the fish resources of reservoirs and puts under a threat possibility not only to develop fish industry, conducting fish artificially, but also simply to catch her. All of it stimulate to do events in relation to the improvement of the ecological state of fresh reservoirs. Voice vibrations are the important constituent of the ecological monitoring of the biota state of fresh reservoirs. Information is about formation of sound in a reservoir part of that is activity of fishes turns out by means of acoustic sensors, that farther yields to computer treatment. The modern methods of recognition of fish acoustic patterns are based on the standards of signals, with properties of average estimations, or on comparisons of acoustic signals with a standard. It is shown that for creation of standards, as a rule, executed: previous signal processing, extraction of features of acoustic signal. Acoustic signals that act from movable objects – fishes can change depending on objective external terms and physical state of reservoirs. The hard algorithms of recognition of acoustic patterns are characterized high probability of error. In this connection repressing are adaptive algorithms of recognition of acoustic patterns. In the process of forming of standards clarification of software comes true according to the features of acoustic signal. Realization of process of creation of standards allows to determine the measure of functional readiness of parameters and knowledge base for the decision of recognition tasks of acoustic signals. In the process of recognition the probability terms of the correct comparing are set to the standard, on default of that an algorithm stops to be executed and requires additional studies. It requires creation of standards that reflect the*

characteristic features of fish signals. Presently for authentication mostly choose such pattern of acoustic signals, as period length of signal fundamental wave. It can be determined or by the search of maximal value in an autocorrelation function, or by the search of minimum value in the function of mean value of difference of signal amplitudes, or by the search of difference of two maximal values in the sequence of going into detail wavelet-coefficients. It is shown that for the tasks of recognition of fish acoustic patterns, most exact and requiring the least studies there is presentation of acoustic signal as a set of sign vectors of frames. In detail methodologies of the period selection of fundamental wave of acoustic signal were analysed: SIFT, EFT-A and EFT-WT. Methodology of EFT-WT is characterized absence of the thresholds set in good time; by the rapid search of period of fundamental wave; by absence of dependence on a noise-level, as a certain range of frequencies is investigated. At the same time calculable complication of wavelet transform is relatively high, in this connection it is necessary optimization of calculation algorithms.

**Keywords:** acoustic pattern; ecosystem; standard of signal; fundamental wave; period; recognition; frame

Т.М. Ткаченко<sup>1</sup>, Ю.Г. Пількевич<sup>1</sup>, Г.М. Розорінов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

<sup>2</sup> Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", м. Київ, Україна

## РОЗПІЗНАВАННЯ АКУСТИЧНИХ ОБРАЗІВ РИБ ПРИ МОНІТОРИНГУ ПРІСНОВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

**Анотація.** Основними джерелами забруднення і засмічення водойм є недостатньо очищені стічні води промислових і комунальних підприємств, крупних тваринницьких комплексів, відходи виробництва; скидання водного і залізничного транспорту; відходи первинної обробки льону, пестициди та ін. Забруднюючі речовини, потрапляючи в природні водойми, призводять до якісних змін води, які, в основному, виявляються в зміні фізичних властивостей води, у зміні хімічного складу води, в наявності плаваючих речовин на поверхні води і відкладанні їх на дні водойм. Зростання населення, розширення старих і виникнення нових міст значно збільшили надходження побутових стоків у внутрішні водойми. Ще більшою мірою забруднюють водойми миючі синтетичні засоби, що широко використовуються в побуті. У результаті знижується здатність вод до насичення киснем, паралізується діяльність бактерій, що мінералізують органічні речовини. Неприятливий екологічний стан багатьох прісноводних екосистем завдає суттєвої шкоди рибним ресурсам водойм і ставить під загрозу можливість не тільки розвивати рибну галузь, розводячи рибу штучно, але і просто її виловлювати. Все це змушує вживати заходів щодо поліпшення екологічного стану прісних водойм. Звукові коливання є важливою складовою екологічного моніторингу стану біоти прісних водойм. Інформація про звукоутворення у водоймі, частиною якої є діяльність риб, отримується за допомогою акустичних датчиків і далі піддається комп'ютерній обробці. Сучасні методи розпізнавання акустичних образів риб базуються або на еталонах сигналів, з властивостями середньостатистичних оцінок, або на зіставленнях акустичних сигналів з еталоном. Показано, що для створення еталонів, як правило, виконується: попередня обробка сигналу, виділення ознак акустичного сигналу. Акустичні сигнали, що надходять від рухливих об'єктів – риб, можуть змінюватися залежно від об'єктивних зовнішніх умов

*і фізичного стану водойм. Жорсткі алгоритми розпізнавання акустичних образів характеризуються високою вірогідністю помилки. У зв'язку з цим кращими є адаптивні алгоритми розпізнавання акустичних образів. В процесі формування еталонів здійснюється уточнення програмного забезпечення згідно з особливостями акустичного сигналу. Реалізація процесу створення еталонів дозволяє визначати міру функціональної готовності параметрів і бази знань для вирішення завдань розпізнавання акустичних сигналів. В процесі розпізнавання задаються умови вірогідності правильного порівняння з еталоном, при невиконанні яких алгоритм перестав виконуватися і потребує додаткового навчання. Це вимагає створення еталонів, що відображають характерні особливості сигналів риб. Нині для ідентифікації найчастіше вибирають таку ознаку акустичних сигналів, як довжина періоду основної гармоніки сигналу. Її можна визначати або шляхом пошуку максимального значення в автокореляційній функції, або шляхом пошуку мінімального значення у функції середнього значення різниці амплітуд сигналу, або шляхом пошуку різниці двох максимальних значень в послідовності деталізуючих вейвлет-коефіцієнтів. Показано, що для завдань розпізнавання акустичних образів риб найбільш точним і вимагаючим найменшого навчання є представлення акустичного сигналу у вигляді набору векторів ознак фреймів. Детально було проаналізовано методики виділення періоду основної гармоніки акустичного сигналу: SIFT, BOT-A і BOT-BP. Методика BOT-BP характеризується відсутністю заздалегідь заданих порогів; швидким пошуком періоду основної гармоніки; відсутністю залежності від рівня шуму, оскільки досліджується конкретний діапазон частот. В той же час обчислювальна складність вейвлет-перетворення відносно висока, у зв'язку з чим потрібна оптимізація алгоритму обчислень.*

**Ключові слова:** акустичний образ; екосистема; еталон сигналу; основна гармоніка; період; розпізнавання; фрейм

## Вступ

Несприятливий екологічний стан багатьох прісноводних екосистем завдає суттєвої шкоди рибним ресурсам водойм і ставить під загрозу можливість не тільки розвивати рибну галузь, розводячи рибу штучно, але і просто її виловлювати. Незаперечний факт, що в багатьох рибних водоймах кількість водних гідробіонтів скоротилася, а деякі види зникли зовсім. Все це змушує вживати заходів щодо поліпшення екологічного стану прісних водойм [1].

Відомо, що звукові коливання є важливою складовою екологічного моніторингу стану біоти прісних водойм. Інформація про звукоутворення у водоймі отримується за допомогою акустичних датчиків і далі піддається комп'ютерній обробці.

Сучасні методи розпізнавання акустичних образів риб базуються або на еталонах сигналів, що формуються в процесі попереднього дослідження, з властивостями середньостатистичних оцінок, або на зіставленнях акустичних сигналів з еталоном.

Для створення еталонів, як правило, виконується:

– попередня обробка сигналу (перетворення способу представлення інформації в акустичному сигналі, пригнічення шуму, скорочення об'єму інформації) [2–8];

– виділення ознак акустичного сигналу (наприклад, визначення меж інформаційної частини сигналу) [9–12].

**Метою роботи** є класифікація і порівняння методів розпізнавання акустичних образів риб прісних водойм, визначення їх достоїнств і недоліків.

### Узагальнений алгоритм розпізнавання акустичних образів

Акустичні сигнали, що надходять від рухливих об'єктів – риб, можуть змінюватися залежно від об'єктивних зовнішніх умов і фізичного стану водойм. Жорсткі алгоритми розпізнавання акустичних образів характеризуються високою вірогідністю помилки. У зв'язку з цим кращими є адаптивні алгоритми розпізнавання акустичних образів.

Узагальнений алгоритм розпізнавання акустичних образів включає три основні операції, які можуть виконуватися або в режимі розпізнавання, або в режимі навчання, і взаємозв'язані між собою [12–16] (рис. 1).

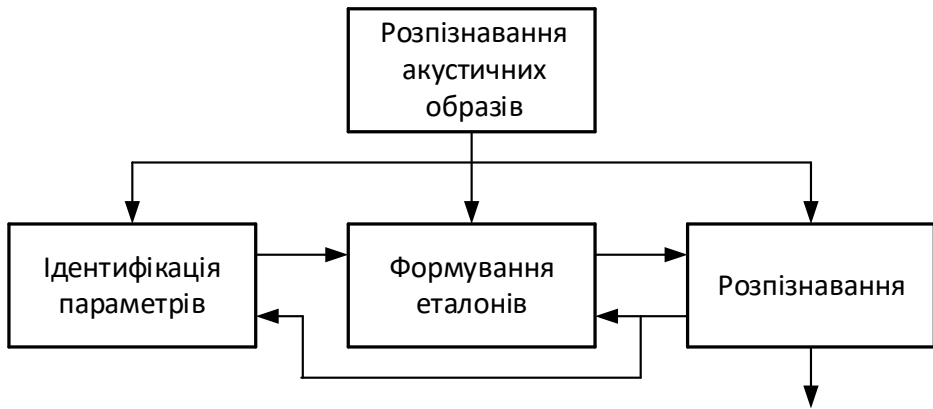


Рис. 1 – Узагальнений алгоритм розпізнавання акустичних образів

В процесі ідентифікації параметрів визначаються умови підготовки і налаштування параметрів, використовуваних при формуванні еталонів і порівнянні з ними. В процесі формування еталонів здійснюється персоналізація програмного забезпечення згідно з особливостями акустичного сигналу. Реалізація перших двох процесів дозволяє визначити міру функціональної готовності параметрів і бази знань для вирішення завдань розпізнавання акустичних сигналів. В процесі розпізнавання задаються умови вірогідності правильного порівняння з еталоном, при невиконанні яких алгоритм перестав виконуватися і вимагає додаткового навчання, тобто перемикається в режим формування еталонів сигналів. Операція ідентифікації параметрів виконується при припиненні виконання двох інших операцій в тих випадках, коли міняється досліджуваний об'єкт або міняються технічні засоби і стандартне програмне забезпечення.

### Формування еталонів

Алгоритм розпізнавання акустичного сигналу ґрунтується на базі цих еталонів. Це вимагає створення еталонів, що відображають характерні особливості сигналів риб.



На рис. 2 схематично показана операція формування еталонів для розпізнавання акустичних образів [12–16].

При очищенні від шуму акустичного сигналу використовуються методичні правила очищення, що враховують чисельні характеристики сигналу.

При визначенні меж корисної частини акустичного сигналу використовуються методичні правила знаходження меж інформаційної частини сигналу, що враховують чисельні характеристики сигналу.

При створенні еталонів використовуються методичні правила утворення словника еталонів сигналів, акустичні характеристики яких визначаються методами цифрової обробки сигналів.

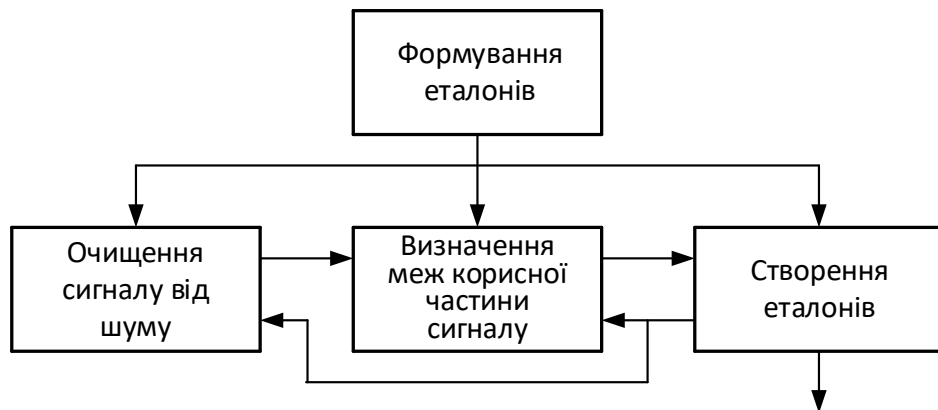


Рис. 2 – Операція формування еталонів

## Розпізнавання

Розпізнавання акустичних сигналів базується на їх порівнянні з раніше створеними еталонами. На рис. 3 схематично показана операція розпізнавання акустичних образів.

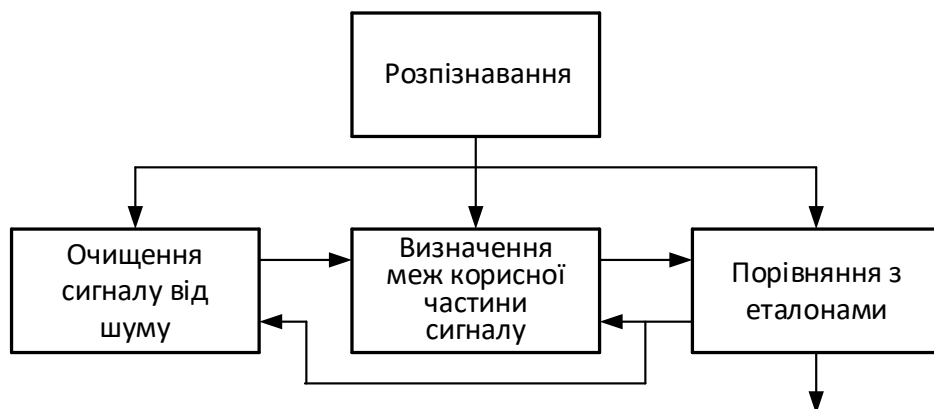


Рис. 3 – Операція розпізнавання акустичних сигналів

Спочатку використовуються методичні правила очищення сигналу від шуму, що враховують чисельні характеристики сигналу.

Далі використовуються методичні правила визначення меж корисної частини сигналу, що враховують чисельні характеристики сигналу.

На кінцевому етапі використовуються методичні правила порівняння розпізнаваних сигналів з еталонами, акустичні характеристики яких визначаються методами цифрової обробки.

Відповідно до структури систем розпізнавання акустичних образів необхідно розглянути методичні положення, на яких базуються блоки формування еталонів і розпізнавання цих систем.

### Ідентифікація акустичних сигналів

Нині для ідентифікації найчастіше вибирають такі ознаки акустичних сигналів:

- енергетичні (відношення енергій двох ділянок сигналів, нормована енергія, енергія смуг спектру) [3, 13];
- основний тон (метод SIFT [3, 13], ґрунтований на пошуку максимуму в автокореляційній функції, ВОТ-метод [14]);
- кількість нуль-перетинів (чи кількість строгих мінімумів) [3];
- параметри лінійного передбачення [3, 6, 13];
- форманти (мовні сигнали) [3, 6, 13];
- кепстр [3, 15, 16, 18];
- кількість імпульсів рівної довжини [19];
- тривалість досліджуваної ділянки сигналу [20].

Для виділення цих ознак зазвичай використовують наступні методи цифрової обробки сигналів: фільтрацію [3, 4]; швидке перетворення Фур'є (ШПФ) [3, 4]; вейвлет-перетворення (ВП) [21–23]; кепстральний аналіз [3, 4]; кодування з лінійним передбаченням [3, 4].

З виділених ознак акустичного сигналу формують вектори ознак фреймів (блоків даних, ділянок рівної довжини).

### Формальне представлення еталонів акустичного сигналу

Еталони акустичних сигналів найчастіше представляють у виді: 1) наборів векторів ознак фреймів; 2) кусочно-постійних моделей; 3) наборів векторів кодової книги; 4) станів прихованих марківських моделей (ПММ); 5) станів відповідної нейромережі; 6) гібриду ПММ і нейромережі.

Форма 1 є найпростішою і є еталоном сигналу  $E_k = (e_{k1}, \dots, e_{ks}, \dots, e_{kN})$ , де  $e_{ks}$  – вектор ознак  $s$ -го фрейма сигналу.

Форма 2 є пара – еталон сигналу  $E_k = (e_{k1}, \dots, e_{ks}, \dots, e_{kQ})$  і темпоральна транскрипція сигналу  $\tau_k = ((m_{k1}, M_{k1}), \dots, (m_{ks}, M_{ks}), \dots, (m_{kQ}, M_{kQ}))$ , де  $m_{ks}, M_{ks}$  – мінімальна і максимальна повторюваність  $e_{ks}$  у сигналі, тобто декілька сусідніх фреймів сигналу можуть описуватися одним вектором ознак  $e_{ks}$  [14]. Зазвичай такі еталони представляють у вигляді детермінованого кінцевого автомата (рис. 4).

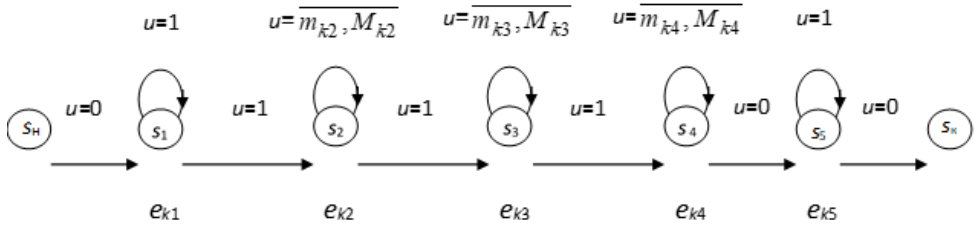


Рис. 4 – Детермінований кінцевий автомат

Ця форма дозволяє економніше представити сигнал, ніж перша [14], але у разі неточного зіставлення фреймів і вектора ознак  $e_{ks}$  може дати меншу точність розпізнавання.

Форма 3 є еталонном сигналу  $E_k = (e_{k1}, \dots, e_{ks}, \dots, e_{kN})$ , де  $e_{ks}$  – вектор з кодової книги, замінюючий початковий вектор ознак фрейма сигналу. Ця форма дозволяє економніше представити сигнал, але дає меншу точність розпізнавання, ніж перша [4].

Форма 4 є безперервною, дискретною або напівбезперервну ПММ, що описує сигнал, і подібна до форми 2, що враховує повторюваність фреймів. Ця форма дозволяє економніше представити сигнал, чим перша. У разі використання безперервної ПММ, по точності розпізнавання порівнянна з першою, але вимагає великої кількості повчальних даних [4].

Форма 5 є нейромережевою моделлю сигналу у вигляді системи рівнянь. Можливі два випадки:

а) на вхід послідовно подаються вектори ознак фреймів сигналу, на виході – маркер поточного фрейма;

б) на вхід подається набір векторів ознак усього сигналу, на виході – номер розпізаного образу.

У разі а) використовуються статичні мережі: багатошаровий перцептрон (MLP), радіально-базисна мережа (RBF), імовірнісна мережа (PNN), мережа Кохонена (SOM), аналіз головних компонент (PCA), аналіз незалежних компонент (ICA), багатошарова мережа прямого поширення (MLFFNN), машина опорних векторів (SVM), ієрархічне змішування експертів (HME) та ін. У разі б) частіше використовуються динамічні мережі: мережі каскадної кореляції (Cascade Correlation), мережі з затримкою за часом (TDNN) та ін. Ці мережі дають невисоку точність розпізнавання із-за нестационарності та нелінійності акустичного сигналу.

Форма 6 є гібридом ПММ і нейромережевої моделі [24]. Параметри ПММ коригуються за допомогою нейромережі. У режимі розпізнавання поточний фрейм розпізнається за допомогою нейромережі, а результат обробляється в ПММ. Ця форма за точністю порівнянна з першою, але вимагає значно більше часу на навчання. Виходячи з цього, для завдань розпізнавання акустичних образів найбільш точним і вимагаючим найменшого навчання являється представлення акустичного сигналу у вигляді набору векторів ознак фреймів.

## Методика SIFT виділення періоду основної гармоніки акустичного сигналу

Довжину періоду основної гармоніки можна визначати або шляхом пошуку максимального значення в автокореляційній функції, або шляхом пошуку мінімального значення у функції середнього значення різниці амплітуд сигналу, або шляхом пошуку різниці двох максимальних значень в послідовності деталізуючих вейвлет-коефіцієнтів. Для визначення довжини періоду основної гармоніки  $T_{0T}$  шляхом пошуку максимального значення в автокореляційній функції використовується методика SIFT [3, 13]. Алгоритм знаходження періоду показаний на рис. 5.

На першому етапі для підвищення надійності визначення частоти і зменшення обчислювальної складності за допомогою еліптичного фільтра нижніх частот з частотою зрізу  $f_{зп} = 1000$  Гц виділяється частотний діапазон, що містить частоту основної гармоніки. Замість еліптичного фільтра, раціонально застосувати послідовне обчислення ДПФ, виділення нижніх частот і обчислення зворотного ДПФ для кожного фрейма сигналу завдовжки  $\Delta N$ . Це дозволяє швидше і точніше виділити низькочастотну складову сигналу, тобто:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{\Delta N-1} x(n)e^{-j(2\pi/\Delta N)nk}, \quad k \in \overline{0, \Delta N-1}; \quad (1)$$

$$X_H(k) = \begin{cases} X(k), & 0 \leq k \leq k_{зп} \\ 0, & k_{зп} < k \leq \Delta N-1 \end{cases}, \quad k_{ку} = (f_{зп} \cdot \Delta N / f_d); \quad (2)$$

$$y(n) = \frac{1}{\Delta N} \sum_{k=0}^{\Delta N-1} X_H(k)e^{j(2\pi/\Delta N)nk}, \quad n \in \overline{0, \Delta N-1}; \quad (3)$$

де  $f_d$  – частота дискретизації.

На другому етапі виконується децимація частоти дискретизації до значення  $f_{1d} = 2000$  Гц, тобто вилучаються проміжні відліки сигналу:

$$s(n) = y(n \cdot \Delta n), \quad n \in \overline{0, \Delta N / \Delta n - 1}, \quad (4)$$

де  $\Delta n = f_d / f_{1d}$  – коефіцієнт децимації.

На етапі 2 також обчислюються зважені різниці двох сусідніх відліків децимованого сигналу:

$$s_{\Delta}(n) = \begin{cases} s(n)w(n), & n = 0 \\ [s(n) - s(n-1)]w(n), & n > 0 \end{cases}, \quad n \in \overline{0, \Delta N / \Delta n - 1}, \quad (5)$$

де  $w(n) = 0,54 + 0,46 \cos \frac{2\pi n}{\Delta N}$  – вікно Хеммінга.

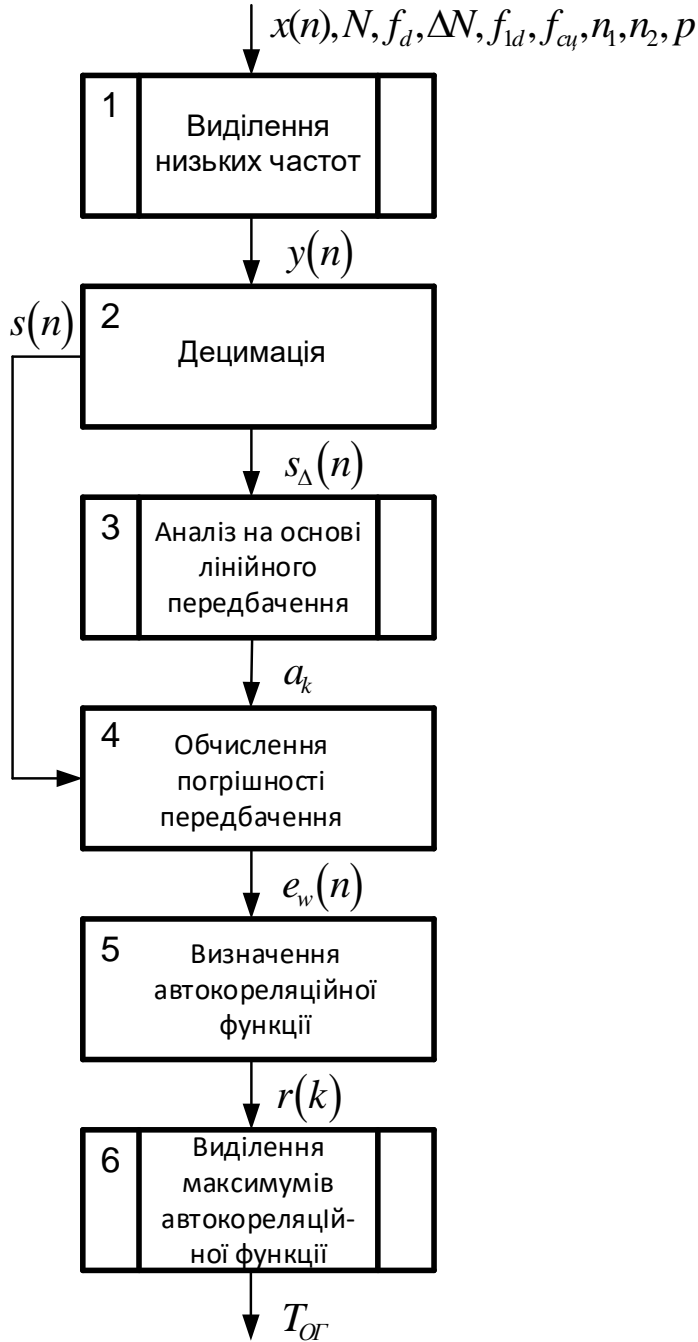


Рис. 5 – Алгоритм пошуку періоду основної гармоніки за методикою SIFT

На етапах 3-4 для відвертання появи побічних піків в автокореляційній функції виконується їх відсікання за методом КЛП (обчислення коефіцієнтів лінійного передбачення) і аналіз децимованого сигналу. Результатом аналізу є визначення коефіцієнтів  $a_k$  за алгоритмом Дарбіна (процедура  $DARBIN(R(k), p)$ ), тобто:

$$R(k) = \sum_{n=0}^{\Delta N / \Delta n - 1 - k} s_{\Delta}(n) s_{\Delta}(n+k), \quad k \in \overline{0, p}, \quad (6)$$

$$\bar{a} = \text{DARBIN}(R(k), p), \quad \bar{a} = (a_1, \dots, a_p), \quad (7)$$

де  $R(k)$  – автокореляційна функція,  $p$  – порядок лінійного передбачення.

Зазвичай порядок лінійного передбачення вибирають рівним  $p=4, 5$ .

На етапі 4 обчислюється погрішність передбачення  $e(n)$  з використанням КЛП:

$$e(n) = \begin{cases} s(n), & n < p \\ s(n) - \sum_{k=1}^p a_k s(n-k), & n \geq p \end{cases}, \quad n \in \overline{0, \Delta N / \Delta n - 1}. \quad (8)$$

На цьому ж етапі виконується зважування обчисленої погрішності передбачення за допомогою вікна Хеммінга:

$$e_w(n) = e(n)w(n), \quad n \in \overline{0, \Delta N / \Delta n - 1}. \quad (9)$$

На етапі 5 обчислюється автокореляційна функція погрішності передбачення:

$$r(k) = \sum_{n=0}^{\Delta N / \Delta n - 1 - k} e_w(n) e_w(n+k), \quad k \in \overline{0, \Delta N / \Delta n - 1}. \quad (10)$$

На етапі 6 визначається, при яких значеннях  $n_0$ ,  $n_0 \in [n_1, n_2]$  автокореляційна функція погрішності передбачення  $r(k)$  максимальна, що відповідає виділенню максимумів (піків) в спектрі акустичного сигналу:

$$r_M = \max_{n_0} r(n_0), \quad n_0 \Delta n \in [n_1, n_2], \quad (11)$$

де  $n_1$  – мінімальна довжина періоду основної гармоніки  $n_1 = \inf T_{\text{ог}}$ ;  $n_2$  – максимальна довжина періоду основної гармоніки  $n_2 = \sup T_{\text{ог}}$ .

Отримане значення визначається як  $\tilde{n}$ :

$$\tilde{n} = \arg \max_{n_0} r(n_0). \quad (12)$$

В результаті довжина періоду основної гармоніки може бути визначена у вигляді:

$$T_{\text{ОГ}} = \begin{cases} \tilde{n}\Delta n, & r_M \geq \gamma, \\ 0, & r_M < \gamma \end{cases} \quad (13)$$

де  $\gamma$  – порогове значення, визначаване експериментальним шляхом.

На рис. 6 показаний зразковий вид автокореляційної функції погрішності передбачення.

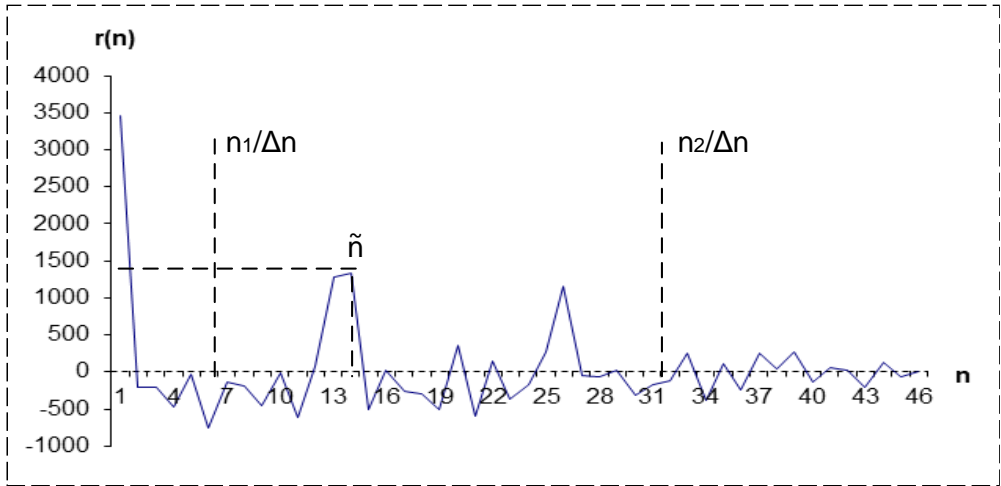


Рис. 6 – Автокореляційна функція погрішності передбачення

### Методика ВОТ-А виділення періоду основної гармоніки акустичного сигналу

Для визначення довжини періоду основної гармоніки  $T_{\text{ОГ}}$  шляхом пошуку мінімального значення у функції середнього значення різниці амплітуд сигналу використовується методика ВОТ-А [7, 14]. Згідно з цією методикою на першому етапі для кожного  $s$ -го фрейма сигналу завдовжки  $\Delta N$  обчислюється функція середнього значення різниці

$$v(k) = \left| \frac{\Delta N - 1}{\sum_{m=0}^{\Delta N - 1} x(m) - x(m+k)} \right|, \quad k \in \overline{0, \Delta N - 1}. \quad (14)$$

На другому етапі визначається, при яких значеннях  $n_0$ ,  $n_0 \in [n_1, n_2]$  функція середнього значення різниці  $v(k)$  мінімальна, що відповідає виділенню періодів в акустичному сигналі:

$$\hat{v} = \min_{n_0} v(n_0), \quad n_0 \in [n_1, n_2], \quad (15)$$

де  $n_1$  – мінімальна довжина періоду основної гармоніки,  $n_1 = \inf T_{\text{ОГ}}$ ;  $n_2$  – максимальна довжина періоду основної гармоніки,  $n_2 = \sup T_{\text{ОГ}}$ .

Отримане значення визначається як:

$$\tilde{n} = \arg \min_{n_0} \hat{v}(n_0). \quad (16)$$

Період основної гармоніки знаходиться як:

$$T_{\text{ог}} = \begin{cases} \tilde{n}, & n_1 \leq \tilde{n} \leq n_2. \\ 0, & \text{інакше} \end{cases} \quad (17)$$

### Методика ВОТ-ВП виділення періоду основної гармоніки акустичного сигналу

Визначити довжину періоду основної гармоніки  $T_{\text{ог}}$  акустичного сигналу можна, застосувавши вейвлет-перетворення (методика ВОТ-ВП) [12, 14].

На першому етапі обчислюється пряме безперервне вейвлет-перетворення, яке можна апроксимувати відповідно до формули прямокутників у вигляді:

$$d_{\mu l} = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) a_0^{-\mu/2} \overline{\psi(a_0^{-\mu} n - b_0 l)} \Delta t, \quad l \in \overline{0, N-1}, \quad \Delta t = 1/f_d, \quad (18)$$

де  $\mu$  – рівень розкладання, на якому досягається гладка гармоніка,  $N$  – довжина сигналу,  $\Delta t$  – крок квантування.

При виконанні вейвлет-перетворення використовується базисна функція Морле:

$$\psi(\xi) = (2\pi)^{-1/2} \cos(k_0 \xi) e^{-\xi^2/2}, \quad k_0 = 5, \quad \xi = a_0^{-m} n - b_0 l. \quad (19)$$

Оскільки послідовність  $d_{\mu l}$  є гладкою гармонікою, відпадає необхідність використання автокореляційної функції і функції середнього значення різниці амплітуд сигналу, які складно обчислювати. Замість цього на другому етапі в послідовності  $d_{\mu l}$  визначаються два максимуми, що йдуть підряд, і обчислюється різниця між ними  $\tilde{n}$ , у вигляді

$$(d_{\mu j-1} \leq d_{\mu j} \geq d_{\mu, j+1} \wedge d_{\mu, m-1} \leq d_{\mu m} \geq d_{\mu, m+1} \wedge d_{\mu, k-1} \leq d_{\mu k} \geq d_{\mu, k+1} \wedge (j < k < m)) \rightarrow \tilde{n} = m - j. \quad (20)$$

Період основної гармоніки знаходиться як:

$$T_{\text{ог}} = \begin{cases} \tilde{n}, & n_1 \leq \tilde{n} \leq n_2, \\ 0, & \text{інакше} \end{cases} \quad (21)$$

де  $n_1$  – мінімальна довжина періоду основної гармоніки,  $n_1 = \inf T_{\text{ог}}$ ;  $n_2$  – максимальна довжина періоду основної гармоніки,  $n_2 = \sup T_{\text{ог}}$ .



## Висновки

Головною перевагою методики SIFT є вирівнювання спектра сигналу, що полегшує оцінювання основної гармоніки, а до недоліків можна віднести: використання порогу, що на деяких фреймах акустичного сигналу може призвести до помилки; значну обчислювальну складність; залежність від рівня шуму.

Достоїнствами методики VOT-A є: відсутність заздалегідь заданих порогів; нескладність обчислень. При цьому, проте, зберігається залежність від рівня шуму.

Методика VOT-ВП характеризується відсутністю заздалегідь заданих порогів; швидким пошуком періоду основної гармоніки; відсутністю залежності від рівня шуму, оскільки досліджується конкретний діапазон частот. В той же час обчислювальна складність вейвлет-перетворення відносно висока, у зв'язку з чим потрібна оптимізація алгоритму обчислень. За сукупністю характеристик при обчисленні довжини періоду основної гармоніки акустичного сигналу кращою є методика VOT-ВП.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Орлов Д.С. Экология и охрана гидросферы при химическом загрязнении: Учеб. пособие / Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Лозановская И.Н. – М.: Высшая школа, 2012. – 167 с.
2. Оппенгейм А.В., Шафер Р.В. Цифровая обработка сигналов. – М.: Связь, 1979. – 416 с.
3. Рабинер Л.Р., Шафер Р.В. Цифровая обработка речевых сигналов. – М.: Радио и связь, 1981. – 495 с.
4. Rabiner L.R., Jang B.H. Fundamentals of speech recognition. – New Jersey: Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, 1993. – P. 507.
5. Солонина А.И., Улахович Д.А., Яковлев Л.А. Алгоритмы и процессоры цифровой обработки сигналов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2001 – 464 с.
6. Секунов Н.Ю. Обработка звука на РС. – СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2001. – 1248 с.
7. Федоров Е.Е. Модели и методы преобразования речевых сигналов – Донецк: изд-во «Норд-Пресс», 2006. – 260 с.
8. Акустика: Справочник / Е.П. Ефимов, А.В. Никонов, М.А. Сапожков, В.И. Шоров / Под ред. М.А. Сапожкова. – М.: Радио и связь, 1989. – 336 с.
9. Федоров Е.Е., Шелепов В.Ю. Автоматическое определение начала и конца записи речи // Искусственный интеллект. – 2002. – № 4. – С. 295–298.
10. Freeman D., Sonthcott C., Boyd I.A. Voice activity detector for the Pan-European digital cellular mobile telephone service // IEE Colloquium «Digitized Speech Communication via Mobile Radio». – London. – 1988. – P. 61–65.
11. Карпов А.А. Робастный метод определения границ речи на основе спектральной энтропии // Искусственный интеллект. – 2004. – № 4. – С. 606–612.
12. Федоров Е.Е. Методика формирования акустических характеристик эталонов речи. – Донецк: изд-во «Вебер», 2008. – 282 с.
13. Маркел Д.Д., Грэй А.Х. Линейное предсказание речи. – М.: Связь, 1980. – 308 с.
14. Винцюк Т.К. Анализ, распознавание и интерпретация речевых сигналов. – К.: Наук. думка, 1987. – 261 с.
15. Shannon B.J., Paliwal K.K. A comparative study of filter bank spacing for speech recognition // Proc. of Microelectronics engineering research conference. – Brisbane. – 2003. – 310–312 pp.

16. Kocharov D.A. Sonority Measure for Automatic Speech Recognition // Труды междунар. конф. SPECOM'2006. – Санкт-Петербург. – 2006. – С. 245–250.
17. Атал Б.С. Автоматическое опознавание дикторов по голосам // ТИИЭР. – 1976. – Т. 64, №4. – С. 48–66.
18. Davis S.B., Mermelstein P. Comparison of Parametric Representations for Monosyllabic Word Recognition in Continuously Spoken Sentences // IEEE Trans. on Acoustic, Speech and Signal Processing. – 1980. – Vol. 28, №4. – 357–366 pp.
19. Дорохин О.А., Засыпкин А.В., Червин Н.А., Шелепов В.Ю. О некоторых подходах к проблеме компьютерного распознавания устной речи // Труды Междунар. конф. «Знание – Диалог – Решение» (KDS 97). – Т. 1. – Ялта. – 1997. – С. 234–240.
20. Молдокулова Н.В., Трунин-Донской В.Н. Лингво-акустические проблемы создания системы распознавания слитной речи на ЭВМ / Ответ. ред. Журавлев Ю.И.; АН КиргССР, Вычислительный центр АН СССР. – Фрунзе: Илим. – 1989. – 136 с.
21. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. – М.: РХД, 2004. – 464 с.
22. Чуи К. Введение в вэйвлеты. – М.: Мир, 2001. – 412 с.
23. Малла С. Вэйвлеты в обработке сигналов. – М.: Мир, 2005. – 671 с.
24. Bourlard H., Morgan N. Connectionist Speech Recognition: A Hybrid Approach. – Boston: Kluwer Academic Publishers, 1994. – 312 p.

Стаття надійшла до редакції 10.11.2020 і прийнята до друку після рецензування 08.02.2021

## REFERENCES

1. Orlov, D.S., Sadovnikova, L.K., & Lozanovskaya, I.N. (2012). *Ekologiya i ohrana hidrosfery pri khimicheskom zagryaznenii* [Ecology and protection of the hydrosphere with chemical pollution]. Moscow: Vysshaya shkola (in Russian).
2. Oppengeym, A.V., & Shafer, R.V. (1979). *Tsyfrovaya obrabotka signalov* [Digital signal processing]. Moscow: Svyaz (in Russian).
3. Rabiner, L.R., & Shafer, R.V. (1981). *Tsyfrovaya obrabotka rechevykh signalov* [Digital processing of speech signals]. Moscow: Radio i Svyaz' (in Russian).
4. Rabiner, L.R., & Jang, B.H. (1993). *Fundamentals of speech recognition*. New Jersey: Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs.
5. Solonina, A.I., Ulakhovich, D.A., & Yakovlev, L.A. (2001). *Algoritmy i protsessory tsyfrovoy obrabotki signalov* [Algorithms and processors for digital signal processing]. Sankt Peterburg: BKHV-Peterburg (in Russian).
6. Sekunov, N.Yu. (2001). *Obrabotka zvuka na PC* [Sound processing on PC]. Sankt Peterburg: BKHV-Peterburg (in Russian).
7. Fyedorov, Ye.Ye. (2006). *Modeli i metody preobrazovaniya rechevykh signalov* [Models and methods of converting speech signals]. Donetsk: Nord-Press (in Russian).
8. Yefimov, Ye.P., Nikonov, A.V., Sapozhkov, M.A., & Shorov, V.I. (1989). *Akustika: Spravochnik* [Acoustics: Handbook]. (M.A. Sapozhkov, Ed.). Moscow: Radio i Svyaz' (in Russian).
9. Fyedorov, Ye.Ye., & Shelepov, V.Yu. (2002). Automatic detection of the beginning and end of speech recording. *Iskusstvennyi intellekt*, 4, 295-298 (in Russian).
10. Freeman, D., Sonthcott, C., & Boyd, I.A. (1988). Voice activity detector for the Pan-European digital cellular mobile telephone service. In IEE Colloquium *Digitized Speech Communication via Mobile Radio* (pp. 61-65). London.
11. Karpov, A.A. (2004). Robust method for determining the boundaries of speech based on spectral entropy. *Iskusstvennyi intellekt*, 4, 606-612 (in Russian).
12. Fyedorov, Ye.Ye. (2008). *Metodika formirovaniya akusticheskikh kharakteristik etalonov rechi* [Methodology for the formation of acoustic characteristics of speech standards]. Donetsk: Veber (in Russian).

13. Markel, D.D., & Grey, A.Kh. (1980). *Lineynoe predskazaniye rechi* [Linear speech prediction]. Moscow: Svyaz' (in Russian).
14. Vintsyuk, T.K. (1987). *Analiz, raspoznavaniye i interpretatsiya rechevykh signalov* [Analysis, recognition and interpretation of speech signals]. Kyiv: Naukova dumka (in Russian).
15. Shannon, B.J., & Paliwal, K.K. (2003). A comparative study of filter bank spacing for speech recognition. In *Proc. of Microelectronics engineering research conference* (pp. 310-312). Brisbane.
16. Kocharov, D.A. (2006). Sonority Measure for Automatic Speech Recognition. In *Trudy mezhd. konf. SPECOM'2006* (pp. 245-250). Sankt Peterburg.
17. Atal, B.S. (1976). Avtomaticheskoye opoznavaniye diktovor po golosam [Automatic recognition of speakers by voices]. In *Proceedings of IEEE*, 64(4), 48-66 (in Russian).
18. Davis, S.B., & Mermelstein, P. (1980). Comparison of Parametric Representations for Monosyllabic Word Recognition in Continuously Spoken Sentences. In *IEEE Trans. on Acoustic, Speech and Signal Processing*, 28(4), 357-366.
19. Dorokhin, O.A., Zasyupkin, A.V., Chervin, N.A., & Shyelyepov, V.Yu. (1997). O nekotorykh podkhodakh k probleme komp'yuternogo raspoznavaniya ustnoy ryechi [Some approaches to the problem of computer speech recognition]. In *Trudy Myezhdunarodnoy konferentsiyi "Znaniye – Dialog – Ryeshyeniye" (KDS 97)* (Vol. 1. 234-240). Yalta (in Russian).
20. Moldokulova, N.V., & Trunin-Donskoy, V.N. (1989). *Lingvo-akusticheskiye problemy sozdaniya sistemy raspoznavaniya slitnoy ryechi na EVM* [Linguo-acoustic problems of creating a continuous speech recognition system on a computer]. Frunzye: Ilim (in Russian).
21. Dobyeshi, I. (2004). *Dyesyat' lektsiy po veyvletam* [Ten lectures on wavelets]. Moscow: RKhD (in Russian).
22. Chui, K. (2001). *Vvedenie v veyvlety* [Introduction to wavelets]. Moscow: Mir (in Russian).
23. Malla, S. (2005). *Veyvlety v obrabotkye signalov* [Wavelets in signal processing]. Moscow: Mir (in Russian).
24. Bourlard, H., & Morgan, N. (1994). *Connectionist Speech Recognition: A Hybrid Approach*. Boston: Kluwer Academic Publishers.

*The article was received 10.11.2020 and was accepted after revision 08.02.2021*

#### **Ткаченко Тетяна Миколаївна**

доктор технічних наук, професор, професор кафедри охорони праці та навколишнього середовища Київського національного університету будівництва і архітектури

**Адреса робоча:** 03037, Україна, м. Київ, Повітрофлотський просп., 31

ORCID ID 0000-0003-2105-5951 **e-mail:** tkachenkoknuba@gmail.com

#### **Пількевич Юлія Георгіївна**

Начальник відділу МТЗ Київського національного університету будівництва і архітектури

**Адреса робоча:** 03037, Україна, м. Київ, Повітрофлотський просп., 31

ORCID ID 0000-0002-7618-0250 **e-mail:** y.rozorinova@gmail.com

#### **Розорінов Георгій Миколайович**

доктор технічних наук, професор, професор кафедри акустичних мультимедійних електронних систем Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Адреса робоча:** 03056, Україна, м. Київ, просп. Перемоги, 37

ORCID ID 0000-0002-6095-7539 **e-mail:** grozoryn@gmail.com

УДК 628.16.06: 656.1 7

**Sergii A. Bychkov**<sup>1</sup>, Dr, Professor, Acting Director General of ANTONOV COMPANY  
*e-mail*: info@antonov.com

**Petro G. Kyriienko**<sup>2</sup>, PhD, docent, of Ecology Technogenic Safety  
*e-mail*: p.kirienko@khai.edu

**Yevhenii M. Varlamov**<sup>3</sup>, PhD (Tech.Sc), Senior Research Fellow, Head of the sector  
*e-mail*: y.varlamov@khai.edu

**Oleksandr V. Betin**<sup>2</sup>, Dr, Professor, of Ecology Technogenic Safety  
*e-mail*: o.betin@khai.edu

**Lyalya R. Mirsultanova**<sup>1</sup>, Head of the environmental protection department of ANTONOV COMPANY  
*e-mail*: lu98@i.ua

<sup>1</sup> ANTONOV COMPANY, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine

<sup>3</sup> Ukrainian Scientific Research Institute of Ecological Problem, Kharkiv, Ukraine

## RECONSTRUCTION OF TREATMENT FACILITIES FOR WASTEWATER TREATMENT AT «ANTONOV» STATE ENTERPRISE

**Abstract.** *The main priorities of Ukraine's foreign policy in the field of environmental protection have always been political and institutional rapprochement with the European Union (EU). In this regard, Ukraine has made commitments to gradually harmonize national legislation with EU legislation. Therefore, the "Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy" which aimed at improving the protection and improvement of the aquatic environment through specific measures to reduce discharges, emissions and losses of priority substances, as well as the cessation or elimination of discharges, emissions and losses of hazardous substances, currently requires active implementation. Therefore, the issue of reconstruction of wastewater treatment plants at the enterprise of SE "Antonov" is very relevant. An analysis of the operation of wastewater treatment plants at the enterprise of SE "Antonov" was performed. Today, the entire complex of treatment facilities needs reconstruction with design work to implement the latest technologies for extraction of petroleum products from water and surface wastewater treatment, as well as the organization of self-flowing water treatment regime. Measures for the reconstruction of treatment facilities are proposed. The technology of operation of treatment facilities on the principle of self-flowing water treatment regime is offered, which will allow saving energy resources. An improved technology for extraction of petroleum products, floating and suspended solids from wastewater, and purification of effluents for dissolved petroleum products removal is proposed. Proposed measures will improve the environmental situation in reservoirs where treated water flows.*

**Keywords:** *wastewater treatment plants; oil products; wastewater; rainwater; meltwater; irrigation and washing water; floating and suspended solids; technological scheme*

С.А. Бичков<sup>1</sup>, П.Г. Кириченко<sup>2</sup>, Є.М. Варламов<sup>3</sup>, О.В. Бетін<sup>2</sup>, Л.Р. Мірсултанова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ДП «Антонов», м. Київ, Україна

<sup>2</sup> Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна

<sup>3</sup> «УКРНДІЕП», м. Харків, Україна

## РЕКОНСТРУКЦІЯ ОЧИСНИХ СПОРУД ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ЗЛИВОВИХ ВОД НА ПІДПРИЄМСТВІ ДП «АНТОНОВ»

***Анотація.** Основними пріоритетами зовнішньої політики України в природоохоронній сфері завжди було політичне та інституційне зближення з Європейським Союзом (ЄС). У зв'язку з цим в Україні прийняті зобов'язання щодо поступової гармонізації національного законодавства до законодавства ЄС. Тому Директива 2000/60/ ЄС Європейського Парламенту та Ради від 23 жовтня 2000 р. «Про встановлення рамок діяльності співтовариства у сфері водної політики», спрямована на вдосконалення охорони і поліпшення водного середовища за допомогою конкретних заходів щодо зменшення скидів, викидів і втрат пріоритетних речовин, а також припинення або ліквідації скидів, викидів і втрат небезпечних речовин, наразі потребує активного впровадження. Тому питання щодо реконструкції очисних споруд для очищення зливових вод на підприємстві ДП «Антонов» є дуже актуальним. Проведено аналіз роботи очисних споруд очищення зливових вод на підприємстві ДП «Антонов». На сьогодні весь комплекс очисних споруд потребує реконструкції з проведенням проектних робіт для впровадження новітніх технологій відділення від води нафтопродуктів та доочищення поверхневих стічних вод, а також організації роботи в самопливному режимі. Запропоновано заходи з реконструкції очисних споруд. Технологія роботи очисних споруд, заснована на принципі самопливного режиму очищення вод, дозволить економити енергоресурси. Запропоновано удосконалену технологію вилучення із зливових вид нафтопродуктів, плаваючих і зважених речовин, та доочищення зливових вод від розчинених нафтопродуктів. Запропоновані заходи дозволять поліпшити екологічну ситуацію на водоймах, куди зливаються очищені води.*

***Ключові слова:** очисні споруди; нафтопродукти; зливові води; дощові і талі води; поливо-мийні води; плаваючі та зважені речовини; технологічна схема*

### Вступ

Основними пріоритетами зовнішньої політики України в природоохоронній сфері завжди було політичне та інституційне зближення з Європейським Союзом (ЄС). Результатом переходу до якісно нового рівня відносин стала підготовка Угоди про асоціацію. У зв'язку з цим в Україні прийняті зобов'язання щодо поступової гармонізації національного законодавства до законодавства ЄС.

Директива 2000/60/ ЄС Європейського Парламенту та Ради від 23 жовтня 2000 р. «Про встановлення рамок діяльності співтовариства у сфері водної політики» [1] спрямована на вдосконалення охорони і поліпшення водного середовища за допомогою конкретних заходів щодо зменшення скидів, викидів і втрат пріоритетних речовин, а також припинення або ліквідації скидів, викидів і втрат небезпечних речовин.

В Україні останнім часом приділяється досить значна увага проблемі стану навколишнього природного середовища [2, 3, 4].

Враховуючи наведене, питання з реконструкції очисних споруд для очищення зливових вод на підприємстві ДП «Антонов» є дуже актуальним.

Очисні споруди зливових стічних вод північної території Державного підприємства «Антонов» побудовані у 1988 р. за проектною документацією, яка розроблена інститутом «Київавіапроект». Згідно з проектом їх продуктивність складає очищення 800 м<sup>3</sup>/добу зливових стічних вод.

На очисні споруди зливових стічних вод надходять поверхневі (дощові, талі, поливо-мийні) стічні води з північної, північно-західної і північно-східної частин території підприємства. Відведення поверхневого стоку з цих територій здійснюється колекторами зливової каналізації діаметрами 1000, 1200 та 1500 мм, на яких встановлено розподільні камери, що забезпечують спрямування на очисні споруди усіх видів поверхневого стоку (дощових, талих, поливних миючих вод).

Технологічною схемою відведення і очищення поверхневих стічних вод передбачено очищення найбільш забрудненої частки поверхневого стоку, що утворюється в період випадіння дощів, танення снігу та миття покриття на території підприємства, що складає не менше 70% об'єму стоку за рік і відповідає вимогам ДБН В.2.5-75; 2013 [11].

Очисні споруди зливових вод поверхневого стоку з території підприємства, у відповідності до проекту, складаються з ряду ступенів, до складу яких входять:

– два резервуари-відстійники ємністю: № 1 – 5000 м<sup>3</sup>, № 2 – 2000 м<sup>3</sup>. Резервуар № 1 обладнаний секцією для затримання плаваючого сміття та нафтопродуктів. Нафтопродукти збираються до резервуару (залізобетонний колодязь) для збору нафтопродуктів об'ємом 10 м<sup>3</sup>. Резервуари-відстійники збудовано зі збірних залізобетонних конструкцій розмірами в плані: резервуар № 1 – 26x66 м, резервуар № 2 – 26x26 м, будівельною глибиною 4,8 м та робочою 3 м;

– будівля, розміром в плані 6x8 м, в якій розміщені приміщення для 2 піщано-гравійних фільтрів, насосного відділення з 3 групами насосів – подачі очищеної у резервуарах води на фільтри, подачі чистої фільтрованої води на промивку фільтрів, відведення промивної води після промивки фільтрів у голову очисних споруд, приміщення трансформаторної підстанції. Резервуар промивної води ємністю 45 м<sup>3</sup>.

Від розподільчих камер, що встановлені на дощових колекторах, стічні поверхневі води надходять на очисні споруди по трубопроводу діаметром 800 мм у секцію для затримання плаваючого сміття і нафтопродуктів, яка обладнана решіткою, згонною планкою, поворотно-щільовими трубами, затопленим випуском в резервуар № 1. Спливаючі нафтопродукти за допомогою згінної планки через поворотно-щільові труби спрямовують в накопичувач нафтопродуктів для подальшої утилізації.

Перетік води з секції для затримання нафтопродуктів до резервуара-відстійника № 1 і далі до резервуара-відстійника № 2 здійснюється через затоплені перепускні трубопроводи.

Доочищені на піщано-гравійних фільтрах, що розташовані у спеціальній будівлі, очищені зливі води скидаються у дощовий колектор, діаметром 1200 мм і далі у рівчак Новобіличі, притоку р. Ірпінь.

На сьогодні очисні споруди не придатні до експлуатації (загальний вигляд наведено на рис. 1 та 2). Весь комплекс очисних споруд потребує реконструкції з проведенням проектних робіт для впровадження новітніх технологій відділення від води нафтопродуктів та доочищення поверхневих стічних вод, а також організації роботи в самопливному режимі.



Рис. 1 – Загальний вигляд накопичувача № 1



Рис. 2 – Загальний вигляд піщано-гравійних фільтрів

**За результатами проведених досліджень існуючих споруд очищення зливових вод та можливості їх реконструкції пропонується.**

1. Обстежити, і очистити всі підвідні та відвідні колектори діаметрами 400, 500, 800, 1000, 1200, 1500 мм, деякі з них можна заглушити.
2. Відремонтувати всі колодязі, розташовані на колекторах дощової каналізації, піднявши їх на 200 мм над рівнем землі.

3. Виконати проект майданчика для зневоднення осаду, який видаляється з відстійників, та для його тимчасового складування.

4. Виконати проект і будівництво нагірної канави для перехоплення та відведення поверхневого стоку, що надходить по рельєфу місцевості на спланований у виїмці майданчик очисних споруд.

5. Виконати проектні роботи для впровадження новітніх технологій відділення від води нафтопродуктів та доочищення поверхневих стічних вод, а також організації роботи очисних споруд в самопливному режимі.

6. Провести ремонтно-будівельні роботи за проектами.

Для виконання перших чотирьох пунктів не треба великих капіталовкладень. Деякі роботи можуть виконуватися за допомогою механізмів та робітників самого підприємства. Автори пропонують для виконання п'ятого пункту виконати проект та розрахунки за наступною схемою (рис. 3).

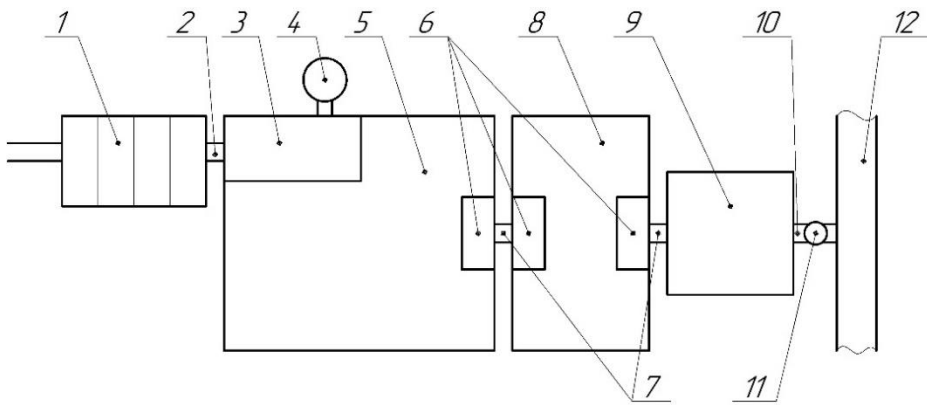


Рис. 3 – Технологічна схема очищення дощових стічних вод:

- 1 – блок попереднього очищення, 2 – сифонний перетік, 3 – нафтовловлювач,
- 4 – резервуар нафтопродуктів, 5 – відстійник № 1, 6 – деструктори нафтопродуктів,
- 7 – перетічні труби, 8 – відстійник № 2, 9 – блок остаточного очищення, 10 – перетічна труба, 11 – колодязь з автоматикою, 12 – відвідний колектор

Перед резервуаром-відстійником № 1 необхідно побудувати очисну споруду для вилучення зважених речовин (пісок, камінці, намул, листя у вигляді органіки, гілки, папір та ін.), плаваючого сміття та інших забруднень. Для цього необхідно побудувати споруду блоку попереднього очищення і відстоювання зливових вод. Обладнати цей блок автоматичною системою видалення плаваючого сміття: сіткою-транспортером, ерліфтами видалення піску, що дозволить якісно вилучати нафтопродукти в нафтовловлювачі.

Для цього зливову воду, яка надходить на очищення, необхідно пропустити через спеціальне сито, із відповідним вічком, де будуть вилучені всі плаваючі речовини. Для вилучення зважених речовин в блоці попереднього очищення треба облаштувати відстійник з приямком для збору осаду, ерліфтами для видалення осаду, лабіринтними уповільнювачами потоку. Таким чином злилова вода буде попередньо очищена. Наступний етап – очищення зливових вод від нафтопродуктів.



Пропонується нафтовловлювач побудувати у відповідності до патенту авторів статті на винахід № 120726 «Пристрій для очищення зливних вод від нафтопродуктів і завислих речовин» від 27.01.2020, бюл. № 2 [9].

Конструкцію нафтовловлювача згідно з патентом зображено на рис. 4.

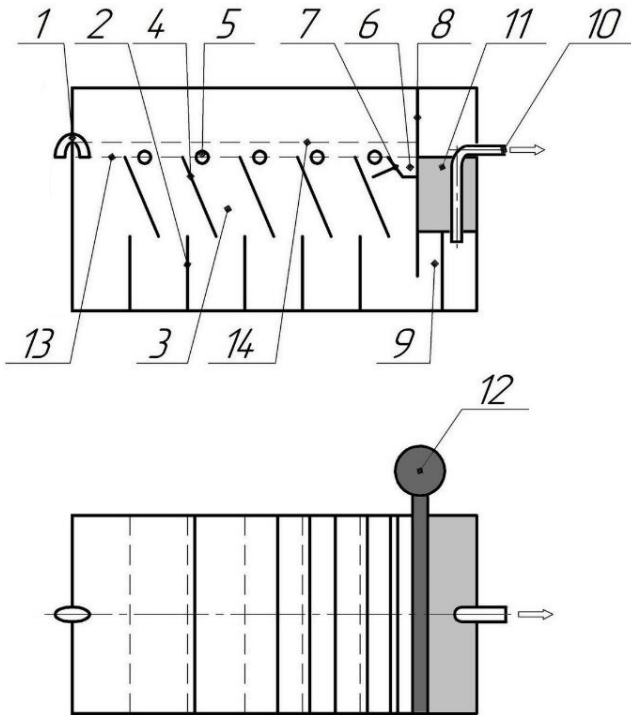


Рис. 4 – Схема конструкції нафтовловлювача:

1 – перетічна труба, 2 – вертикальні занурені мембрани, 3 – відстійник, 4 – похилені занурені мембрани, 5 – застійна зона, 6 – жолоб, 7 – тавроподібна стінка, 8 – верхня напівзанурена мембрана, 9 – вторинний відстійник, 10 – сифонний витік, 11 – плаваюче завантаження, 12 – нафтонакопичувач, 13 – найнижчий рівень, що подається на очищення, 14 – найвищий рівень води, що подається на очищення

Нафтовловлювач працює наступним чином. Вода з блока попереднього очищення по перетічній трубі 1 самопливною системою надходить у відстійник 3. Протікаючи по відстійнику, швидкість потоку уповільнюється через вертикальні занурені мембрани 2, а зверху, за похиленими мембранами 4, утворюється застійна зона 5, де збираються нафтопродукти. Разом з потоком плаваючі нафтопродукти переносяться до тавроподібної стінки 7. Виступ на тавроподібній стінці не дає потрапляти нафтопродуктам назад в стічну воду, далі вони потрапляють в похилий жолоб 6, а із жолоба – в нафтонакопичувач 12. Рівні води 13 і 14 в нафтовловлювачі налаштовані таким чином, що вода і нафтопродукти обов'язково будуть розділятися, а після розділення не змішуватись. У вторинному відстійнику 9 у верхній частині розташоване плаваюче завантаження 11, призначене для вилучення із води розчинених нафтопродуктів. В якості плаваючого завантаження використовується дерев'яна стружка хвойних порід з біодеструктором. Далі вода через сифонний витік 10 виводиться із пристрою самопливною системою у відстійник № 1.

На виході води із відстійника № 1 (рис. 1), а на вході у відстійник № 2 обладнані секції з плаваючими змінними бонами, наповненими дерев'яною стружкою хвойних порід з біодеструктором. Така ж секція обладнана і на виході води із відстійника № 2. На виході із відстійника № 2 (рис. 1) обладнана плаваюча змінна бона, наповнена дерев'яною стружкою хвойних порід з біодеструктором. Такий технологічний прийом доочищення стічної води дозволить більш якісно очищувати стічну воду від нафтопродуктів. Перетічні труби 7, 10 дозволять стічній воді самопливною системою надходити із одного технологічного вузла до наступного.

В блоці остаточного очищення 9 (будівля, розміром в плані 6x18 м, обладнана випуском очищеної води в зливовий колектор) може бути розміщена установка для очищення стічної води від важких металів. Для цього необхідно закупити та встановити необхідне обладнання та реактиви. Як правило, таке обладнання використовує деякі сорбційні методи очищення, орієнтовані на визначені важкі метали [6, 7, 8].

Для автоматичного контролю якості очищеної стічної води перед скиданням в стічний колектор, в колодязі 11 необхідно облаштувати пункт автоматного контролю якості очищеної води [10]. Способи контролю можна використовувати різні, наприклад метод рідинної хроматографії, мас-спектрометрії, в поєднанні з засобами обчислювальної техніки, дозволить оперативно одержувати необхідну інформацію. При виборі методів визначення компонентів стічних вод необхідно враховувати не тільки метрологічні характеристики порівняльних методів, але й такі фактори, як витрати та стійкість реактивів, вартість визначення, надійність аналізаторів, наявність методичного забезпечення, трудомісткість обслуговування приладів і підготовки проби.

## **Висновки**

1. Запропонована технологічна схема очищення стічних вод дозволить вилучати із стічної води нафтопродукти та важкі метали, що дасть змогу не забруднювати поверхневі води і поліпшить екологічну обстановку.
2. Реалізація руху рідини по очисному пристрою в самопливному режимі дозволить економити енергетичні ресурси.
3. Використання блока попереднього очищення дозволить вилучати зважені речовини (пісок, камінці), намул, у вигляді органіки, плаваюче сміття (листя, гілки, папір та ін.) і не засмічувати очисну споруду.
4. Розроблені заходи дозволять поліпшити екологічну ситуацію на водоймах, куди надходять очищені зливові води підприємства.

## **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Директива 2000/60/ ЄС Європейського Парламенту та Ради від 23 жовтня 2000 р. «Про встановлення рамок діяльності співтовариства у сфері водної політики».
2. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.91 №1264-XI. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rada.gov.ua>.
3. Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» від 28.02.2019 №2697-VIII. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2818-17>.

4. Водний кодекс України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80/conv>.
5. П.Г. Кирієнко, Є.М. Варламов, В.В. Кручина, І.М. Берешко. Водопостачання, водовідведення та поліпшення якості води, навч. посіб. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», 2013. – 188 с.
6. Запольський, А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води [Текст] / А. К. Запольський. – К.: Вища шк., 2005. – 671 с.
7. Яковлев, С. В. Водоотведение и очистка сточных вод [Текст] / С. В. Яковлев, Ю. В. Воронов. – М.: АСВ, 2004. – 704 с.
8. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / А. К. Запольський, Н. А. Мішкова-Кліменко, І. М. Астрелін та ін. – К.: Лібра, 2000. – 552 с.
9. Кирієнко П.Г., Варламов Є.М., Бетін О.В., Бичков С.А., Мірсултанова Л.Р. Патент на винахід № 120726 від 27.01.2021, бюл № 2.
10. РД 211.1.7.105-02 Методичні вказівки та вимоги щодо оснащення типових пунктів оперативного контролю води / Є.М. Варламов, В.А. Квасов, Г.М. Катриченко, Л.Л. Юрченко. – К. : Мінприроди, 2002. – 12 с.
11. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди.

*Стаття надійшла до редакції 03.12.2020 і прийнята до друку після рецензування 22.02.2021*

## REFERENCES

1. Directive 2000/60 / EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy.
2. Law of Ukraine "On Environmental Protection" of 25.06.91 №1264-XI. Retrieved from: <http://www.rada.gov.ua>.
3. Law of Ukraine "On the Basic Principles (Strategy) of the State Environmental Policy of Ukraine for the period up to 2030" of 28 February 2019 №972697-VIII. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2818-17>.
4. Water Code of Ukraine. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80/conv>.
5. Kyriienko, P.H., Varlamov, Ye.M., Kruchyna, V.V., & Bereshko, I.M. (2013). *Vodopostachannia, vodovidvedennia ta polipshennia yakosti vody, navch. posib.* [Water supply, drainage and water quality improvement, textbook]. Kharkiv: Nats. aerokosm. un-t im. M.Ye. Zhukovskoho «KhAI» (in Ukrainian).
6. Zapolskyi, A.K. (2005). *Vodopostachannia, vodovidvedennia ta yakist vody* [Water supply, drainage and water quality]. Kyiv: Vyshcha shkola (in Ukrainian).
7. Jakovlev, S.V., & Voronov, Ju.V. (2004). *Vodootvedenie i ochistka stochnyh vod* [Wastewater disposal and wastewater treatment]. Moscow: ASV (in Russian)
8. Zapolskyi, A.K., Mishkova-Klimenko, N.A., Astrelin, I.M. et al. (2000). *Fyzyko-khimichni osnovy tekhnolohii ochyshchennia stichnykh vod* [Physico-chemical bases of wastewater treatment technology]. Kyiv: Libra (in Ukrainian).
9. Kyriienko, P.H., Varlamov, Ye.M., Betin, O.V., Bychkov, S.A., & Mirsultanova, L.R. *Pat. 120726 Ukrain'a*. Bjul. №2, vid 27.01.2021 r. (in Ukrainian).
10. Varlamov, Ye.M., Kvasov, V.A., Katrychenko, H.M., & Yurchenko, L.L. (2002). RD 211.1.7.105-02 *Metodychni vkazivky ta vymohy shchodo osnashchennia typovykh punktiv operatyvnoho kontroliu vody* [Methodical instructions and requirements for equipping standard points of operative control of water]. Kyiv: Minprirody (in Ukrainian).
11. DBN B.2.5-75:2013. Sewage. External networks and constructions (in Ukrainian).

*The article was received 03.12.2020 and was accepted after revision 22.02.2021*

**Бичков Сергій Андрійович**

Генеральний директор ДП «Антонов», доктор технічних наук, професор

**Адреса робоча:** 03062, Україна, м. Київ, вул. Академіка Туполева, 1

**e-mail:** info@antonov.com

**Кириєнко Петро Григорович**

кандидат технічних наук, доцент Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»

**Адреса робоча:** 61070 Україна, м. Харків, вул. Чкалова, 17

**e-mail:** p.kirienko@khai.edu

**Варламов Євген Миколайович**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, зав. сектором НДУ «УКРНДІЕП»

**Адреса робоча:** 61166, Україна, м. Харків, вул. Бакуліна, 6

**e-mail:** y.varlamov@khai.edu

**Бетін Олександр Володимирович**

доктор технічних наук, професор Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»

**Адреса робоча:** 61070 Україна, м. Харків, вул. Чкалова, 17

**e-mail:** o.betin@khai.edu

**Мірсулганова Ляля Рустемівна**

начальник ООС ДП «Антонов»

**Адреса робоча:** 03062, Україна, м. Київ, вул. Академіка Туполева, 1

**e-mail:** lu98@i.ua

## ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ NATURAL RESOURCES

UDC 69.033.8:69.032.6:621.311.25:628.972

**Tetiana Tkachenko**<sup>1</sup>, Dr, Professor of Department of Labour and Environment Protection  
ORCID ID 0000-0003-2105-5951 *e-mail*: tkachenkoknuba@gmail.com

**Oleksii Tkachenko**<sup>1</sup>, student, Department of Architectural Design of Civil Buildings and Structures Head of Sustainability  
ORCID ID 0000-0003-1536-5208 *e-mail*: alex654321123456@gmail.com

**Olena Voloshkina**<sup>1</sup>, Dr, Professor of Department of Labour and Environment Protection  
ORCID ID 0000-0002-3671-4449 *e-mail*: e.voloshki@gmail.com

**Adam Ujma**<sup>2</sup>, Dr. eng. of Faculty of Civil Engineering  
ORCID ID 0000-0001-5331-6808 *e-mail*: adam.ujma@pcz.pl

<sup>1</sup> Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> Czestochowa University of Technology, Czestochowa, Poland

### PROSPECTS OF DESIGNING SMALL ARCHITECTURAL FORMS USING ALTERNATIVE ENERGY SOURCES

**Abstract.** *The energy efficiency of the transport system is one of the key issues in the concept of sustainable development of modern cities. Increasing energy efficiency in the transport sector implies increasing the efficiency of the entire transport sector: from modernizing vehicles to introducing energy-efficient comfortable stops for public transport into the city system. One of the problems of modern architecture of large cities is the creation of a unified architecture of small architectural forms (SAF), namely, stops of urban public transport. They should not only have a modern design, but also be comfortable, functional, safe and energy efficient. In the article, the authors propose a unified urban archetype for an energy-efficient public transport stop for the city of Kyiv. Energy efficiency is achieved by installing solar panels on the roofs of the SAF. During the placement of the bus stop, it is imperative to take into account the shading from nearest buildings located on the south, south-east and south-west sides. Depending on the orientation of the roof of the stop to the cardinal points and the type of solar panels, it can generate about 2030 kW·h/year (west orientation) – 2269.9 kW·h/year (south orientation) of electricity. The maximum deviation from the averaged equal-percentage value (2143.16 kW·h/year) related to the actual data between the maximum and minimum of generation is only 5.55%. This is explained by the angle of photovoltaic panels, which is optimized for universal use. The proposed archetype is energy efficient, functional, and therefore can be taken as a basis for mass placement in the city.*

**Key words:** *public transport stop; energy efficiency; solar panels; archetype*

## Introduction

Today, energy is the most important driving force of world economic progress. In the middle of the 20th century, energy consumption was growing in all countries of the world. If we look at the structural components of the world energy, we can see that most needs are provided by the use of minerals: coal, oil, natural gas, uranium. This leads to depletion of natural resources. Today environmentalists note that humanity requires 1.75 of planet Earth to provide all needs [1]. This means that people consume so quickly that the planet does not have time to replenish its resources. The UN report "Climate-neutral cities" [2] emphasizes the paramount role of urbocenoses in mitigating the problems associated with climate change. According to experts, 75% of global energy consumption and 80% of greenhouse gas emissions fall on cities [2]. The main contribution to the greenhouse effect is made by CO<sub>2</sub>, which is an indicator of the ecological footprint of urbocenoses. The main contribution to the greenhouse effect is made by CO<sub>2</sub>, which is an indicator of the ecological footprint of urbocenoses. Despite sharp fluctuations in the concentration of CO<sub>2</sub> in the Earth's atmosphere over the past geological period, the natural cycle of CO<sub>2</sub> over the past few millennia has not changed.

Anthropogenic activity disturbs this balance due to the release of CO<sub>2</sub> bound in such natural carbon storage as fossil fuels and green biomass. With the beginning of the industrial era in the XVIII century, the concentration of CO<sub>2</sub> in the atmosphere has increased by almost a third. As a result of these actions over the past century, there has been a global increase in average temperature, followed by global warming.

Reducing CO<sub>2</sub> emissions is the main mechanism for slowing down climate changes. In solving this problem, technologies with alternative energy sources are proposed.

In August 2018, the Government of Ukraine adopted the "Strategy for Low Carbon Development until 2050" [2], which provides a gradual reduction in fossil fuel use and the start of investment in renewable energy sources. Therefore, the search and implementation of energy efficient technologies is a priority task.

One method of the reduction CO<sub>2</sub> emissions is the use of solar radiation to generate electricity [3–7; 8–12; 13–14].

The energy efficiency of the transport system is one of the key problems in the concept of sustainable development of modern cities [15]. Increasing energy efficiency in the field of transport implies increasing the efficiency of the entire transport sector: from modernizing vehicles to introducing energy-efficient comfortable stops for public urban transport into the urban system [16–18].

Ukraine has developed the "Strategy for Sustainable Development of Ukraine until 2030". One of the operational purposes of the "Strategy" is to create a viable infrastructure, to promote inclusive energy efficient and innovative industrial development [19].

Within the framework of the "Strategy" in the city of Kyiv, the project of the solution of Kyiv "About the consolidated concept of the development of transport stops in the city of Kyiv" [20] was broken up. The project envisages the definition of archetypes of transport stops and the improvement of a single procedure for their placement, arrangement and maintenance. At the same time, city public transport stops should have a modern design; should be compact and functional; should be suitable for all age groups of passengers, taking into account people with disabilities; should be safe; environmentally friendly and energy efficient.

The idea of creating SAFs using solar panels is not new. For example, London was the first city in the world where TfL (Transport for London) in 2002–2005 tried bus stops with photovoltaic. Later this example was followed by cities in Canada and the USA [21]. Several autonomous stops have even been installed in Kyiv [21–23]. However, there has been no experience of mass construction of such stops.

## Materials and Methods

The purpose of the work is to create a project of municipal transport stop using a renewable energy source (solar photoelectric modules with double glass).

Tasks:

- to calculate the amount of electricity required to provide a stop lightning during the year;
- to create a project of a stop for further mass installation in Kyiv.

Currently, there are more than 2,570 public transport stops in Kyiv. There are for about 1,190 equipped with waiting pavilions, 664 – with stop complexes [24]. Most of them are aesthetically and technically outdated.

It should be noticed that almost all existing stops consume electricity from the electricity grid for lighting at night and heating during winter period. According to the following formula, we calculate the amount of electricity required to illuminate one stop during the year:

$$W = N \cdot P \cdot \tau \cdot z, \quad (1)$$

where  $W$  – amount of electricity required to illuminate one stop during the year (kW/year);  $N$  – the number of luminaires at one stop (pcs.);  $P$  – the power of one luminaire (W);  $\tau$  – the time during that the luminaire consume energy (hours);  $z$  – number of working days.

According to calculations, we have approximately 1051 kW/year for one stop (we take 8 lamps, the power of each of which is 36 kW, 8 hours of operation during 365 days).

According to formula (2) we find the amount of energy consumed by all stops in Kyiv during the year:

$$W_{general} = W + a, \quad (2)$$

where  $W_{general}$  – the amount of electricity consumed by all stops during the year (kW/year);  $W$  – the amount of electricity consumed by one stop during the year (kW/year);  $a$  – the number of stops in the city of Kyiv (pcs.).

$$W_{general} = 1051 \cdot 2570 = 2701070 \text{ Kw/year}$$

For comparison, according to the method of electricity audit [25] it is established that an apartment of 100 m<sup>2</sup> will consume 10–15 kW of energy per day, which will be 3650–5475 kW per year. All the energy spent on lighting all the capital's bus stops could be provided from 500 to 700 apartments with an area of 100 m<sup>2</sup>.

To solve the problem of energy consumption of existing stops, a project of the bus stop with photoelectric modules was developed.

To fully provide an illumination of a stop, the solar module must generate a certain amount of electricity. This number is not constant and depends on a number of factors:

- period of the year and number of sunny days;
- longitude and latitude of the area (in our case we take the city of Kyiv);
- shading from nearest buildings located on the south, southeast, southwest sides;
- location of the object relative to the north-south direction;
- number of luminaires and their power (calculations were performed for LED luminaires with a power of 36 W).

Kyiv is located at 50° 27' 16" north latitude and 30° 31' 25" east longitude.

The time of sunrise and sunset during the year for the city of Kyiv (Fig. 1) varies in such a way that the greatest duration falls on the summer period (16–18 hours per day), and the smallest – respectively on the winter (11–13 hours per day).

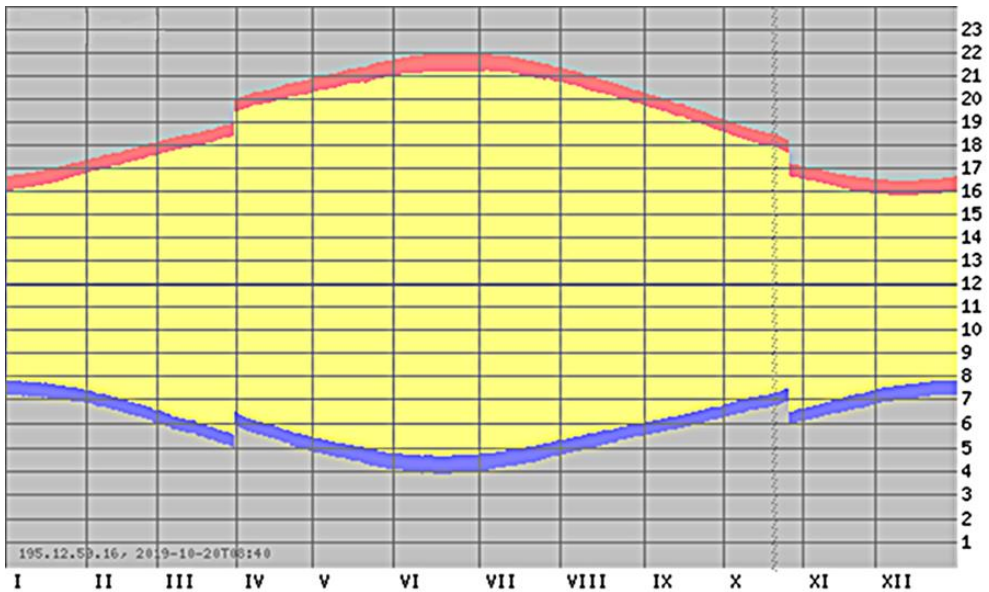


Figure 1 – Day and night duration schedule for Kyiv [26]

■ – day time; ■ – night time; ■ – sunrise; ■ – sunset

Data about the amount of sunlight that falls per unit area of the surface for the city of Kyiv (Table 1) is accepted according to the current norms in Ukraine [27]. We see that the largest amount of sunlight falls during the period from June to August, the smallest – from December to February. The largest amount of electricity will be produced in the period from May to September in the southern, southeastern and southwestern orientation of the roof (Table 2). Excess electricity can be collected for further use or for recharging gadgets and electric scooters (at the stop there is a parking space for bicycles and scooters).



Table 1 – Solar radiation gains on a horizontal surface, averaged by month

| Month  |         | I                          | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |      |
|--|---------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Days number <i>n</i>   |         | 31                         | 28   | 31   | 30   | 31   | 30   | 31   | 31   | 30   | 31   | 30   | 31   |      |
| Solar radiation gains on a horizontal surface, averaged by month | Direct  | MJ/(m <sup>2</sup> ·mon)   | 25   | 46   | 100  | 170  | 285  | 300  | 300  | 265  | 170  | 80   | 23   | 15   |
|  |         | MJ/(m <sup>2</sup> ·day)   | 0.81 | 1.64 | 3.23 | 5.67 | 9.19 | 10.0 | 9.68 | 8.55 | 5.67 | 2.58 | 0.77 | 0.48 |
|  |         | kW·h/(m <sup>2</sup> ·day) | 0.22 | 0.46 | 0.90 | 1.57 | 2.55 | 2.78 | 2.69 | 2.37 | 1.57 | 0.72 | 0.21 | 0.13 |
|  | Diffuse | MJ/(m <sup>2</sup> ·mon)   | 60   | 96   | 170  | 215  | 280  | 290  | 288  | 230  | 168  | 110  | 58   | 44   |
|  |         | MJ/(m <sup>2</sup> ·day)   | 1.94 | 3.43 | 5.48 | 7.17 | 9.03 | 9.67 | 9.29 | 7.42 | 5.60 | 3.55 | 1.93 | 1.42 |
|  |         | kW·h/(m <sup>2</sup> ·day) | 0.54 | 0.95 | 1.52 | 1.99 | 2.51 | 2.69 | 2.58 | 2.06 | 1.56 | 0.99 | 0.54 | 0.39 |
|  | Total   | MJ/(m <sup>2</sup> ·mon)   | 85   | 142  | 270  | 385  | 565  | 590  | 588  | 495  | 338  | 190  | 81   | 59   |
|  |         | MJ/(m <sup>2</sup> ·day)   | 2.74 | 5.07 | 8.71 | 12.8 | 18.2 | 19.7 | 19.0 | 16.0 | 11.3 | 6.13 | 2.70 | 1.90 |
|  |         | kW·h/(m <sup>2</sup> ·day) | 0.76 | 1.41 | 2.42 | 3.56 | 5.06 | 5.46 | 5.27 | 4.44 | 3.13 | 1.70 | 0.75 | 0.53 |

Table 2 – Annual amount of produced energy at orientations that cause high effectiveness of energy production

| Roof orientation | Produced electric energy, kW·h/year |
|------------------|-------------------------------------|
| West             | 2030,4                              |
| South West       | 2171,2                              |
| South            | 2269,6                              |
| South East       | 2266,2                              |
| East             | 2163,7                              |

It is convenient to determine the amount of electricity produced by solar panels in specialized software.

This work uses the Power Calculator program, developed by IBC Solar [28]. It uses standard calculation techniques.

The program requires you to enter the location address of the object, length, width, angle and orientation of the roof. Another possibility is to draw the contours of the roof on the map with the task of the lowest edge and angle of inclination.

## Results and Discussion

Civilization moves from consumer society to sustainable development. The first estimates a man by the amount of consumption, which leads to overconsumption of energy resources, excessive environmental pollution by carbon dioxide and other combustion products, heat, waste etc.

The sustainable development estimates by the amount of resource economy. This causes decrease of environmental pollution sometimes, to the detriment of economic effect. In this case, architecture should be not only aesthetical, but also pragmatic, energy-efficient, environment-friendly, and, if possible, combined with renewable energy generation.

Small architectural forms are especially perspective in this regard. There are too lot of them in modern cities. Municipal transport stops are especially important for people. Unlike the rest of SAFs, there is no possibility to avoid them. In many old cities, a lot of them are decrepit and need reconstruction. It is important to create an architype of functional and energy-efficient stops of municipal transport.

The authors have developed an archetype of autonomous municipal transport stop. The bus stop has an area of 20 m<sup>2</sup>. There is a kiosk, a waiting area, an area for bicycles and scooters. The project also provides sockets for charging gadgets.

The stop has a v-shaped roof, each part of which is inclined at an angle of 15 degrees to the horizon (Fig. 2, 3). The autonomy of the stop is achieved by installing solar photovoltaic modules with double glazing and a battery pack for energy storage. It is also possible to install a specialized controller to control the charging process and energy consumption.

The amount of electricity that solar panels will produce depending on the orientation of the roof is given. According to calculations using the Power Calculator program, the largest amount of electricity will be generated in the period from May to September in the south (2269.6 kW·h/year), southeast (2266.26 kW·h/year) and southwest (2171.2 kW·h/year) roof orientation.

The averaged equal-percentage value related to the actual data between the maximum and minimum of generation (Table 2) is

$$2 \cdot 2030.4 \cdot 2269.6 / (2030.4 + 2269.6) = 2143.16 \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{year}$$

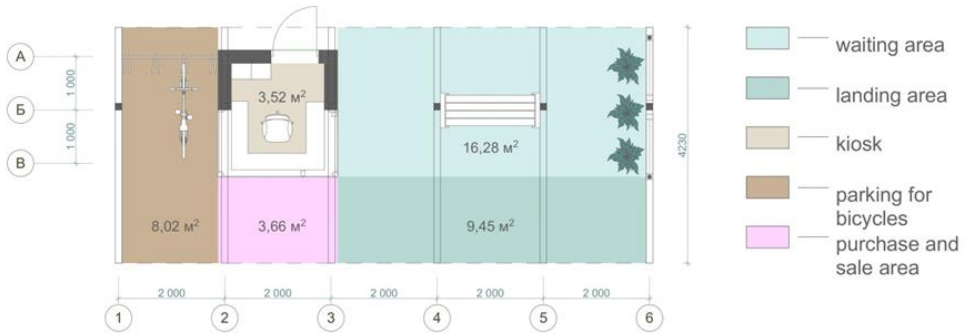
The maximum deviation is only 5.55%. This is explained by the angle of photovoltaic panels, which is optimized for universal use.

The archetype is recommended for wide introduction in modern cities and towns to rise energy efficiency and provide sustainable development of urbocenoses.

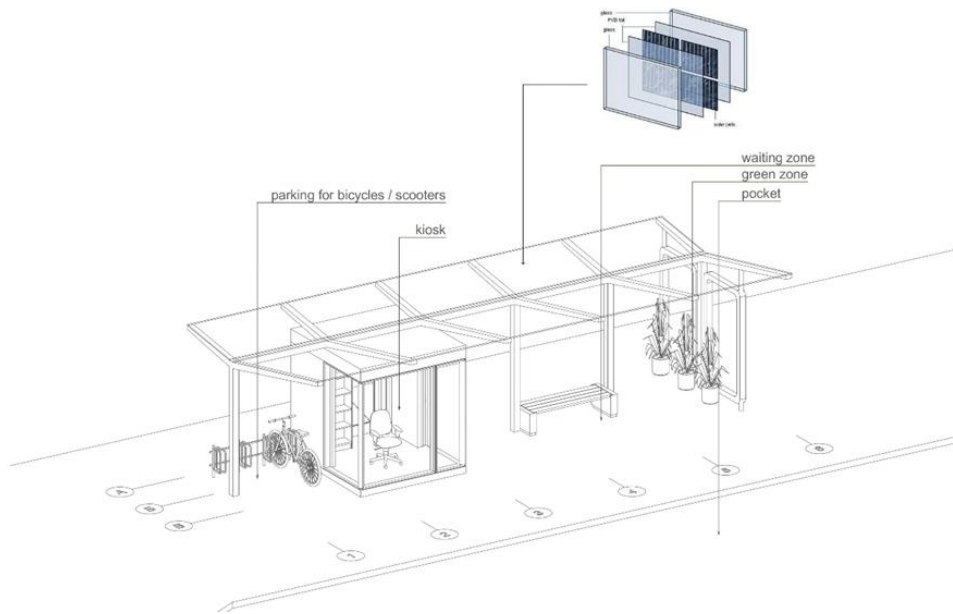
## Conclusion

The completed stop project contributes to the sustainable development of cities, including the following benefits:

- aesthetic appeal due to modern design and new technologies;
- autonomy and energy independence (due to the installation of solar photovoltaic modules with double glazing and a battery pack for energy storage);
- environmental friendliness. Solar panels use alternative sources (sunlight) as a source of heat. Due to this, they are environmentally friendly and safe;
- security. The lighted stop in the evening is a safe place to wait for public transport, storage of bicycles and scooters;
- comfort. The project of stopping public transport with the use of alternative energy sources makes it possible to create more comfortable living conditions for people of different ages and different physical abilities at this facility;
- due to the listed advantages, the proposed project can be taken as a basis for creating a common architecture for public transport stops for the Kyiv city.



a



b

Figure 2 – drawings of the stop:  
a – stop plan with location of functional areas;  
b – general view of the stop  
with functional areas and solar panels



a



b

Figure 3 – Visualization of the bus stop: a – autumn-winter period;  
b – spring-summer period



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



The publication was prepared in the framework of project «Multilevel Local, National and Regionwide Education and Training in Climate Services, Climate Change Adaptation and Mitigation 619285-EPP-1-2020-1-FI-EPPKA2-CBHE-JP». The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

## REFERENCES

1. Earth Overshoot Day 2019 is July 29th, the earliest ever. (2019). Retrieved 02.10.2020 from: <https://www.footprintnetwork.org/2019/06/26/press-release-june-2019-earth-overshoot-day/>
2. Strategy of low-carbon development of Ukraine until 2050. (2017). Retrieved 02.10.2020 from: <https://menr.gov.ua/files/docs/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%20%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%96%D1%97%20%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D1%8C%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%83%D0%B3%D0%BB%D0%B5%D1%86%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%BA%D1%83%20%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8%20.pdf>
3. Sambor, D.J., Wilber, M., Whitney E., & Jacobson, M.Z. (2020). Development of a Tool for Optimizing Solar and Battery Storage for Container Farming in a Remote Arctic Microgrid. *Energies*, 13(5143), 5143.
4. Gira, N., & Dahiya, A.K. (2020). Solar PV-BES in distribution system with novel technique for DC voltage regulation. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 23(5), 1058-1067.
5. Jbari, Y., & Abderafi, S. (2020). Parametric study to enhance performance of wastewater treatment process, by reverse osmosis-photovoltaic system. *Applied Water Science*, 10(10), 1-14.
6. Jou, H.-L., Wu, J.-C., Zhang, T.-Y., & Shih, S.I. (2020). New power conversion topology for battery-less PV generation system with the functions of grid-connection and isolated grid. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 23(5), 1074-1083.
7. Lorenzo, C., Narvarte, L., & Cristóbal, A.B. (2020). A Comparative Economic Feasibility Study of Photovoltaic Heat Pump Systems for Industrial Space Heating and Cooling. *Energies*, 13(4114), 4114.
8. Prem, P., Sivaraman, P., Sakthi Suriya Raj, J.S., Jagabar Sathik, M., & Almakhlles, D. (2020). Fast charging converter and control algorithm for solar PV battery and electrical grid integrated electric vehicle charging station. *Automatika*, 61(4), 614-625.
9. Senthil, S. (2020). Effect of charging of phase change material in vertical and horizontal rectangular enclosures in a concentrated solar receiver. *Case Studies in Thermal Engineering*, 21, 100653.
10. Shaqour, A, Farzaneh, H., Yoshida, Y., & Hinokuma, T. (2020). Power control and simulation of a building integrated stand-alone hybrid PV-wind-battery system in Kasuga City, Japan. *Jurnal Energy Reports*, 6, 1528-1544.
11. Sikder, P.S., & Pal, N. (2020). Modeling of an intelligent battery controller for standalone solar-wind hybrid distributed generation system. *Journal of King Saud University: Engineering Sciences*, 32(6), 368-377.
12. Sinambela, M., Situmorang, M., Tarigan, K., Humaidi, S., & Rahayu, T. (2020). Design of solar power system for the new mini region of broadband seismometer shelter in Tiganderket, Karo, North Sumatera, Indonesia. *Journal Case Studies in Thermal Engineering*, 22, 100747.
13. Sobol, Ł., & Dyjakon, A. (2020). The Influence of Power Sources for Charging the Batteries of Electric Cars on CO<sub>2</sub> Emissions During Daily Driving: A Case Study from Poland. *Energies*, 13(4267), 4267.
14. Wei, Li, Jikang, Li, Zhenzhong, Hu, Sunwei, Li, & Chan P.W. (2020). A Novel Probabilistic Approach to Optimize Stand-Alone Hybrid Wind-Photovoltaic Renewable Energy System. *Energies*, 13(4945), 4945.
15. Voloshkina, O., Tkachenko, T., Sipakov, R., & Tkachenko, O. (2019). The estimation and reduction of risks caused by air pollution in cities. *Budownictwo o zoptymalizowanym Potencjale energetycznym* [Construction of optimized energy potential], 8(2), 17-25. <https://doi.org/10.17512/bozpe.2019.2.02>
16. Beler-Bedecker, S., & Huyging, H. (2013). Urban transport and energy efficiency. Retrieved 05.10.2020 from: <http://greenlogic.by/content/files/dad357e3aec74d42c89c14e4d4fb872.pdf>

17. Tkachenko, T., Mileikovskiy, V., & Ujma, A. (2018). Field Study of Air Quality Improvement by a "Green Roof" in Kyiv. In R. Ulewicz & R. R. Nikolic (Eds.), *7th International Conference System Safety: Human - Technical Facility - Environment (CzOTO 2018)* (pp. 419–424). Warszawa: De Gruyter. doi:<https://doi.org/10.2478/czoto-2019-0054>
18. Itriashvili, L., Iremashvili, I., Khosroshvili, E., Ujma, A. (2018). Noviy mnogocelevoy polimernyj kompozit i oblasti jeho primeneniya. *Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym*, 1(21), 77-82.
19. Strategy of sustainable development of Ukraine until 2030 (project-2017). Retrieved 05.10.2020 from: [file:///C:/Users/%D0%A2%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F%D0%BD%D0%B0/Downloads/UNDP\\_Strategy\\_v06-optimized.pdf](file:///C:/Users/%D0%A2%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F%D0%BD%D0%B0/Downloads/UNDP_Strategy_v06-optimized.pdf).
20. Draft decision of the Kyiv City Council "About the approval of the Concept of placement of public transport stops in Kyiv". (2019). Retrieved 05.10.2020 from: <https://kga.gov.ua/rss/200-proekt-rishennya-kijivradi-pro-zatverdzhennya-kontseptsiji-rozmishchennya-zupinok-gromadskogo-transportu-v-m-kyevi>
21. Bus boffins solar stops even work in UK winter, 2005. Retrieved 05.10.2020 from: <https://tfl.gov.uk/info-for/media/press-releases/2005/september/bus-boffins-solar-stops-even-work-in-uk-winter>.
22. Kyivpastrans. (2016). Retrieved 05.10.2020 from: <https://ecotechnica.com.ua/arkhitektura/975-kyev-obzavelsya-umnoj-ostanovkoj-na-solnechnykh-panelyakh.html>
23. BG Solar panels have appeared in Kyiv. (2017). Retrieved 05.10.2020 from: <https://bzh.life/gorod/v-kyeve-poyavilis-ostanovki-s-solnechnymi-batareyami>.
24. Kulesh, S. (2015). Kiev public transport stops will be equipped with Wi-Fi and phone chargers. Retrieved 05.10.2020 from: <https://itc.ua/news/kyevskie-ostanovki-obshhestvennogo-transporta-osnastyat-wi-fi-i-zaryadkami-dlya-telefonov/>.
25. Guide: how to audit electricity in a private home or with your own hands. (2015). Retrieved 05.10.2020 from: <http://term.od.ua/blog/rukovodstvo-audit-elektroenergii-v-chastnom-dome-svoimi-rukami/>.
26. Kiev, Ukraine – Sunrise, sunset, dawn and dusk times, table. (2020). Retrieved 05.10.2020 from: <https://www.gaisma.com/en/location/kyiv.html>.
27. Construction climatology. DSTU-N B B.1.1-27: 2010. (2011). Ukraine, Kyiv.
28. Solar Power Calculator. Retrieved 05.10.2020 from: <https://powercalculator.abc-solar.com/>.

*The article was received 22.09.2020 and was accepted after revision 17.12.2020*

**Т. Ткаченко, О. Ткаченко, О. Волошкіна, А. Уйма**  
**ПЕРСПЕКТИВНІСТЬ ПРОЕКТУВАННЯ МАЛИХ АРХІТЕКТУРНИХ ФОРМ**  
**З ВИКОРИСТАННЯМ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ**

**Анотація.** Енергоефективність транспортної системи є одним із ключових питань концепції сталого розвитку сучасних міст. Підвищення енергоефективності у транспортному секторі передбачає підвищення ефективності всього транспортного сектору: від модернізації транспортних засобів до впровадження енергоефективних комфортабельних зупинок для громадського транспорту в міську систему. Однією з проблем сучасної архітектури великих міст є створення єдиної архітектури малих архітектурних форм (МАФ), а саме, – зупинок міського громадського транспорту. Вони повинні мати не тільки сучасний дизайн, але й бути зручними, функціональними, безпечними та енергоефективними. У статті автори пропонують уніфікований міський архітип для енергоефективної зупинки громадського транспорту для міста Києва. Енергоефективність досягається встановленням сонячних панелей на дахах МАФ. Під час розміщення зупинки обов'язково враховувати затінення від найближчих будівель, розташованих на південній, південно-східній та південно-західній сторонах. Залежно від орієнтації даху зупинки на основні точки та типу сонячних панелей, вона може виробляти близько 2030 кВт·год/рік (орієнтація на захід) – 2269,9 кВт·год/рік (орієнтація на південь) електроенергії. Максимальне відхилення від усередненого рівнопроцентного значення (2143,16 кВт·год/рік), що стосується фактичних даних між

максимумом та мінімумом генерації, становить лише 5,55%. Це пояснюється кутом нахилу фотоелектричних панелей, який оптимізований для універсального використання. Запропонований архітип є енергоефективним, функціональним, а отже, його можна взяти за основу для масового розміщення в місті.

**Ключові слова:** зупинка громадського транспорту; енергоефективність; сонячні панелі; архітип

*Стаття надійшла до редакції 22.09.2020 і прийнята до друку після рецензування 17.12.2020*

**Ткаченко Тетяна Миколаївна**

доктор технічних наук, кандидат біологічних наук, професор кафедри охорони праці та навколишнього середовища Київського національного університету будівництва та архітектури

**Адреса робоча:** 03037 Україна, м. Київ, проспект Повітрофлотський, 31

ORCID ID 0000-0003-2105-5951 **e-mail:** tkachenkoknuba@gmail.com

**Ткаченко Олексій Андрійович**

студент кафедри архітектурного проектування цивільних будівель і споруд Київського національного університету будівництва і архітектури

**Адреса робоча:** 03037 Україна, м. Київ, проспект Повітрофлотський, 31

ORCID ID 0000-0003-1536-5208 **e-mail:** alex1654321123456@gmail.com

**Волошкіна Олена Семенівна**

доктор технічних наук, професор кафедри охорони праці та навколишнього середовища Київського національного університету будівництва та архітектури

**Адреса робоча:** 03037 Україна, м. Київ, проспект Повітрофлотський, 31

ORCID ID 0000-0002-3671-4449 **e-mail:** e.voloshki@gmail.com

**Уйма Адам**

кандидат технічних наук, викладач кафедри інженерії будівельних процесів Ченстоховської політехніки

**Адреса робоча:** Польща, м. Ченстохова

ORCID ID 0000-0001-5331-6808 **e-mail:** adam.ujma@pcz.pl

UDC 504.064.2

**Tetiana I. Kryvomaz**, Dr, Professor of Department of Labour and Environment Protection  
ORCID ID 0000-0002-4161-9702 *e-mail*: ecol@i.ua

**Antonina M. Savchenko**, Senior Lecturer  
ORCID ID 0000-0001-8518-968X *e-mail*: asav2509@gmail.com

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

## THE REDUCING OF CONSTRUCTION INDUSTRY INFLUENCE ON CLIMATE CHANGE BY IMPLEMENTATION OF GREEN BUILDING PRINCIPLES

**Abstract.** *The construction industry has a significant impact on climate change due to the urbanization increase, as cities consume 75% of the world's natural resources and contribute 80% of global greenhouse gas emissions. At the same time, the construction and the built environment directly depend on a number of climatic factors. Climatic information is used at all stages of the construction project: concept development, technical design, organization and conduct of construction works, operation of buildings and structures, repair and reconstruction, destruction, utilization and recycling. The role of the construction industry in achieving the UN's Sustainable Development Goals and reducing the impact on climate change through the implementation of green building principles is analyzed. Green building aims to minimize the negative impact on the environment, and innovative green technologies reduce carbon emissions.*

**Key words:** *climate change; green building; sustainable development; risks; environmental safety*

**Т.І. Кривомаз, А.М. Савченко**

Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ, Україна

## ЗНИЖЕННЯ ВПЛИВУ БУДІВЕЛЬНОЇ ГАЛУЗІ НА КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ ЗЕЛЕНОГО БУДІВНИЦТВА

**Анотація.** *Будівельна галузь суттєво впливає на перебіг кліматичних змін внаслідок пришвидшення темпів урбанізації, адже міста споживають 75% світових природних ресурсів та вносять 80% глобальних викидів парникових газів. Водночас будівництво і побудоване середовище безпосередньо залежать від цілої низки кліматичних факторів. Кліматична інформація використовується на всіх стадіях будівельного проекту: розробка концепції, технічне проектування, організація та проведення будівельних робіт, експлуатація будівель і споруд, ремонт та реконструкція, знесення з послідовною утилізацією та рециклізацією. Проаналізовано роль будівельної галузі у досягненні цілей ООН зі сталого розвитку та зниження впливу на кліматичні зміни за допомогою впровадження принципів зеленого будівництва. Зелене будівництво спрямоване на мінімізацію негативного впливу на довкілля, а інноваційні зелені технології забезпечують скорочення викидів вуглецю.*

**Ключові слова:** *кліматичні зміни; зелене будівництво; сталий розвиток; ризики; екологічна безпека*

© Т.І. Кривомаз, А.М. Савченко, 2021



## **Вступ**

Проблема кліматичних змін загострюється внаслідок пришвидшення темпів урбанізації та вичерпання ресурсів. Більше половини людей проживає в міських районах, а до 2050 року ця цифра зросте до двох третин населення світу [21]. Вже сьогодні в ОАЕ 85% населення мешкає у містах, при цьому складні кліматичні умови обумовлюють необхідність високих витрат на підтримання штучного середовища існування [7]. Очікування зростання рівня комфорту побудованого середовища закономірно супроводжується підвищенням використання ресурсів і енергії. Міста споживають 75% світових природних ресурсів та вносять 80% глобальних викидів парникових газів [25]. Роль міст зростає експоненціально з наслідками їх впливу на кліматичні зміни. Тільки в Китаї нараховується більше 100 мегаполісів з населенням понад мільйон мешканців [13]. В усьому світі зростає кількість кліматичних катаклізмів, зокрема аномальних погодних явищ, що призводять до пожеж, посух та повеней [6]. Ризики кліматичних змін для бізнесу та фінансових ринків реальні і посилюються з кожним днем, тому надзвичайно важливо, щоб управління будівельним бізнесом здійснювалось у відповідності до цих ризиків для побудови більш сильної, стійкої та сталої глобальної економіки [17]. Міжнародні інвестори нерухомості все більше усвідомлюють кліматичні ризики та потребу в стійких активах. Британський Інститут міських територій враховує важливість кліматичних змін в процесі прийняття рішень щодо нерухомості [25]. Свідомі професіонали будівельної галузі відчують відповідальність за негативний вплив на довкілля і намагаються запроваджувати стійкі заходи для зменшення руйнівних кліматичних наслідків, щоб забезпечити розвиток і процвітання наступних поколінь.

## **Постановка завдання**

Метою дослідження є визначення шляхів зниження негативного впливу будівельної галузі на кліматичні зміни. В узгодженні з метою сформульовано такі цілі:

- проаналізувати роль будівельної галузі у досягненні цілей ООН зі сталого розвитку та зниження впливу на кліматичні зміни;
- визначити важливість використання кліматичної інформації на всіх етапах будівельних проєктів;
- довести спроможність технологій зеленого будівництва сприяти зменшенню негативного впливу будівельної галузі на довкілля та кліматичні зміни.

## **Результати досліджень**

Сектор будівництва та майна відіграє ключову роль у забезпеченні цілей ООН, враховуючи значні економічні, екологічні та соціальні наслідки та переваги, пов'язані з будівельними продуктами, будівлями та інфраструктурними активами протягом їх життєвого циклу [17]. Резолюція Генеральної Асамблеї ООН «Перетворення нашого світу: Порядок денний в області сталого розвитку на період до 2030 року» (Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development) включає 17 Глобальних цілей (Цілі сталого розвитку – ЦСР),

яким відповідають 169 завдань, спрямованих на життєстійкий розвиток планети, захист довкілля, подолання бідності та забезпечення загального процвітання [21]. Світова рада зеленого будівництва підтримує Цілі ООН зі сталого розвитку, які вказують шляхи економічного зростання з урахуванням проблеми глобальних кліматичних змін під гаслом «сприяти процвітання, захищаючи планету». Міжнародний досвід у багатьох країнах світу переконливо свідчить про те, що зелене будівництво сприяє досягненню Цілей сталого розвитку і виступає у ролі каталізатора для вирішення деяких найбільш актуальних світових проблем [23]. Впровадження інноваційних технологій зеленого будівництва дозволяє не тільки економити енергію, воду, ресурси та зменшувати викиди вуглецю, але й поширювати прогресивні знання, створювати нові робочі місця, зміцнювати громади, покращувати здоров'я та добробут та багато іншого.

### **Роль будівельної галузі у досягненні цілей сталого розвитку ООН**

Конструкція та мікроклімат зелених будівель позитивно впливають на здоров'я та добробут їх мешканців та користувачів, що сприяє досягненню ЦСР № 3 «Міцне здоров'я і благополуччя», яка полягає у «забезпеченні здорового способу життя та добробуту людей будь-якого віку» [21]. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, захворювання легенів та дихальних шляхів, пов'язані з низькою якістю середовища в приміщенні, є трьома з п'яти провідних причин смерті [24]. Але вже є багато досліджень, які свідчать, що критерії комфорту та якості зелених будівель позитивно впливають на здоров'я та добробут людей [6, 7, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 18, 19, 22, 23, 24, 26]. Глобальний проект Світової ради зеленого будівництва «Кращі місця для людей» зосереджено на створенні світу, в якому будівлі не тільки корисні для навколишнього середовища, але й підтримують здорове, щасливе та продуктивніше життя людей. Внаслідок зменшення викидів від будівель, знижується рівень забруднення та покращується якість повітря у містах, що позитивно впливає на здоров'я населення та кліматичні зміни.

Світова економіка, заснована на викопному паливі, супроводжується збільшенням викидів парникових газів, викликає радикальні зміни кліматичної системи. Зниження кліматичного впливу за рахунок використання енергоефективних технологій найчастіше вважають однією з головних переваг зелених будівель. Це відповідає ЦСР № 7 «Доступна та чиста енергія» для забезпечення загального доступу до недорогої електроенергії до 2030 року, що передбачає інвестиції в екологічно чисті джерела енергії, такі як енергія сонця, вітру та тепла енергія. Використання відновлюваних джерел енергії в зелених будівлях може бути набагато дешевше, ніж енергія викопного палива. За підрахунками Міжнародного агентства з відновлюваних джерел енергії (IRENA) домашні сонячні системи в Африці можуть забезпечувати домогосподарства електроенергією лише за 56 доларів на рік, що набагато дешевше, ніж енергія з дизеля або гасу [12]. Енергоефективність у поєднанні з місцевими відновлюваними джерелами покращує енергетичну безпеку, зменшує викиди вуглецю, обмежуючи вплив на планету. Запровадження економічно ефективних стандартів зеленого будівництва для ширшого спектру технологій може зменшити споживання електроенергії у будівлях і промисловості у всьому світі на 14% [23]. Розширення інфраструктури та

технологічна модернізація в узгодженні зі стандартами зеленого будівництва для забезпечення екологічно чистою енергією є найважливішим завданням, яке може як стимулювати економічне зростання, так і сприяти збереженню навколишнього середовища та зниженню темпів кліматичних змін (рис. 1).



Рис. 1 – Досягнення цілей ООН зі сталого розвитку із застосуванням принципів зеленого будівництва

Попит на зелене будівництво зростає у всьому світі, і відповідно зростає кількість працівників, задіяних у цьому перспективному напрямку, що узгоджується з ЦСР № 8 «Гідна праця та економічне зростання», тобто сприятиме безперервному, всеохоплюючому і сталому економічному зростанню, повній і продуктивній зайнятості та гідній праці для всіх. Крім того, весь життєвий цикл зеленої будівлі – від задуму до будівництва, експлуатації, ремонту та знесення – впливає на широкий спектр людей, забезпечуючи більше можливостей для інклюзивної зайнятості. Тільки в одній Канаді галузь зеленого будівництва надала 300 000 штатних робочих місць протягом одного року [11]. У Раді зеленого будівництва Південно-Африканської Республіки розроблено способи інтеграції соціально-економічних питань в рейтингові системи екологічного будівництва. Враховано такі складні аспекти, як зменшення рівня безробіття та розвиток нових професійних навичок, що створює додаткові стимули для підприємств будівельної галузі застосовувати критерії зелених стандартів у своїй діяльності. Такий підхід сприяє сталому економічному зростанню, підвищенню рівня продуктивності і поширенню технологічних інновацій.

Зелені будівлі та оточуюча їх інфраструктура проектується, будуються і експлуатуються таким чином, щоб забезпечити їх стійкість та адаптацію до глобальних кліматичних змін. Проектування будівель з нульовим рівнем викидів та енерговитрат є одним із засобів реалізації ЦСР № 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура», яка спрямована на створення стійкої інфраструктури, сприяння всеохоплюючій і сталій індустріалізації та інноваціям. У доповіді «Нова кліматична економіка» зазначено, що у найближчі 15 років у світовий інфраструктурний сектор необхідно вкласти 90 трильйонів доларів інвестицій для досягнення процвітаючого майбутнього

з нульовим рівнем викидів [14]. Розвиток цифрових технологій забезпечує доступ до інформації та знань, а також стимулювання інновацій і підприємництва у всіх сферах. Вже сьогодні більшість населення світу живе у містах, тому все більшого значення набуває розвиток інноваційних галузей промисловості, інформаційних і комунікаційних технологій, а також громадського транспорту без шкідливих викидів у довкілля.

За прогнозами ООН до 2030 року майже 60% населення світу житимуть у міських районах, тому ЦСР № 11 «Сталий розвиток міст і громад» акцентує увагу на забезпеченні відкритості, безпеки, життєстійкості та екологічної стійкості міст і населених пунктів [21]. Будівлі є основою міст, а зелене будівництво здатне забезпечити довгостроковий сталий розвиток мегаполісів. Міське середовище, побудоване за зеленими стандартами, сприяє формуванню свідомих та активних громад, забезпечуючи при цьому високу якість життя для всіх. У багатьох країнах місцеві Ради зеленого будівництва вже вийшли за межі сертифікації окремих зелених будівель і розробили інструменти, що сприяють формуванню зелених кварталів та районів. Така стратегія на Філіппінах допомогла розробити та впровадити політику, яка сприяє сталій практиці забудови у цілих містах [16]. Досягнення безпеки і сталого розвитку міст означає забезпечення безпечним і доступним житлом, модернізацію нетрів шляхом будівництва екологічно стійких і міцних будівель з використанням місцевих матеріалів. Серед національних завдань в Україні передбачено розробку і реалізацію стратегій місцевого розвитку, спрямованих на економічне зростання, створення робочих місць, розвиток туризму, рекреації, місцевої культури і виробництво місцевої продукції. Активізуються зусилля із захисту та збереження всесвітньої культурної спадщини і національної ідентичності, а серед професій майбутнього прогнозується підвищення попиту на урбаністів-екологів, інженерів по кліматології і фахівців з альтернативної енергетики. Сталий розвиток передбачає інвестиції у громадський транспорт, створення зелених громадських територій, а також удосконалення міського планування і управління у такий спосіб, що водночас забезпечує інклюзивність і загальну рівноправну участь. До 2030 року заплановано зменшення негативного екологічного впливу міст у перерахунку на одну особу населення, в тому числі шляхом приділення особливої уваги якості повітря і видаленню міських та інших відходів. Використання інноваційних технологій допоможе зменшити негативний вплив забруднюючих речовин на міське середовище. Підтримуються позитивні економічні, соціальні та екологічні зв'язки між міськими, приміськими і сільськими районами на основі підвищення якості планування національного та регіонального розвитку. Відповідно до Сендайської рамкової програми зі зниження ризику лих впроваджуються заходи з комплексного управління ризиками на всіх рівнях, спрямовані на пом'якшення наслідків зміни клімату, адаптацію до його зміни та здатність протистояти стихійним лихам [20]. Сталого розвитку не можна досягти без істотної трансформації підходів міського планування та забудови на основі принципів зеленого будівництва.

ЦСР № 12 зосереджена на сприянні енергоефективності, стійкій інфраструктурі та забезпеченню доступу до основних послуг та зелених робочих місць [21]. Заохочення галузей, підприємств і споживачів до утилізації та скорочення обсягів відходів є настільки ж важливим, як і підтримка країн, що розвиваються, у запровадженні більш раціональних

моделей споживання до 2030 року [19]. Будівельна галузь відіграє особливу роль у запобіганні утворенню відходів шляхом зменшення, переробки та повторного використання за принципами циркулярної економіки. У зеленому будівництві використовують термін «врятовані матеріали», коли розглядаються всі можливості повторного використання відпрацьованих матеріалів. Це не тільки зменшує кількість відходів, що надходять на звалище, але й зменшує кількість сировини та заощаджує природні ресурси. Економічне зростання і сталий розвиток вимагають термінового скорочення впливу на довкілля шляхом змін у виробництві та споживанні товарів і ресурсів. Ефективне управління спільними природними ресурсами, а також методи утилізації токсичних відходів і забруднюючих речовин є важливими цільовими показниками у досягненні цієї мети. Підвищення ефективності виробництва та раціоналізація ланцюгів постачання сприяє досягненню продовольчої безпеки та переходу до більш ресурсоефективної економіки.

У світі немає жодної країни, яка б не потерпала від серйозних наслідків зміни клімату, а обсяги викидів парникових газів продовжують зростати. Внаслідок кліматичних змін південна Україна потерпає від посух, а західна – від повеней, в той час як превентивні заходи та ефективні системи безпеки зеленого будівництва здатні захистити будівлі та людей від цих стихійних лих. Будівельна галузь повинна вжити невідкладних заходів для реалізації ЦСР № 13 «Пом'якшення наслідків зміни клімату» у боротьбі зі змінами клімату та їх наслідками, що можливо досягти завдяки технологіям зеленого будівництва [21]. Будинки вже сьогодні продукують понад 30% глобальних викидів парникових газів, а постійне підвищення ресурсоемності та енерговитрат на підтримання комфортних умов побудованого середовища сприяє підвищенню негативного впливу будівельної галузі на кліматичні зміни. Водночас зелені будівлі мають величезний потенціал для боротьби з наслідками змін клімату. Наприклад, сертифіковані за зеленими стандартами південноафриканські будівлі забезпечують зменшення на 336 мільйонів кілограмів вуглецевих викидів на рік, що еквівалентно усуненню з доріг 84 000 автомобілів [18]. Внаслідок аналізу діючих проектів зеленого будівництва у 591 місті 50 штатів США доведено ефективність місцевих ініціатив для вирішення глобальних завдань кліматичних змін [13]. Глобальні зміни клімату впливають на життя людей, тому необхідно впроваджувати заходи оперативного реагування на зміну клімату, втілювати стратегії послаблення наслідків зміни клімату, підвищувати здатність адаптуватися до небезпечних кліматичних явищ і стихійних лих.

Засухи та опустелювання щороку спричиняють втрату 12 мільйонів гектарів землі, тому ЦСР № 15 «Захист і відновлення екосистем суші» сприяє боротьбі з опустелюванням, раціональному земле- та лісокористуванню, припиненню процесу деградації земель і зупиненню втрати біорізноманіття [8]. Критерій зеленого будівництва «Екологічне землекористування» регламентує вимоги зі збереження природних ландшафтів, забезпечує інструкціями з оптимальної інтеграції будівель у місцеві екосистеми з мінімізацією впливу на довкілля [10]. Питанням збереження біорізноманіття приділяється увага в процесі проектування, будівництва та експлуатації зелених будівель, наприклад, заходи підтримки видів місцевої флори та фауни. При оцінці проектів за зеленими стандартами окремі бали нараховуються за будівлі на очищених та відновлених після промислового

використання земельних ділянок. Інструменти сертифікації зелених будівель також передбачають необхідність зменшення та раціоналізації використання води. Матеріали, з яких складається будівля, є ключовими для визначення її стійкості, зокрема, важливу роль відіграють ланцюги поставок будівельних матеріалів. В зеленому будівництві використовується деревина тільки з відповідальних джерел, оскільки для пом'якшення наслідків кліматичних змін необхідно зупинити обезліснення. Зелене будівництво забезпечує арсенал дієвих заходів для скорочення втрат природних середовищ існування і біорізноманіття.

Цілі сталого розвитку можуть бути досягнуті лише за умов дотримання принципів глобального партнерства і співпраці, тому ЦСР № 17 «Партнерство заради сталого розвитку» сприяє розбудові миролюбного і всеохоплюючого суспільства задля сталого розвитку, забезпечення всім доступу до правосуддя і створення ефективних, підзвітних та інклюзивних інституцій на всіх рівнях. До 2015 року будівельній галузі не вистачало колективного голосу на світовій арені на великих конференціях із питань зміни клімату, але на COP21 за сприяння уряду Франції, WorldGBC, UNEP та низки міжнародних організацій було започатковано Глобальний альянс будівництва і проведено перший в історії «День будівель» [19]. Це забезпечило нові міцні партнерські відносини на міжнародному рівні, зокрема співпрацю з Інститутом світових ресурсів та Глобальним екологічним фондом, що збільшило можливості розвитку будівельної галузі у напрямку узгодження колективних зусиль для досягнення більш вагомих результатів, у тому числі і у сфері пом'якшення наслідків кліматичних змін [8, 25]. Бар'єри для стійкого побудованого середовища долаються шляхом обміну ідеями та розвитку інновацій, координації політики та залучення інвестицій.

Зелене будівництво також сприяє втіленню інших ЦСР, крім згаданих вище дев'яти глобальних цілей сталого розвитку. Рада зеленого будівництва Австралії в ході перегляду схеми сертифікації Green Star наочно демонструє відповідність 16 з 17 ЦСР принципам зеленого будівництва [9]. Регіональні Ради зеленого будівництва та міжнародні сертифікаційні системи пропонують велике різноманіття освітніх програм для підготовки фахівців з питань сталого розвитку у будівельній галузі. Існує низка освітніх можливостей, що виникають у процесі створення зелених будівель – навчання чи техніки зеленого будівництва. Міжнародна організація праці (МОП) співпрацює з Радами зеленого будівництва в різних країнах для впровадження місцевих програм «зелених робочих місць», особливо актуальних для країн, що розвиваються, як це наочно продемонстровано на прикладі Замбії [11]. Близько 50% Рад із зеленого будівництва у різних країнах очолюють жінки, що допомагає подолати сексизм та сприяє гендерній рівності у будівельній галузі, а ініціатива C40 Cities «Women4Climate» підкреслює роль, яку жінки відіграють у кліматичних заходах [7, 22]. Очевидно, що розвиток зеленого будівництва забезпечує стале економічне зростання будівельної галузі, сприяє подоланню бідності та нерівності, покращує стан довкілля та зменшує негативний вплив для стабілізації глобальних кліматичних змін.

## Вплив кліматичних факторів на будівництво і будівлі

Будівельна галузь суттєво впливає на перебіг кліматичних змін, але водночас будівництво і побудоване середовище безпосередньо залежать від цілої низки кліматичних факторів, які обумовлюють різноманітні категорії ризиків, що істотно загострюються в умовах змін клімату (рис. 2). Кліматична інформація використовується на всіх стадіях будівельного проекту: розробка концепції, технічне проектування, організація та проведення будівельних робіт, експлуатація будівель і споруд, ремонт та реконструкція, знесення з послідовною утилізацією та рециклізацією. В процесі прийняття архітектурно-планувальних рішень, проектування каналізаційних мереж, розрахунку систем опалення, вентиляції та кондиціонування необхідно враховувати кліматичні дані про зміну різноманітних метеорологічних параметрів (температура повітря і ґрунту, опади, сонячна радіація, вітер, вологість повітря тощо) і атмосферних явищ. Визначення спеціалізованих кліматичних показників узгоджено з методами інженерних розрахунків в ході досліджень метеорологічних процесів, пов'язаних з будівництвом і експлуатацією будівель і споруд.

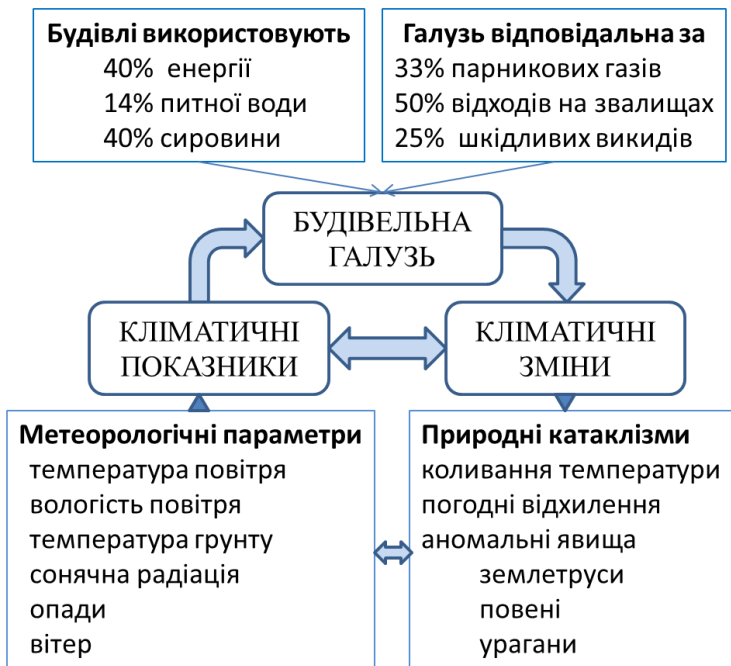


Рис. 2 – Взаємовплив кліматичних змін та будівельної діяльності

В Україні кліматичні параметри та характеристики, що використовують при проектуванні будинків та споруд, систем опалення, вентиляції, кондиціонування та водозабезпечення, а також при плануванні та забудові міських і сільських поселень, регламентовано ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія», а також ДСТУ-Н Б А.2.2 5:2007, ДБН В.2.1-10:2018, ДБН В.1.1-12:2014, ДБН В.1.1-24:2009, ДБН В.2.6-31:2006 та іншими нормативними документами [1, 2, 3, 4, 5]. На основі інформації

метеорологічних спостережень розраховують кліматичні параметри, які враховують кліматичну зону, кліматичну область, кліматичний район, вітер, опади, сніговий покрив, вологість повітря, температуру повітря, сонячну радіацію, освітленість, фактор мутності атмосфери, оптичну масу атмосфери, хмарність, карст, лесові ґрунти.

Для забезпечення надійності, безпеки і довговічності зведених будинків і споруд першочергове значення має коректний облік атмосферних навантажень, до яких відносять снігові, вітрові та ожеледні навантаження, а також температурні впливи. Для більшості будівель вплив вітру найістотніше проявляється у збільшенні втрат тепла. Коректний облік вітрових навантажень має велике значення при зведенні висотних будівель, тобто громадських будівель заввишки 50 м і більше та житлових будівель понад 75 м. Для таких висотних споруд, як телевізійні вишки, радіощогли та димові труби, вітрове навантаження є ключовим фактором безпечного функціонування. Ожеледно і ожеледно-вітрові навантаження є основним видом кліматичних ризиків для ліній зв'язку та ліній електропередач, де помилки у розрахунках цих навантажень призводять до численних аварій, які завдають величезної шкоди та збитків. Снігові навантаження на будівлі та споруди також неодноразово ставали причиною руйнування конструкцій, тому методика оцінки цього виду атмосферних навантажень і їх нормування знаходяться в сфері підвищеної уваги відповідних фахівців.

Важлива складова екологічної безпеки будівель і споруд, пов'язаної з кліматичними параметрами, обумовлена станом ґрунтів. Експлуатаційні умови всіх промислових і житлових будівель, мостів, злітно-посадочних смуг та інших об'єктів розраховані в певному діапазоні кліматичних умов. Зміна температури ґрунтів, глибини промерзання та рівня ґрунтових вод призводить до деформації фундаментів будівель і споруд, створюють додаткові ризики їх руйнування та підтоплення.

Число циклів заморожування і відтавання є важливим кліматичним параметром для будівельного проектування, що впливає на довговічність огорожувальних конструкцій будівель. Збільшення числа циклів заморожування і відтавання у поєднанні зі збільшенням кількості опадів в холодну пору року викликає прискорене старіння будівель і споруд, що призводить до серйозного збільшення експлуатаційних витрат. Інтенсивність зволоження стін особливо зростає при сильному вітрі, а подальше їх охолодження призводить до замерзання води в порах матеріалів, що викликає деформацію та руйнування конструкцій.

Серйозною загрозою стали аномальні стихійні явища, такі як повені та пожежі, які почастишали під впливом глобальних кліматичних змін. Внаслідок повеней та паводків руйнуються будинки та споруди, обвалюються мости, розмиваються залізничні та автомобільні шляхи, відбуваються аварії на інженерних мережах. Повені та паводки призводять до просідання будинків та ґрунту, розмиву та нерівномірного осідання фундаменту, виникають зсуви та обвали. Споруди, що періодично потрапляють у зону затоплення, втрачають міцність, з'являються тріщини, псуються від корозії металеві конструкції та гниють дерев'яні елементи будівель. Ключовими кліматичними факторами пожежної небезпеки є температура повітря, режим зволоження та вітрова активність. Аномальні стихійні явища призводять до суттєвого погіршення стану екологічної безпеки будівельної галузі та створюють додаткові ризики



для населення. Дослідження вразливості до екстремальної спеки та повені в Остіні (Техас, США) та Чикаго (Іллінойс, США) виявили кореляцію між захисними стратегіями проектування зеленого будівництва та стійкістю до стихійних кліматичних явищ на рівні району [10]. Для попередження екстремального підвищення температури в урбанізованому середовищі та виникнення ефекту теплового острова застосовують світле покриття для тротуарів, доріг, парковок та встановлюють дахи світлих кольорів, які відбивають сонячне світло, або зелені дахи.

Будівельна галузь потребує невідкладних заходів адаптації до наявних та очікуваних ризиків внаслідок глобальних кліматичних змін. Більшість споруд, які експлуатуються сьогодні, проектувались та будувались на основі кліматичних параметрів, що характеризували умови середини минулого століття, а в сучасних умовах екстремальних кліматичних навантажень підвищується ймовірність руйнувань, аварій і катастроф. Зелене будівництво враховує сучасні тренди будівельної галузі та має готові рішення для протидії кліматичним викликам. Сучасні архітектурно-планувальні рішення орієнтовані на збільшення вимог до якості житла та енергоефективності будівель з мінімізацією впливу на довкілля. Визначають необхідність постійного розвитку методології оцінки та врахування кліматичного впливу на будівлі і споруди. Наразі до актуальних завдань відносять гармонізацію національних і міжнародних стандартів з урахуванням кліматичних змін у будівництві.

## **Обговорення**

Зміна клімату є значною загрозою для навколишнього середовища, економіки та здоров'я людей. Очевидно, що будівельна галузь чинить суттєвий вплив на кліматичні зміни, але при цьому людство йде по шляху підвищення комфорту побудованого середовища, тому необхідно стабілізувати розвиток з урахуванням сталих принципів. Урбанізація та розвиток технологій змінюють спосіб життя та впливають на нашу взаємодію з побудованим середовищем. Зелені будівлі підвищують стійкість побудованого середовища та зменшують негативний вплив на здоров'я, пов'язаний з екстремальними погодними явищами. Активне впровадження захисних стратегій зеленого будівництва призводить до зменшення негативних наслідків кліматичних явищ, особливо у вразливих районах [10]. Узагальнені категорії стійкості зеленого будівництва включають: 1) планування і управління; 2) економічне обґрунтування; 3) архітектура і функціональність; 4) землекористування і екологія; 5) транспорт і інфраструктура; 6) здоров'я і безпека; 7) якість і комфорт; 8) енергоефективність і ресурсозбереження; 9) мінімізація забруднень; 10) утилізація та рециклізація відходів; 11) соціально-культурні аспекти; 12) інновації.

Хоча викиди парникових газів відносять до глобальних причин кліматичних змін, негативні наслідки відчуються на місцевому рівні у формі екстремальних погодних явищ, втрати ландшафтів і біорізноманіття. Різниця в демографічних показниках, економічному статусі, географічному розташуванні побудованого середовища обумовлює відмінності у вразливості до кліматичних явищ навіть в різних районах одного міста. Програми зеленого будівництва включають численні стратегії проектування, які можуть

допомогти зменшити вразливість до змін клімату та мати позитивний вплив на здоров'я та якість життя населення шляхом зменшення впливу кліматичних явищ, особливо в найбільш вразливих районах. Рекомендації з розробки регіональних стратегій зеленого будівництва для запобігання кліматичним небезпекам включають регламент зонування територій, вимоги до зелених будівель, використання технологій з низьким рівнем впливу на довкілля, використання опадів, запобігання повеням, зелені дахи та програми посадки дерев місцевої флори, пішохідні зони та велосипедні доріжки, транзитні плани тощо [10]. Стратегії проектування, будівництва, експлуатації та технічного обслуговування зелених будівель не тільки зменшують викиди парникових газів, але й водночас захищають мешканців будівель від негативного впливу кліматичних явищ.

Зростає соціальна обізнаність про «оздоровчий стан» та вплив життєвого та робочого середовища на фізичне та психічне здоров'я людей. Власники будівель, мешканці, інвестори та всі зацікавлені сторони тепер хочуть зрозуміти, який вплив їх будівлі мають не лише у традиційних фінансових показниках, але й у нефінансових явищах, таких як зміни клімату та добробут. Зелене будівництво забезпечує цілісну основу для стійкості та підтримує просування до чистої нульової енергії, води та відходів. Зелені будівлі забезпечують скорочення викидів вуглецю та зменшення негативного впливу на кліматичні зміни, збереження та підвищення цінності активів, зниження вартості енергоресурсів та експлуатаційних витрат, покращення умов праці за рахунок підвищення комфорту та зручності. Крім того, принципи зеленого будівництва зміцнюють репутацію бізнесу та знижують ризики, зокрема підвищують стійкість будівель до кліматичних змін.

## **Висновки**

1. Сектор будівництва та майна відіграє ключову роль у забезпеченні цілей сталого розвитку ООН, враховуючи значні економічні, екологічні та соціальні наслідки та переваги, пов'язані з будівельними продуктами, будівлями та інфраструктурними активами протягом їх життєвого циклу, при цьому впровадження інноваційних технологій зеленого будівництва дозволяє не тільки знизити кліматичні ризики, але й поширювати прогресивні знання, створювати нові робочі місця, зміцнювати громади, покращувати здоров'я і добробут людей.

2. В умовах глобальних кліматичних змін загострюються ризики для будівельної галузі, яка безпосередньо залежить від цілої низки кліматичних факторів на всіх стадіях будівельних проєктів, оскільки в процесі прийняття архітектурно-планувальних рішень, проектування каналізаційних мереж, розрахунку систем опалення, вентиляції та кондиціонування необхідно враховувати вплив атмосферних явищ і метеорологічних параметрів, таких як температура повітря і ґрунту, опади, сонячна радіація, вітер, вологість повітря тощо.

3. Зелене будівництво спрямоване на мінімізацію негативного впливу на довкілля, а інноваційні зелені технології енергоефективності, зменшення води, ресурсів та відходів призводять до скорочення викидів вуглецю, що забезпечує цілісну основу для стійкості та зменшення впливу будівельної галузі на кліматичні зміни. Міжнародний досвід у багатьох країнах світу переконливо

свідчить про те, що зелене будівництво сприяє досягненню Цілей сталого розвитку і виступає у ролі каталізатора для вирішення найбільш актуальних світових проблем.



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



The publication was prepared in the framework of project «Multilevel Local, Nation- and Regionwide Education and Training in Climate Services, Climate Change Adaptation and Mitigation 619285-EPP-1-2020-1-FI-EPPKA2-SBHE-JP». The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Захист від небезпечних геологічних процесів. Основні положення проектування: ДБН В.1.1-24:2009. – [Дата введення 2009-12-02]. / Мінрегіонбуд України. – К.: Міністерство з питань житлово-комунального господарства України, 2008. – 91 с.
2. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування: ДБН В.2.1-10:2018. – [Дата введення 2019-01-01]. / Мінрегіонбуд України. – К.: ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», 2018. (Національний стандарт України).
3. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2016. – [Дата введення 2017-04-01]. / Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2016. (Національний стандарт України).
4. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б В.1.1–27: 2010. – [Дата введення 2011-11-01]. / Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2011. – 123 с.
5. Будівництво у сейсмічних районах України + Зміна №1: ДБН В.1.1-12:2014. – [Дата введення 2019-03-14]. / Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2019. – 11 с.
6. Better Places for People is WorldGBC's global project to support GBCs [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.worldgbc.org/better-places-people](http://www.worldgbc.org/better-places-people). – Назва з екрана. – Дата перегляду: 12.08.2020.
7. C40 Cities [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.c40.org](http://www.c40.org). – Назва з екрана. – Дата перегляду: 12.08.2020.
8. Global Environment Facility [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.thegef.org](http://www.thegef.org). – Назва з екрана. – Дата перегляду: 12.08.2020.
9. Green Building Council of Australia (GBCA) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [new.gbca.org.au](http://new.gbca.org.au). – Назва з екрана. – Дата перегляду: 12.08.2020.
10. Houghton A. Analysis of correlations between neighborhood-level vulnerability to climate change and protective green building design strategies: A spatial and ecological analysis / A. Houghton, C. Castillo-Salgado // *Building and Environment*. – Vol. 168. – 106523 [PMC free article].
11. International Labour Organisation (ILO) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.ilo.org](http://www.ilo.org). – Назва з екрана. – Дата перегляду: 12.08.2020.
12. International Renewable Energy Agency (IRENA) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.irena.org](http://www.irena.org). – Назва з екрана. – Дата перегляду: 12.08.2020.
13. Lee T. Building Green: Local Political Leadership Addressing Climate Change / T. Lee, C. Koski // *Review of Policy Research*. – 2012. – 29 (5). – P. 605–624.

14. New Climate Economy. A Roadmap for Financing Sustainable Infrastructure [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [newclimateeconomy.report/2016/a-roadmap-for-financing-sustainable-infrastructure](http://newclimateeconomy.report/2016/a-roadmap-for-financing-sustainable-infrastructure). – Назва з екрана. – Дата перегляду: 12.08.2020.
15. Peng C. Climate change simulation for intelligent green building adaptation design / C. Peng, C.Y. Yi // International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid. – 2014, 23-25 April, Taipei, IEEE. – 5 p.
16. Philippine Green Building Council [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [philgbc.org](http://philgbc.org). – Назва з екрана. – Дата перегляду: 12.08.2020.
17. Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures. Final Report. – 2017. – 66 p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.fsb-tcfd.org](http://www.fsb-tcfd.org). – Назва з екрана. – Дата перегляду: 12.08.2020.
18. South Africa's Green Star [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [gbsa.org.za](http://gbsa.org.za). – Назва з екрана. – Дата перегляду: 12.08.2020.
19. The Global Alliance for Buildings and Construction (GlobalABC) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [globalabc.org](http://globalabc.org). – Назва з екрана. – Дата перегляду: 12.08.2020.
20. The Sendai Framework on Disaster Risk Reduction (2015-2030) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [unesc.org/sendai-framework#](http://unesc.org/sendai-framework#). – Назва з екрана. – Дата перегляду: 12.08.2020.
21. UN's Sustainable Development Goals (SDGs) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals](http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals). – Назва з екрана. – Дата перегляду: 12.08.2020.
22. Women4Climate: Why Women Are Critical In Efforts To Save Our Planet [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.c40.org/press\\_releases/press-release-women4climate-why-women-are-critical-in-efforts-to-save-our-planet](http://www.c40.org/press_releases/press-release-women4climate-why-women-are-critical-in-efforts-to-save-our-planet). – Назва з екрана. – Дата перегляду: 12.08.2020.
23. World Green Building Council (WGBC) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.worldgbc.org](http://www.worldgbc.org). – Назва з екрана. – Дата перегляду: 12.08.2020.
24. World Health Organization (WHO) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.who.int](http://www.who.int). – Назва з екрана. – Дата перегляду: 12.08.2020.
25. World Resources Institute [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.wri.org](http://www.wri.org). – Назва з екрана. – Дата перегляду: 12.08.2020.
26. Zuo J. Green building research – current status and future agenda: A review / J. Zuo, Z.Y. Zhao // Renewable and sustainable energy reviews. – 2014 – 30. – P. 271–281.

*Стаття надійшла до редакції 03.12.2020 і прийнята до друку після рецензування 23.02.2021*

## REFERENCES

1. Protection against dangerous geological processes. Basic design provisions: DBN B.1.1-24:2009. (2008). [Date of introduction 2009-12-02]. Kyiv: Ministry of Housing and Communal Services of Ukraine (in Ukrainian).
2. Bases and foundations of facilities. Basic design provisions: DBN B.2.1-10:2018. (2018). [Date of introduction 2019-01-01]. Kyiv: State Enterprise "State Research Institute of Building Structures" (in Ukrainian).
3. Thermal insulation of buildings: DBN B.2.6-31:2016. (2016). [Date of introduction 2017-04-01]. Kyiv: Ukrarkhbudinform (in Ukrainian).
4. Construction climatology: DSTU-N B B.1.1-27:2010. (2011). [Date of introduction 2011-11-01]. Kyiv: Ukrarkhbudinform (in Ukrainian).
5. Construction in seismic areas of Ukraine + Change №1: DBN B.1.1-12:2014. (2019). [Date of introduction 2019-03-14]. Kyiv: Ukrarkhbudinform (in Ukrainian).
6. Better Places for People is WorldGBC's global project to support GBCs. Retrieved 12.08.2020 from: [www.worldgbc.org/better-places-people](http://www.worldgbc.org/better-places-people).

7. C40 Cities. Retrieved 12.08.2020 from: [www.c40.org](http://www.c40.org).
8. Global Environment Facility. Retrieved 12.08.2020 from: [www.thegef.org](http://www.thegef.org).
9. Green Building Council of Australia (GBCA). Retrieved 12.08.2020 from: [new.gbca.org.au](http://new.gbca.org.au).
10. Houghton, A., & Castillo-Salgado, C. Analysis of correlations between neighborhood-level vulnerability to climate change and protective green building design strategies: A spatial and ecological analysis. *Building and Environment*, 168, 106523.
11. International Labour Organisation (ILO). Retrieved 12.08.2020 from: [www.ilo.org](http://www.ilo.org).
12. International Renewable Energy Agency (IRENA) Retrieved 12.08.2020 from: [www.irena.org](http://www.irena.org).
13. Lee, T., & Koski, C. (2012). Building Green: Local Political Leadership Addressing Climate Change. *Review of Policy Research*, 29(5), 605-624.
14. New Climate Economy. A Roadmap for Financing Sustainable Infrastructure. Retrieved 12.08.2020 from: [newclimateeconomy.report/2016/a-roadmap-for-financing-sustainable-infrastructure](http://newclimateeconomy.report/2016/a-roadmap-for-financing-sustainable-infrastructure).
15. Peng, C., & Yi, C.Y. (2014). Climate change simulation for intelligent green building adaptation design. In *International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid*, (p. 5). Taipei, IEEE.
16. Philippine Green Building Council. Retrieved 12.08.2020 from: [philgbc.org](http://philgbc.org).
17. Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures. Final Report. (2017). Retrieved 12.08.2020 from: [www.fsb-tcfd.org](http://www.fsb-tcfd.org).
18. South Africa's Green Star. Retrieved 12.08.2020 from: [gbcsa.org.za](http://gbcsa.org.za).
19. The Global Alliance for Buildings and Construction (GlobalABC). Retrieved 12.08.2020 from: [globalabc.org](http://globalabc.org).
20. The Sendai Framework on Disaster Risk Reduction (2015-2030). Retrieved 12.08.2020 from: [unece.org/sendai-framework#](http://unece.org/sendai-framework#).
21. UN's Sustainable Development Goals (SDGs). Retrieved 12.08.2020 from: [www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals](http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals).
22. Women4Climate: Why Women Are Critical In Efforts To Save Our Planet. Retrieved 12.08.2020 from: [www.c40.org/press\\_releases/press-release-women4climate-why-women-are-critical-in-efforts-to-save-our-planet](http://www.c40.org/press_releases/press-release-women4climate-why-women-are-critical-in-efforts-to-save-our-planet).
23. World Green Building Council (WGBC). Retrieved 12.08.2020 from: [www.worldgbc.org](http://www.worldgbc.org).
24. World Health Organization (WHO). Retrieved 12.08.2020 from: [www.who.int](http://www.who.int).
25. World Resources Institute. Retrieved 12.08.2020 from: [www.wri.org](http://www.wri.org).
26. Zuo, J., & Zhao, Z.Y. (2014). Green building research – current status and future agenda: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 30, 271-281.

*The article was received 03.12.2020 and was accepted after revision 23.02.2021*

### **Кривомаз Тетяна Іванівна**

доктор технічних наук, кандидат біологічних наук, професор кафедри охорони праці та навколишнього середовища Київського національного університету будівництва та архітектури

**Адреса робоча:** 03037 Україна, м. Київ, проспект Повітрофлотський, 31

ORCID ID: 0000-0002-4161-9702 **e-mail:** [ecol@i.ua](mailto:ecol@i.ua)

### **Савченко Антоніна Михайлівна**

старший викладач Київського національного університету будівництва та архітектури

**Адреса робоча:** 03037 Україна, м. Київ, проспект Повітрофлотський, 31

ORCID ID: 0000-0001-8518-968X **e-mail:** [asav2509@gmail.com](mailto:asav2509@gmail.com)

## ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА СИСТЕМИ INFORMATION RESOURCES AND SYSTEMS

УДК 504.054:528.8+519.23

**Mykyta L. Myrontsov**, D. S. (Physics and Mathematics), Senior Researcher  
ORCID ID 0000-0002-2830-8803 *e-mail*: myrontsov@ukr.net

**Vyacheslav O. Okhariyev**, PhD  
ORCID ID 0000-0001-6270-6293 *e-mail*: okhariyev.vo@gmail.com

Institute of Telecommunications and Global Information Space of NASU, Kyiv, Ukraine

### INFORMATION SYSTEM OF DECISION MAKING SUPPORT FOR SUSTAINABLE NATURAL RESOURCE MANAGEMENT AND ENVIRONMENTAL SAFETY

**Abstract.** *An approach to the integration of data on man-caused impact and environmental situation within the system of information support for decision-making in the area of environmental management and territorial environmental safety was proposed. A method to calculate the coefficient of dynamic correlation of elements of multi-parameter systems was developed. It expands the possibilities of Pearson's correlation linear analysis by introducing the possibility to study the change of correlation coefficients by the "window" approach. The program implementation of the developed methodology and its approbation with the use of data on the ecological condition of water resources in Ukraine, in particular, in the territories of Rivne and Chernivtsi regions was performed. As part of the integration of contact and remote methods of obtaining environmental information, the thematic analysis of space images of Ukrainian Polissya region with the subsequent localization of places of unauthorized amber mining. The realization model of ecological decisions information support system based on the integrated geographic information platform of regional level was proposed. Elements of the system should include, in particular, such components as the collection of heterogeneous environmental information by contact and remote methods, interpretation of monitoring data, evidence-based determination and ranking man-caused impact key factors within relevant geomodels development, assessment and classification scales and the level of man-caused impact on the environment with the subsequent formation of a system of recommendations for management, which makes decisions in the area of nature management and environmental safety.*

**Keywords:** *man-caused impact; dynamic correlation coefficient; remote sensing technologies; amber mining sites localization; geographic information technologies*

М.Л. Миронцов, В.О. Охарєв

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України,  
м. Київ, Україна

## ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ЗАВДАНЬ РАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

***Анотація.** Запропоновано підхід до інтеграції даних про антропогенне навантаження та стан навколишнього природного середовища в рамках системи інформаційної підтримки прийняття рішень в сфері управління раціональним природокористуванням та екологічною безпекою територій. Розроблено методика дослідження коефіцієнта динамічної кореляції елементів багатопараметричних систем, що розширяє можливості кореляційного лінійного аналізу за Пірсоном за допомогою введення можливості досліджувати зміну коефіцієнтів кореляції методом «вікна». Здійснено програмну реалізацію розробленої методики та її апробацію з використанням даних про екологічний стан водних ресурсів України, зокрема, на територіях Рівненської та Чернівецької областей. В рамках інтеграції контактних та дистанційних методів отримання екологічної інформації проведено тематичне дешифрування космічних знімків території Українського Полісся з подальшою локалізацією місць несанкціонованого видобутку бурштину. Запропоновано модель реалізації системи інформаційної підтримки екологічних рішень на базі інтегрованої геоінформаційної платформи регіонального рівня. Елементи такої інформаційної системи мають містити, зокрема, такі складові, як збір різномірної екологічної інформації контактними та дистанційними методами, інтерпретація даних моніторингу, науково обґрунтоване детермінування та ранжування ключових чинників антропогенного навантаження та синтезування відповідних геомоделей, розробка шкали оцінювання та класифікації, а також проведення комплексної оцінки рівня антропогенного навантаження на довкілля із подальшим формуванням системи рекомендацій для управлінської ланки, що приймає рішення в сфері природокористування та екологічної безпеки.*

***Ключові слова:** антропогенне навантаження; коефіцієнт динамічної кореляції; дистанційне зондування Землі з космосу; локалізація місць видобутку бурштину; геоінформаційні технології*

### Вступ

Сучасні виклики, що постають перед ланкою державного управління в сфері природокористування та екологічної безпеки територій, вимагають максимальної оперативності та повноти від процесів інформаційного забезпечення установ, що приймають рішення в сфері екологічного управління. Відповідно, постає необхідність розробки комплексного підходу, що має забезпечити інформаційну підтримку таких рішень за рахунок надання інформації про інтенсивність та специфіку техногенного навантаження, а також кількісної та якісної оцінки стану навколишнього середовища. Ключовою вимогою до системи, заснованої на запропонованому підході, є обґрунтованість інтерпретації екологічних даних, отриманих з різних сегментів системи моніторингу довкілля, з сучасних позицій науки

про екологічну безпеку, актуальних інформаційних технологій та підходів до математичного моделювання та статистичних методів обробки даних [1, 2].

Оцінка техногенного навантаження заснована в першу чергу на інтерпретації статистичних даних моніторингу довкілля, розподілених в просторі та часі. Вирішення даного завдання суттєво полегшує синтез контактних (наземних) та дистанційних методів моніторингу, що набули високої точності завдяки розвитку технологій дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та засобів тематичного дешифрування отриманих зображень [3]. При цьому, просторово-розподілений характер даних моніторингу дозволяє використовувати функціонал сучасних технологій геоінформаційних систем (ГІС), що надають потужні інструменти багатовимірного просторового аналізу впливовості різних факторів забруднення. Отже, метою даної роботи є розробка та обґрунтування комплексного підходу до створення інформаційної системи підтримки рішень в сфері раціонального природокористування та екологічної безпеки територій.

### **Теорія, методика та результати дослідження**

Всі складові антропогенного навантаження на атмосферу та земельні ресурси тісно пов'язані між собою. З цієї причини їх часто розглядають разом, на відміну від навантаження на гідросферу, де специфіка суттєво відрізняється. Особливо це виражено в контексті хімічного забруднення, яке і для атмосфери, і для ґрунтів відбувається з одних і тих самих джерел, і забруднюючі речовини є однаковими або ж близькими за хімічним складом. Головними факторами антропогенного навантаження на атмосферу та ґрунти є радіаційне забруднення, забруднення техногенним пилом та забруднення хімічними речовинами. Окремо на екологічний стан земель впливають такі чинники, як наявність сільськогосподарської діяльності та її інтенсивність, антропогенні порушення ландшафтів [4–6], зокрема, внаслідок видобутку природних ресурсів [7, 8], будівництва водосховищ, великих автомагістралей тощо [9]. Також впливовим компонентом антропогенного навантаження є розміщення відходів – побутових та промислових. Нарешті, важливо згадати про транскордонний перенос забруднюючих речовин з інших регіонів, відповідно, необхідно враховувати кліматичні особливості та метеорологічні умови на конкретній території. За просторовим розподілом джерела антропогенного навантаження можна класифікувати як точкові, лінійно-протяжні та площинні. За походженням їх розрізнятимемо як промислові та побутові (рис. 1).

Одним із завдань екологічної безпеки є пошук та детермінація нових чинників техногенного навантаження або неврахованих подій, що призвели до змін динаміки забруднення довкілля. Всі показники, що фіксуються в рамках системи моніторингу довкілля, фактично є параметрами моделі техногенного навантаження. За допомогою дослідження коливань таких показників можна дослідити та визначити тенденцію, яка свідчить про наявність додаткової складової. Так можна удосконалити процеси оперативного моніторингу довкілля та попередження надзвичайних екологічних ситуацій.



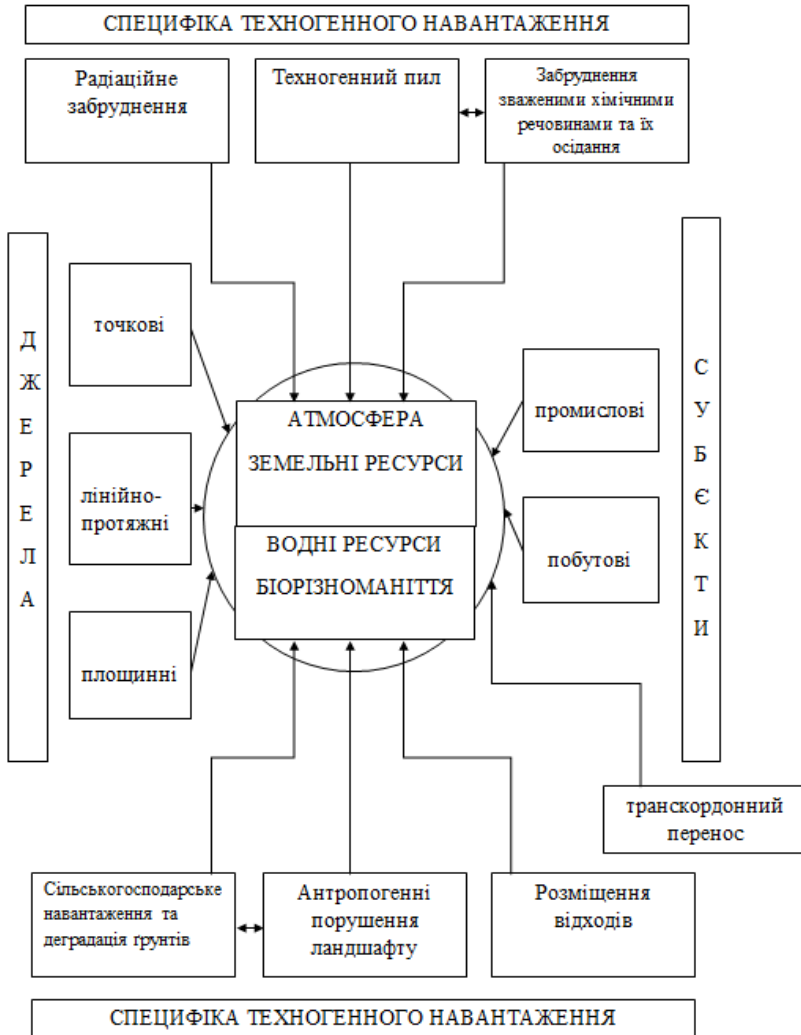


Рис. 1 – Структура техногенного навантаження на довкілля

Для цього авторами запропоновано методика дослідження статистичних зв'язків між даними моніторингу довкілля. В основу алгоритму дослідження динамічної кореляції покладено можливість розширити можливості кореляційного лінійного аналізу за Пірсоном [10]. Розширення можливостей відбувається за допомогою введення можливості досліджувати зміну коефіцієнта Пірсона методом «вікна», тобто досліджувати динаміку його зміни впродовж значного часу при наявності відповідних даних спостережень (параметрів багатопараметричної системи).

$$r_{XY} = \frac{cov_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{\sum(\bar{X}-X)(\bar{Y}-Y)}{\sqrt{\sum(\bar{X}-X)^2 \sum(\bar{Y}-Y)^2}}, \quad (1)$$

де  $r$  – коефіцієнт кореляції для значень  $\bar{X}$  та  $\bar{Y}$ ;  $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_t$  та  $\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_t$  – середні значення вибірок.

Для опису процесу будемо використовувати кількісну міру ступеня взаємного зв'язку:

$$DC_m^l(X_1, X_2, \dots, X_n) = \frac{\sum_{j=m-l}^m \prod_{i=1}^n (X_i^j - \sum_{k=m-l}^m X_i^k)}{\sqrt{\prod_{i=1}^n \sum_{j=m-l}^m (X_i^j - \sum_{k=m-l}^m X_i^k)^2}} \quad (2)$$

де  $X_i$  – досліджувані функції,  $x_i^j$  – їх миттєві значення у  $j$ -й момент спостереження. Будемо називати (2) коефіцієнтом динамічної кореляції (за Миронцовим).

Програмну реалізацію алгоритму дослідження коефіцієнта динамічної кореляції багатопараметричних систем було здійснено у програмному середовищі Delphi у вигляді динамічної бібліотеки dll, що в перспективі робить її універсальною для інтеграції у будь-яку аналітичну систему підтримки прийняття екологічних рішень незалежно від програмної мови реалізації останньої.



Рис. 2 – Вікно розрахунку коефіцієнтів динамічної кореляції для групи показників забруднення водних ресурсів

На рисунках 3, 4 показано результати розрахунку коефіцієнта динамічної кореляції (КДК) для різних наборів показників техногенного забруднення на ділянці р. Прут біля пункту Ленківці (Чернівецька область) на основі багаторічного масиву даних моніторингу водних ресурсів.

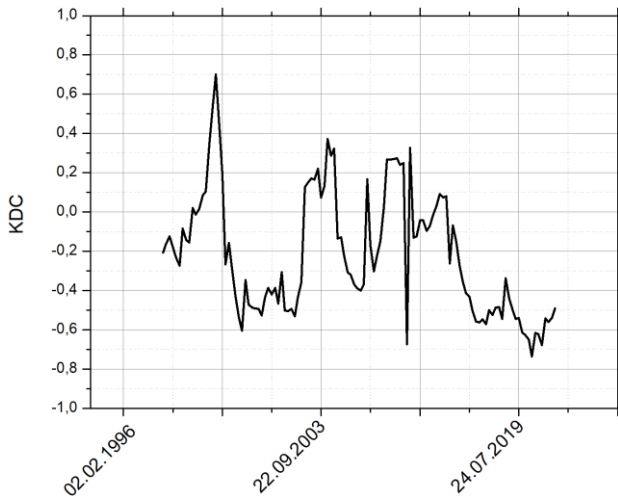


Рис. 3 – Коефіцієнт динамічної кореляції для індикаторів забруднення на р. Прут (Ленківці, Чернівецька область) в період 1996–2019 рр. (розчинений кисень та нітрати)

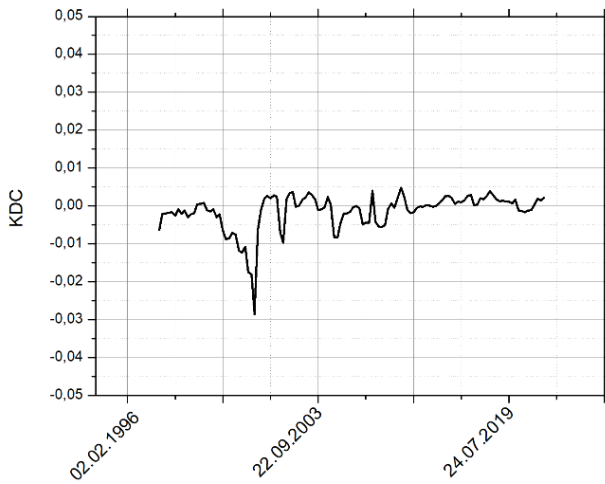


Рис. 4 – Коефіцієнт динамічної кореляції для індикаторів забруднення на р. Прут (Ленківці, Чернівецька область) в період 1996–2019 рр. (амоній, БСК<sub>5</sub>, завислі речовини, розчинений кисень, нітрати, сульфати, фосфати)

Для проведення більш глибокого аналізу значення конкретного джерела техногенного забруднення в підсумковій оцінці екологічного стану довкілля запропоновано модифікувати методику, апробовану вище. Для цього необхідно порівняти динамічну кореляцію показників забруднення в двох просторово визначених точках, тісно пов'язаних між собою характером техногенного забруднення. Пункти відбору проб води на річці відповідають таким умовам, якщо між ними за течією розташовано джерело техногенного забруднення (наприклад, промислове підприємство), оскільки є можливість порівняти кореляцію між показниками в обох точках і, відповідно, детермінувати незафіксовані в процесі моніторингу тенденції.

Для проведення аналізу обрано ділянку на р. Устя, відповідно, на 500 м вище та нижче скидів комунальних підприємств водокористування і набір показників з 2004 по 2014 роки.

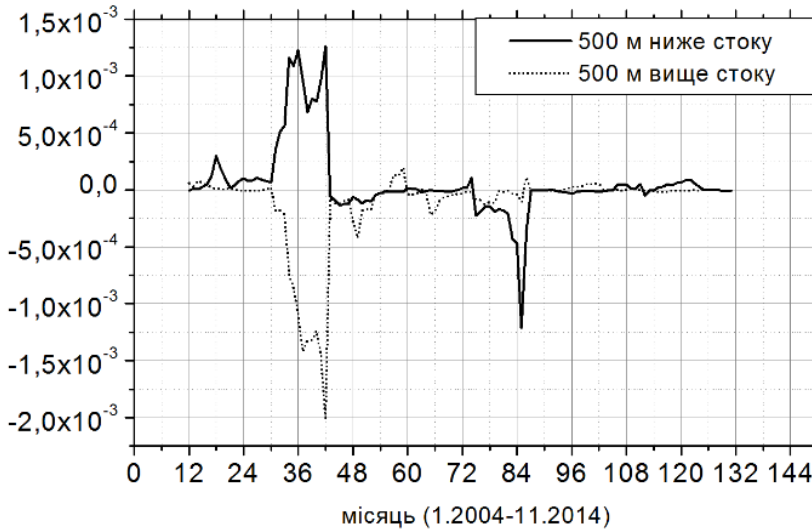


Рис. 5 – Динаміка коефіцієнтів кореляції для показників забруднення р. Устя на території м. Рівне (завислі речовини, кислотність, біохімічне споживання кисню, азот амонійний, азот нітратний, азот нітритний, фосфати)

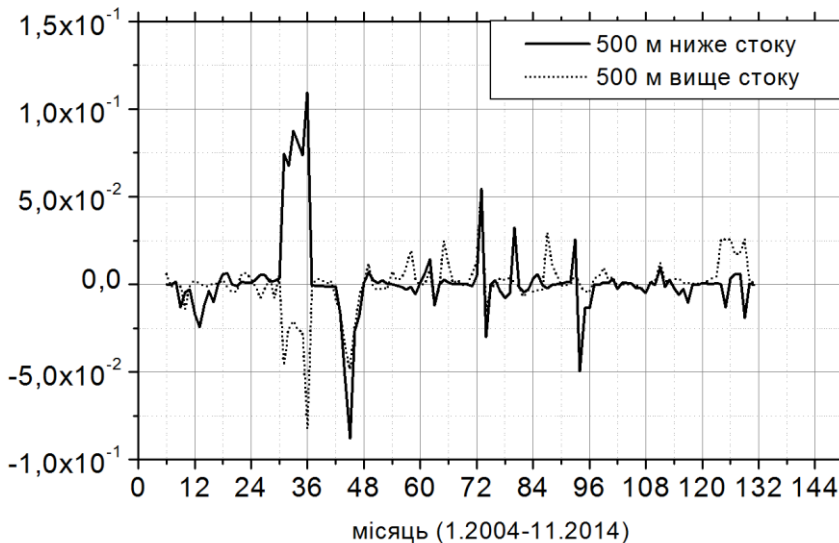


Рис. 6 – Динаміка коефіцієнтів кореляції для показників забруднення р. Устя на території м. Рівне (завислі речовини, кислотність, розчинений кисень, біохімічне споживання кисню, азот амонійний, азот нітратний, азот нітритний, фосфати, хлориди)

Різкі зміни кореляції в короткі моменти часу показали високу вірогідність скиду забруднюючих речовин в даний період, який може мати несанкціонований характер. Відповідно, програмний продукт може бути використаний в задачах оперативного моніторингу та запобігання надзвичайним ситуаціям. Дані аналізу свідчать про наявність неврахованих чинників забруднення, що знижує кореляцію, а також про складність процесів техногенного забруднення. Також можна вважати, що використання кореляційного аналізу дає можливість оперативної діагностики динаміки антропогенного навантаження та детермінації нових, неврахованих джерел забруднення.

Для реалізації запропонованого в статті підходу необхідна наявність великих масивів даних моніторингу, отриманих шляхом контактних вимірів, що дає можливість застосовувати математичні методи, як-то запропонований авторами вище. Водночас, доцільно доповнити польові методи дослідження технологіями дистанційного (аерокосмічного) моніторингу територій. Доцільно виділити два основних завдання, які можна вирішити за допомогою методів ДЗЗ:

- локалізація джерел забруднення для їх подальшої інвентаризації в складі екологічних моделей;
- визначення просторових ареалів забруднення довкілля та диференціація інтенсивності забруднення в межах цих ареалів [3, 11, 12].

Розглянемо застосування запропонованого авторами підходу для вирішення завдань інвентаризації та оцінки антропогенного впливу на довкілля, викликаного несанкціонованим видобутком мінеральних ресурсів засобами ДЗЗ. Для цього в якості прикладу буде використано проблему видобутку бурштину на території Українського Полісся. Пропонується наступний алгоритм інвентаризації місць незаконного видобутку бурштину методами ДЗЗ:

- вибір характеристик, яким мають відповідати космічні знімки, що аналізуються;
- проведення класифікації підстильної поверхні;
- створення бази космічних знімків за певний проміжок часу;
- побудова геоделей антропогенно пошкоджених екосистем (лісів та сільськогосподарських земель).

На рис. 7 показано програмну реалізацію інформаційної технології дешифрування космічних знімків для вирішення поставленого завдання.

Місця несанкціонованого видобутку бурштину можуть бути локалізовані на космічних знімках за наступними ознаками (рис. 8, 9):

- на підстильній поверхні утворюються воронкоподібні структури;
- зменшення густоти лісових масивів;
- рівень вологості збільшується через вихід води з підземних водоносних горизонтів на денну поверхню;
- коефіцієнт спектральної яскравості збільшується через процеси змиву гумусу.

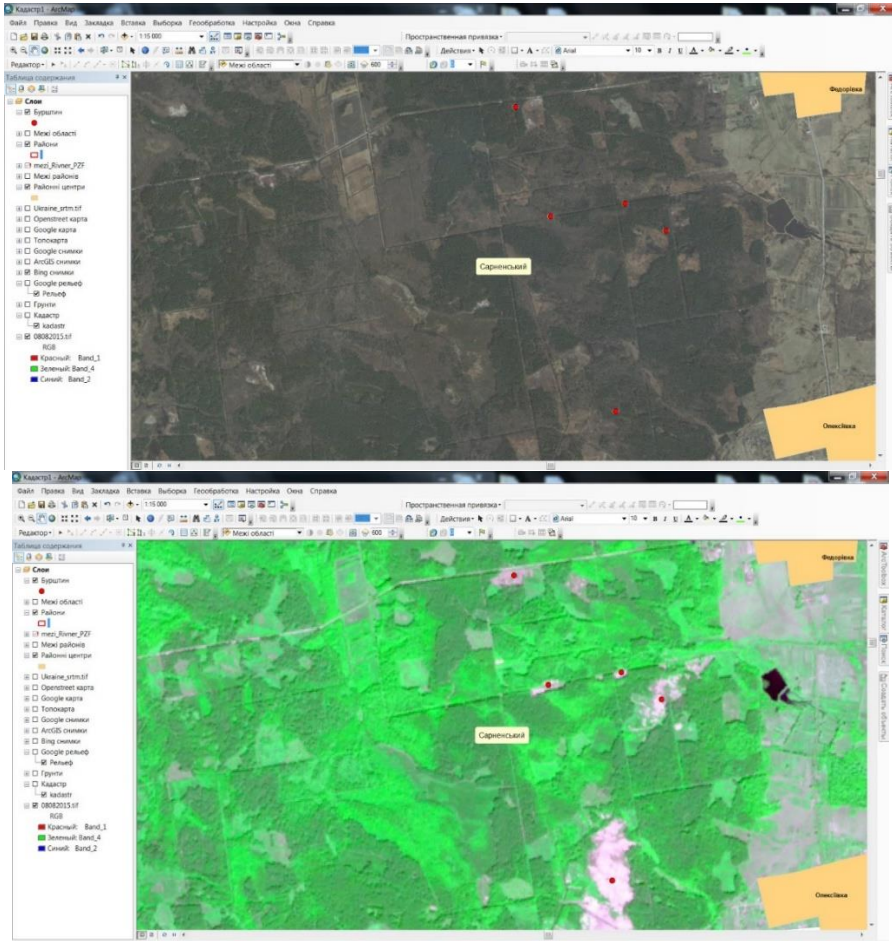


Рис. 7 – Локалізація місць несанкціонованого видобутку бурштину засобами ГІС/ДЗЗ (Сарненський район Рівненської області)



Рис. 8 – Динаміка антропогенного порушення земель сільськогосподарського призначення (ділянка біля с. Новаци Володимирецького р-ну Рівненської обл.) внаслідок несанкціонованого видобутку бурштину 19.03.2012 та 08.08.2013



Рис. 9 – Динаміка антропогенного порушення лісових екосистем (4 км на південь від смт Володимирець Володимирецького р-ну Рівненської обл.) внаслідок несанкціонованого видобутку бурштину: 19.03.2012 та 08.08.2013

Показана на знімках динаміка беззаперечно доводить шкідливість несанкціонованого видобутку бурштину для земель будь-якого призначення. Слід зазначити, що наведені приклади динаміки є невеликою часткою тих процесів, що в найближчий час можуть призвести до незворотної втрати великої частки земельного фонду як для будь-якого господарського використання, так і для задач охорони природи.

Інтеграція технологій контактного та дистанційного моніторингу антропогенного навантаження на довкілля, екологічної інтерпретації його результатів із застосуванням актуальних методів математичного моделювання, математичної статистики, інформаційних технологій дешифрування даних космічного моніторингу та комплексної оцінки екологічного стану територій є можливою на основі геоінформаційної платформи, що є ядром інформаційної системи підтримки управлінських рішень в сфері раціонального природокористування та екологічної безпеки [13–15]. Запропонована структура такої системи представлена на рис. 10.

Робота є продовженням багаторічної праці, основні результати якої наведено в [16, 17]. Одним із можливих напрямків роботи визнано доцільним додати до об'єктової бази досліджуваних систем – антропогенне навантаження екологічних систем вугільновидобувних родовищ [18, 19].

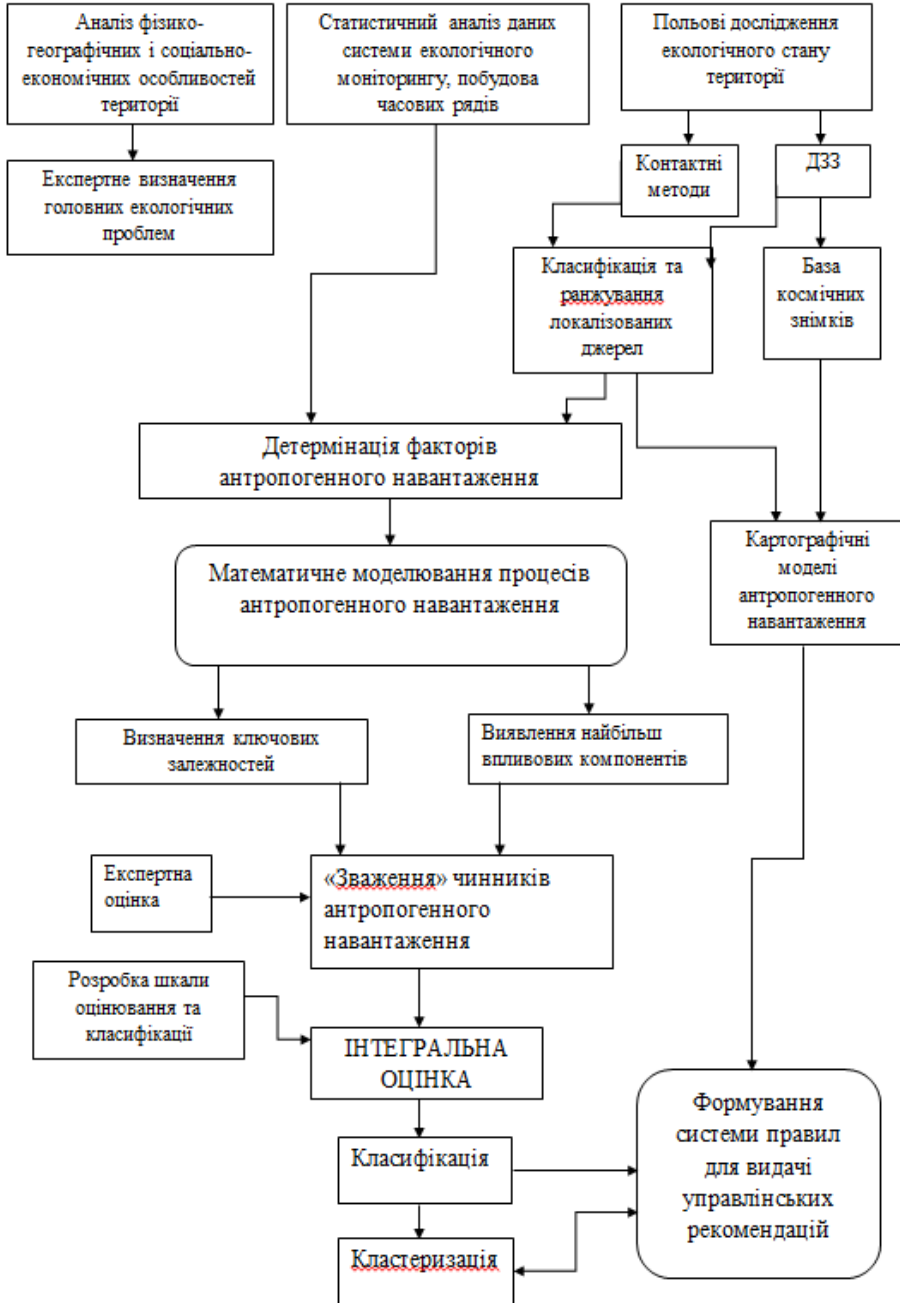


Рис. 10 – Структура інформаційної системи підтримки управлінських рішень в сфері раціонального природокористування та екологічної безпеки



## Висновки і пропозиції

Запропоновано підхід до створення інформаційної системи підтримки управлінських рішень в сфері раціонального природокористування та екологічної безпеки на засадах геоінформаційної платформи, інтегрованої в територіальну систему екологічного моніторингу. Для цього розроблено та реалізовано в програмному середовищі методику алгоритму дослідження коефіцієнта динамічної кореляції багатопараметричних систем з його апробацією на прикладі аналізу антропогенного навантаження на гідроекосистеми України. Обґрунтовано доцільність інтеграції контактних та дистанційних методів моніторингу антропогенного навантаження на прикладі інтерпретації даних космічного моніторингу несанкціонованого видобутку бурштину на території Українського Полісся.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Довгий С.О., Бідюк П.І., Трофимчук О.М., Савенков О.І. (2011) Методи прогнозування в системах підтримки прийняття рішень. Київ. Наукова думка. 608 с.
2. Довгий С.О., Бідюк П.І., Трофимчук О.М. (2014) Системи підтримки прийняття рішень на основі статистично-ймовірнісних методів. Київ. Логос. 420 с.
3. Греков Л.Д., Красовський Г.Я., Трофимчук О.М. (2007) Космічний моніторинг забруднення земель техногенним пилом. Київ. Наукова думка. 219 с.
4. Trofymchuk, O., Kalyukh, Yu., Trofimova, I., Hlebchuk, H. (2013). Modelling of Landslide Hazards in Kharkov Region of Ukraine Using GIS. *Landslides: Global Risk Preparedness*. Springer, Berlin, Heidelberg. 267-276.
5. Baum, R.L., Miyagi, T., Lee, S., Trofymchuk, O. (2014). Introduction: Hazard mapping. *Landslide Science for a Safer Geoenvironment: Volume 2: Methods of Landslide Studies*, Springer, Cham. 395-396.
6. Trofymchuk, O., Kolodyazhnyy, O., Yakovlev, E. (2014). Hazardous activation of landslides within Western Carpathian region (Ukraine). *Landslide Science for a Safer Geoenvironment*. Springer, Cham. 533–536.
7. Миронцов Н.Л. Импульсный боковой каротаж с повышенным пространственным разрешением // *Допов. Нац. акад. наук Укр.* – 2010. – № 5. – С. 120-122.
8. Миронцов Н.Л. Метод распознавания "ошибочных" коллекторов и коллекторов остаточного нефтенасыщения при геофизическом исследовании скважин // *Допов. Нац. акад. наук Укр.* – 2012. – № 4. – С. 100-105.
9. Lukianova, V., Trofymchuk, O., Anpilova, Y. (2020). Environmental safety of motor transport enterprises within the urban areas. *Journal of Ecological Engineering*, 21(4), 231–236. <https://doi.org/10.12911/22998993/119799>
10. Trofymchuk, O., Kreta, D., Myrontsov, M., Okhariev, V., Shumeiko, V., Zagorodnia, S. (2015). Information Technology in Environmental Monitoring for Territorial System Ecological Assessment // *Journal of Environmental Space and Engineering A1*. – Vol. 4, № 2. – P. 79–84.
11. Trofymchuk, O., Yakovliev, Y., Klymenko, V., Anpilova, Y. (2019). Geomodeling and monitoring of pollution of waters and soils by the Earth remote sensing. 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019, Extended Abstracts, 19, (1.4), 197-204. <https://doi.org/10.5593/sgem2019V/1.4/S02.025>.
12. Триснюк В.М. Система управління екологічною безпекою природних і антропогенно-модифікованих геосистем. Системи обробки інформації. – 2016. – №12. – С. 185-188.

13. Trysnyuk, V., Trysnyuk, T., Okhariev, V., Shumeiko, V., Nikitin, A. (2018). Cartographic model of Dniester river basic probable flooding // *Geology and Environmental Engineering. Ser. D. Vol. XXXII, No.1* – P. 51-55.
14. Триснюк В.М., Охарев В.О., Триснюк Т.В., Голован Ю.М. Система екологічного моніторингу забруднення педосфери нафтопродуктами // *Екологічна безпека та природокористування, №2 (34), 2020* – С. 22–29.  
doi: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.2.22-29>
15. Триснюк В.М., Охарев В.О., Триснюк Т.В., Сметанін К.В., Курило А.В. Створення системи мобільного екологічного моніторингу. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: науково-технічний журнал. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (ІФНТУНГ); Івано-Франківськ: Симфонія форте. – 2018, №2 (18) – С. 120-128.
16. Трофимчук О.М., Миронцов М.Л. Сучасні дисертаційні дослідження Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору: екологічна безпека // *Математичне моделювання в економіці*. – 2018. – Vol.3. – С. 7-25.
17. Миронцов М.Л. Аналіз довгострокових біржевих трендів кореляційними методами // *Математичне моделювання в економіці* – 2015 – Vol.3. – С. 86-90.
18. Korchenko, O., Pohrebennyk, V., Kreta, D., Klymenko, V., Anpilova, Y. (2019). GIS and remote sensing as important tools for assessment of environmental pollution. 19<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019, Extended Abstracts, Vol. 19, – №2.1, – 297-304. DOI:10.5593/sgem2019/2.1/S07.039
19. Anpilova, Y., Yakovliev, Y., Drozdovych, I. (2020). Landscape and Geological Factors of Water and Ecological Conditions Technogenesis of Donbas at the Post-Mining Stage. 19<sup>th</sup> International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, Extended Abstracts. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo136>

Стаття надійшла до редакції 13.10.2020 і прийнята до друку після рецензування 21.01.2021

## REFERENCES

1. Dovhyi, S.O., Bidyuk, P.I., Trofymchuk, O.M., & Savenkov. O.I. (2011). *Methods of forecasting in decision making support systems*. Kyiv: Naukova Dumka (in Ukrainian).
2. Dovhyi, S.O., Bidyuk, P.I., & Trofymchuk, O.M. (2014). *Decision making support systems based on statistic and probabilistic methods*. Kyiv: Logos (in Ukrainian).
3. Grekov, L.D., Krasovsky, G.Y., & Trofymchuk, O.M. (2007). *Space monitoring of land pollution by man-made dust*. Kyiv: Naukova Dumka (in Ukrainian).
4. Trofymchuk, O., Kalyukh, Yu., Trofimova, I., & Hlebchuk, H. (2013). Modelling of Landslide Hazards in Kharkov Region of Ukraine Using GIS. In *Landslides: Global Risk Preparedness* (pp. 267-276). Springer, Berlin, Heidelberg.
5. Baum, R.L., Miyagi, T., Lee, S., & Trofymchuk, O. (2014). Introduction: Hazard mapping. *Landslide Science for a Safer Geoenvironment: Volume 2: Methods of Landslide Studies* (pp. 395-396). Springer, Cham.
6. Trofymchuk, O., Kolodyazhnyy, O., & Yakovlev, E. (2014). Hazardous activation of landslides within Western Carpathian region (Ukraine). In *Landslide Science for a Safer Geoenvironment* (pp. 533-536). Springer, Cham.
7. Myrontsov, N.L. (2010). Pulse lateral logging with high spatial resolution. *Dopov. Nac. akad. nauk. Ukr.*, 5, 120-122 (in Russian).
8. Myrontsov, N.L. (2012). Investigation method for “wrong” formations and the relict oil content under the well. *Dopov. Nac. akad. nauk. Ukr.*, 4, 100-105 (in Russian).
9. Lukianova, V., Trofymchuk, O., & Anpilova, Y. (2020). Environmental safety of motor transport enterprises within the urban areas. *Journal of Ecological Engineering*, 21(4), 231-236. doi: <https://doi.org/10.12911/22998993/119799>

10. Trofymchuk, O., Kreta, D., Myrontsov, M., Okhariev, V., Shumeiko, V., & Zagorodnia, S. (2015). Information Technology in Environmental Monitoring for Territorial System Ecological Assessment. *Journal of Environmental Space and Engineering AI.*, 4(2), 79-84.
11. Trofymchuk, O., Yakovliev, Y., Klymenko, V., & Anpilova, Y. (2019). Geomodeling and monitoring of pollution of waters and soils by the Earth remote sensing. In *19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019, Extended Abstracts*, (Vol. 19 (1.4), pp. 197-204). doi:<https://doi.org/10.5593/sgem2019V/1.4/S02.025>
12. Trisnyuk, V.M. (2016). Environmental safety management system for natural and anthropogenically modified geosystems. *Information processing systems*, 12, 185-188 (in Ukrainian).
13. Trisnyuk, V., Trisnyuk, T., Okhariev, V., Shumeiko, V., & Nikitin, A. (2018). Cartographic model of Dniester river basic probable flooding. *Geology and Environmental Engineering*, Ser. D. XXXII(1), 51-55.
14. Trisnyuk, V. M., Okharev, V. O., Trisnyuk, T. V., & Holovan, Y. M. (2020). System of ecological monitoring of pedosphere pollution by petroleum products. *Environmental Safety and Natural Resources*, 34(2), 22–29. doi:<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.2.22-29> (in Ukrainian).
15. Trisnyuk, V.M., Okhariev, V.O., Trisnyuk, T.V., Smetanin, K.V., & Kurylo, A.V. (2018). Development of the mobile environmental monitoring system. *Environmental Safety and Sustainable Natural Resource Management: scientific and technical journal*, 2(18), 120-128 (in Ukrainian).
16. Trofymchuk, O.M., & Myrontsov, M.L. (2018). Modern dissertation researches of the Institute of Telecommunications and Global Information Space: Environmental safety. *Mathematical modeling in economy*, 3, 7-25 (in Ukrainian).
17. Myrontsov, M.L. (2015) Analysis of long-term exchange trends for the correlation methods. *Mathematical modeling in economy*, 3, 86-90 (in Ukrainian).
18. Korchenko, O., Pohrebennyk, V., Kreta, D., Klymenko, V., & Anpilova, Y. (2019). GIS and remote sensing as important tools for assessment of environmental pollution. In *19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019, Extended Abstracts*, (Vol. 19 (2.1), pp. 297-304). doi:10.5593/sgem2019/2.1/S07.039
19. Anpilova, Y., Yakovliev, Y., & Drozdovych, I. (2020). Landscape and Geological Factors of Water and Ecological Conditions Technogenesis of Donbas at the Post-Mining Stage. In *19th International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, Extended Abstracts*, (Vol. 2020, pp. 1-5). doi:<https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo136>

*The article was received 13.10.2020 and was accepted after revision 21.01.2021*

#### **Миронцов Микита Леонідович**

доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

**Адреса робоча:** 03186, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID 0000-0002-2830-8803 **e-mail:** myrontsov@urk.net

#### **Охарєв Вячеслав Олександрович**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

**Адреса робоча:** 03186, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID 0000-0001-6270-6293 **e-mail:** okhariev.vo@gmail.com

UDC 624.137.2

**Anatolii P. Sirenko**, PhD, Docent

ORCID 0000-0002-4591-1165 *e-mail*: sirenkoap@gmail.com

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

## THE EARLY WARNING SYSTEMS ABOUT LANDSLIDE HAZARDS IN UKRAINE

**Abstract.** *Early warning systems are an effective tool for preventing and mitigating the risks associated with the occurrences of various types of threats (including landslides). The paper presents and describes the concept and practical implementation of the new integrated methodology for early warning systems based on the integration of modern monitoring technologies and comprehensive numerical modeling of an object under study. Designing, testing and operation of monitoring systems of complex and unique construction objects have a lot of difficulties, need system knowledge in several spheres of science and engineering: construction, informational technologies, measuring instruments, systems and algorithms of data processing, programming etc. This information is known only to narrow range of highly qualified specialists that directly participated in designing and installing of the particular monitoring system at the particular construction object. The basic concept of Early Warning System installed on landslides is that the elements at risk, especially people being close from the dangerous area, must have sufficient time to evacuate, if an imminent collapse is expected. Therefore, an effective Early Warning System shall include such four main sets of actions: monitoring of the activity of the observed object, i.e. the data collection and transmission, as well as the equipment maintenance; the analysis and modeling of the observed and studied object; warning, i.e. the dissemination of simple and clear information about the observed object; the effective response of risk exposed elements; full understanding of risks. The examples of the practical application of the proposed integrated methodology to various construction projects and natural and technological systems are given, including 1) Central Livadia Landslide System and Livadia Palace; 2) a system for landslide hazard areas monitoring in the Kharkiv region; and 3) landslides Early Warning System using unmanned aerial vehicles as a specialized monitoring system for shearing deformations.*

**Keywords:** *methodology; hazard early warning; monitoring and numerical modeling*

### Introduction

Historical beginning of monitoring was observation of levels of oxide of hydrocarbon in air at coal mines in England and Belgium more than 100 years ago [1]. Canaries, guinea pigs and cockroaches were used as sensors at that time. Designing, testing and operation of ordinary monitoring systems have a lot in common in different countries and are developed traditional technologies [2]. At the same time designing, testing and operation of monitoring systems of complex and unique construction objects have a lot of difficulties, researches and substantiations, need system knowledge in several spheres of science and engineering: construction, informational technologies, measuring instruments, systems and algorithms of data processing, programming etc [3–6]. This information is known only to narrow range of highly qualified specialists that directly participated in designing and installing of the particular monitoring system at the particular construction object [7–9].

The early stage of the landslide hazards automated study has begun with a variety of monitoring systems, the main role of which was to collect information about an object or phenomenon under study [10–11]. The study of landslide hazards requires the responses to two fundamental questions [12–15]:

1. *"Where and when can landslides occur?"* and
2. *"How to avoid them or mitigate their consequences?"*

*The purpose of monitoring* is to determine the points of time, at which the deviations from the normal operation of the object under study occur. *The main task* to be solved in the process of monitoring is the detection and assessment of the recorded field deviation from the stationary state. To identify the object state by means of analysis, the most informative indicative parameters, the combination of which represents the state of the object under study, should be selected. In the process of monitoring, the actual values of indicative parameters shall be recorded [16, 17].

As defined by the UN International Strategy for Environmental Disaster Reduction (UN International Strategy for Disaster Reduction, UNISDR 2009), the Early Warning System (EWS) is *"the set of capacities needed to generate and disseminate timely and meaningful warning information to enable individuals, communities and organizations threatened by a hazard to prepare and to act appropriately and in sufficient time to reduce the possibility of harm or loss"* [18].

This general definition can be applicable to any danger and does not contain a direct reference to landslides. Regardless of the definition and the hazard considered, EWS is used to reduce the risk by affecting the impact on exposed elements. The basic concept of EWS installed on landslides is that the elements at risk, especially people being away from the dangerous area, must have sufficient time to evacuate, if an imminent collapse is expected.

Therefore, an effective EWS shall include such four main sets of actions [19]:

- Monitoring of the activity of the observed object, i.e. the data collection and transmission, as well as the equipment maintenance;
- The analysis and modeling of the observed and studied object;
- Warning, i.e. the dissemination of simple and clear information about the observed object;
- The effective response of risk exposed elements; full understanding of risks.

*The key to the successful application of landslides EWS is the system ability to identify and measure in real time a limited number of important indicators called precursors that precede landslide catastrophic movements including disturbances and collapses. The recent advances in the development of control and measuring equipment in conjunction with GPS and photogrammetric techniques have increased the potential for obtaining the highly reliable measurements of various parameters, which then can be used to detect landslide activity preceding the entire slope breakage [20–28]. It is quite obvious that whenever the mechanics and instability mechanism of a particular slope are ignored, it may be difficult or simply impossible to rely solely on the analysis based on the measurements of surface displacements and velocities. Therefore, it is necessary to describe the landslide forerunners for the purposes of early warning about soil movements [29–31].*

## **1. System of monitoring the Central Livadia Landslide system and Livadia palace.**

As the first illustration of the LHEWS NIM practical embodiment the project «System of monitoring the Central Livadia Landslide system and Livadia palace» [32, 33]

implemented during 2002–2014 (*project chairmans O. Trofymchuk and I. Kaliukh*) can be taken. In this project unit 2, unit 3 and partially unit 4 of the four units of the LH EWS were implemented. To study the state of the geological environment of the the Central Livadia Landslide system and Livadia palace the monitoring system was developed and technically implemented on the computer (ZSUV software is shown in fig. 1).



Fig. 1 – The ZSUV software for the Central Livadia landslide system and Livadia palace monitoring (*first version, 2002*)

Heliogenic parameters included solar activity, changes in temperature and humidity regimes, the nature and intensity of precipitation, wind activity etc. The data were manually loaded into the computer. Lithogenic parameters were presented by a set of conditions and factors characterizing the mechanism and dynamics of changes in the equilibrium state of the the Central Livadia Landslide system slopes. The system performed the following actions:

1. Control of the the Central Livadia Landslide system and Livadia palace reference points displacements by means of landslide surface visual observations and subsequent manual loading of information into the PC (fig. 2).

2. The continuous real-time monitoring of the evolution of deviation angle changes for selected areas and zones within the landslide massif with the use of high precision electric inclinometers, filtering of electrical signals, converting of analog signals into a digital code by means of the analog-to-digital converter and data real-time downloading into the PC (fig. 3).

The processing of the measurement results showed the following [6]:

1. The southeastern wing of the Livadia palace performs continuous waves relative to a certain intermediate position. These vibrations are of a noticeable periodic nature with a period being defined as twenty-four hours. The amplitude of daily vibrations varies within the range of approximately 1.5 angular minutes, that is, about 45 angular seconds to every side away from the intermediate position. The vibrations are directed relative to the transverse building axis.

2. Sometimes (for example, on February 13–14, February 26–27 and March 22–23, 2002), the Livadia Palace tilt angle increase was recorded. In those cases, the amplitude increased to 6 angular minutes. The calculation results showed that the usual daily vibrations were 1.9 mm to each side from the intermediate position, but on the mentioned days the vibrations were about 4.2 mm to each side from the intermediate position.

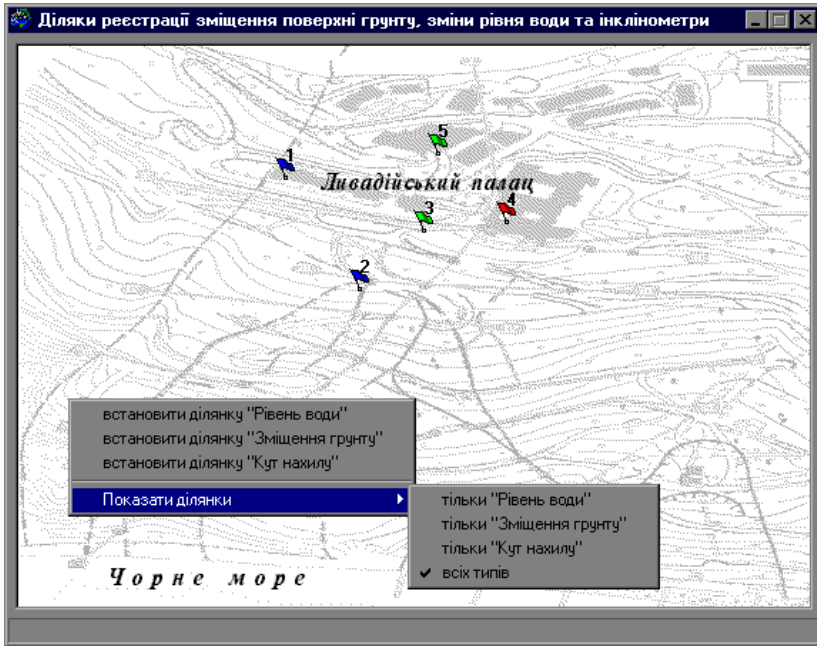


Fig. 2 – Central Livadia Landslide system and Livadia palace GIS unit

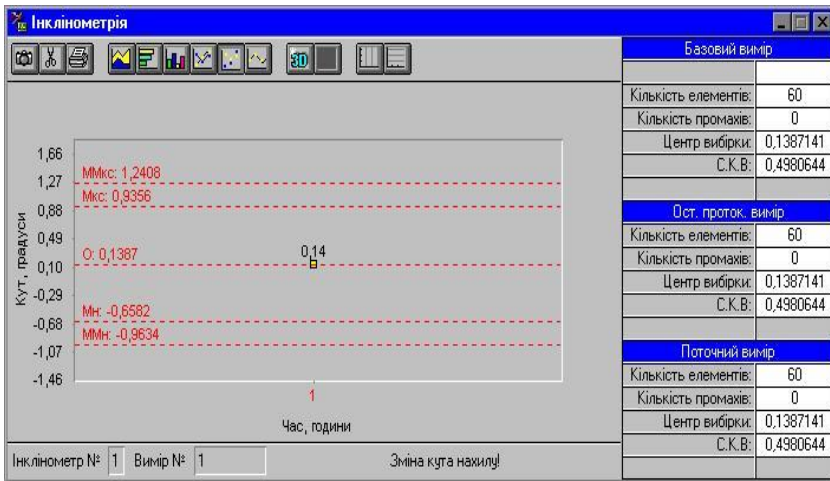


Fig. 3 – «Inclinometer» Unit of the Central Livadia Landslide system and Livadia palace

3. The exact correlation of those factors with the Livadia Palace civil structures dynamics was not proved because of the frequent forced breaks in the monitoring system operation. Such breaks were caused by the necessity to fulfill the mandatory requirements of the Security Service of Ukraine during the various official events of the All-Ukrainian and local (Yalta and Livadia) levels in the Livadia Palace and preliminary preparations for them. Since January 2014, the monitoring of the the Central Livadia Landslide system and Livadia palace has been completely ceased because of the occupation Crimea by Russia.

## 2. The project “System of GIS-monitoring of the landslide hazard slopes in Kharkivska oblast by means of ERS”.

It implemented during 2008–2011 (*project chairman O. Trofymchuk*) can be taken as the second illustration of the LH EWS NIM practical embodiment. In the project unit 1, partially unit 3 and partially unit 4 of the four units of the LH EWS NIM were implemented.

The proprietary database and GIS (fig. 4) were taken as the basis for the proposed structure of the landslide hazard slopes information system. The developed database had an information and reference character and contained brief information about fifty two certificates of the Kharkiv region landslide areas and the data on the total precipitation during twenty years from 1983 to 2002 at the Kharkiv region meteorological stations. The database information could be used for the rapid assessment of the landslides formation risk. GIS contained the multilayer information on relief, gradients of slopes, hydrographic network, roads, landslide areas etc.

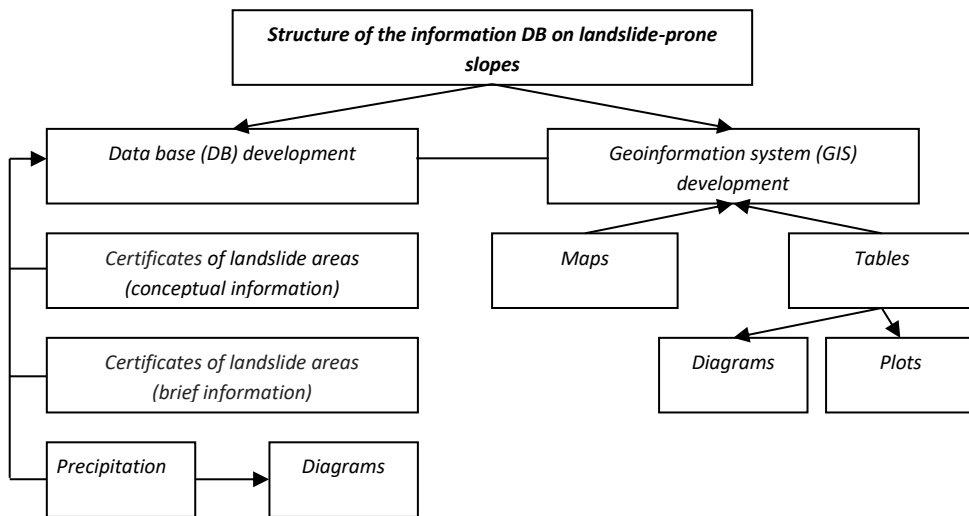


Fig. 4 – Structure of an information database on landslide hazard slopes

Fig. 5 shows that the shorter distance between the road and landslide areas, the bigger number of landslides. Although the Kharkiv region territory is relatively small in size, its main part is struck by the landslide processes, which should be constantly monitored.

The GIS adaptation to the existing database of the Kharkiv region landslide hazard massifs (LHM) facilitated the clarification of the following connections: "landslides density – area flooding", "the number of landslides – the amount of precipitation", "slump deformations – slope gradient", "slump deformations – seismic loads", "density of landslides – density of the road network". On the most part of the Kharkiv region territory, the LHM areas flooding, precipitation and anthropogenic factors have the dominant effects on the landslides evolution or activation.



Схематична карта зв'язку відстані зсувних ділянок від шляхів

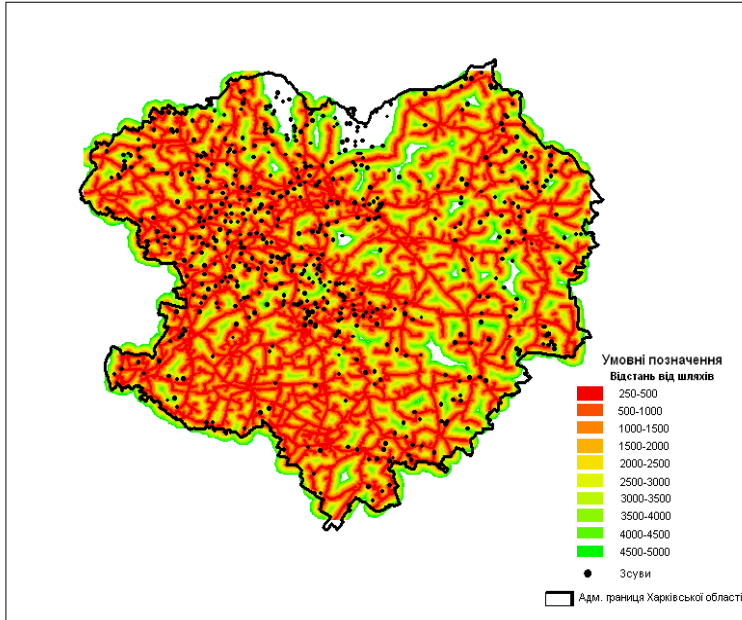


Fig. 5 – The distances from landslide areas to roads in the Kharkiv region

Firstly, a water table rise due to natural and anthropogenic factors is recorded almost wherever numerous landslides are observed. Anthropogenic factors can include the violations of sewer systems of buildings, low efficiency and hydrological imperfections of drainage systems, storm-water sewerage systems failures etc. Secondly, it is possible to observe the various economic activities with the significant violations of control standards (cutting of LHM slopes, lands ploughing for agricultural use in the vicinity of the landslide deformations manifestations, trees removal on slopes etc.). Thirdly, the dynamic impact on LHMs is rising because of the intensification of traffic density and transport speed, increase of transit freight traffic and respective loads on roads surfaces, reduction of the distances between roads and slopes etc. When processing the information available from the DB of landslide manifestations in the Kharkiv region districts, which has been obtained earlier, it became clear (fig. 6) that there was no valid correlation between the quantities of landslide areas and landslides.

That fact could have several reasons including the unreliability of landslides information, shifting (increase) of landslides activation, secondary factors of influence, stale data etc. All of that required the application of new approaches and modern information technologies to the collection and processing of LHM data etc., as well as the on-line acquisition of operational information. To solve those tasks the advanced software tools are necessary for the assessment of landslide hazard at the local and regional levels based on a systemic combination of the analysis of unmanned aerial vehicles cartographic information, space images taken by means of Earth remote sensing, mathematical modeling results and GIS-technologies outputs. The new GIS model should contain multilayer information on the relief, slopes gradients, hydrographic network, roads, landslide areas and others.

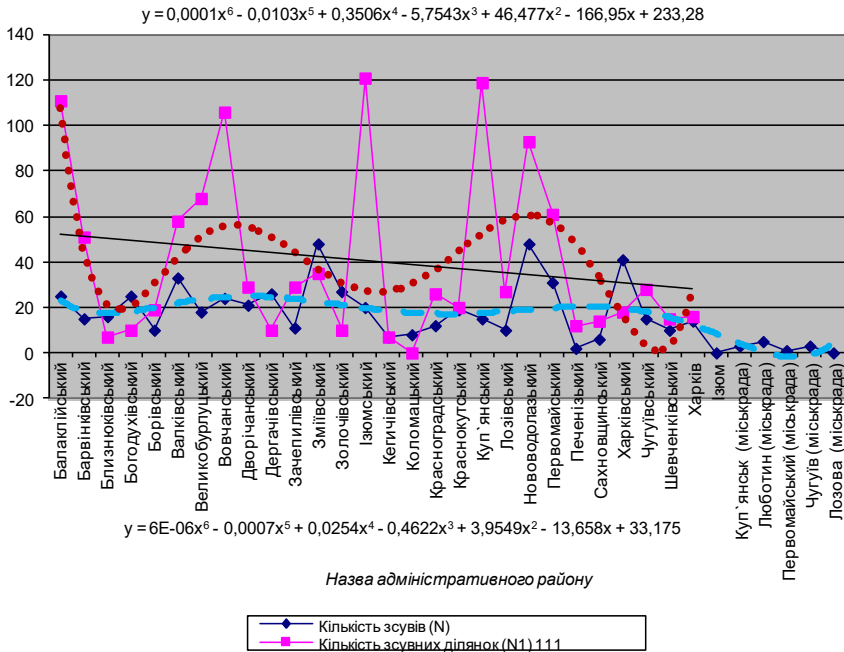


Fig. 6 – The count of landslides and landslide areas in Kharkiv region:  
 N – a number of landslides; (N1) 111 – is a number of landslide areas.

Names of administrative regions:

|                |                |                  |                             |
|----------------|----------------|------------------|-----------------------------|
| Balakliiskiy   | Derhachivskiy  | Kupianskiy       | Kharkiv                     |
| Barvinkivskiy  | Zachepylivskiy | Lozivskiy        | Izium                       |
| Blyzniukivskiy | Zmiivskiy      | Novovodolazkiy   | Kupiansk (city council)     |
| Bohodukhivskiy | Zolochivskiy   | Pervomaiskiy     | Lubotyn (city council)      |
| Borivskiy      | Iziumskiy      | Pechenizkiy      | Pervomaiskiy (city council) |
| Valkivskiy     | Kehychivskiy   | Sakhovshchynskiy | Chuhuiv (city council)      |
| Velykoburlut   | Kolomatskiy    | Kharkivskiy      | Lozova (city council)       |
| Vovchanskiy    | Krasnohradskiy | Chuhivskiy       |                             |
| Dvorichanskiy  | Krasnokutskiy  | Shevchenkivskiy  |                             |

### 3. “System for the UAV-monitoring of landslide slopes”.

In 2017 O.A. Klimenkov defended his dissertation where the preliminary studies of the LH EWS units 1–4 using the unmanned aerial vehicle (UAV) were implemented at the theoretical and methodological levels. The application of new approaches and modern information technologies to the collection and processing of data on potentially dangerous landslide massifs etc. and the on-line obtaining of operational information require the improvement of existing software for the landslide hazard assessment at local and regional levels based on a systemic combination of UAV cartographic information analysis, satellite images taken by means of the Earth remote sensing (ERS), mathematical modeling and GIS technologies.

Despite the continuous improvement of the aerospace ERS tools, such aerospace photography has well-known methodological limitations, which are determined, first of all, by the impossibility of photographing at any time and in any place depending on the weather conditions and on account of satellites orbits geometry.

The preconditions for the UAV use as a new photogrammetric tool include the disadvantages of two traditional ways of the remote sensing data acquisition by means of space satellites (space photography) or manned aircrafts (aerial photography) (fig. 7).



a. The low resolution image from the Google Earth service

b. Superimposition of the aerial photo made from "Dozor-2" UAV



c. A high-resolution photo segment

Fig. 7 – Satellite observation data

Satellite observations allow the images acquisition with a publicly accessible maximum resolution of 0.5 m, which is insufficient for large-scale mapping (fig. 7a). Moreover, it is not always possible to find the cloudless photos in archive. In case of customized photographing, the promptness of data acquisition may be lost. The operators and distributors often do not exhibit the flexible pricing policies as to the relatively compact areas. Traditional aerial photography carried out from aircrafts (Tu-134, An-2, An-30, Il-18, Cessna and L-410) or helicopters (Mi-8T, Ka-26 and AS-350) requires high economic costs for maintenance and fueling, which leads to the increase of a final product value.

The application of standard aircraft systems is uneconomic in the following situations:

1. The photography of small objects and small areas. In these cases the economic and time costs of work organization related to a unit of photographed area significantly exceed the similar parameters of the large areas photography (particularly for objects at a considerable distance from an aerodrome);
2. The necessity to carry out regular photographing for monitoring the extended objects, including pipelines, transmission lines or traffic arteries.

It should be noted that the technology of aerial photography from UAV has been largely worked out. Currently, most of the existing and operating UAVs are intended for air reconnaissance and surveillance by taking photos and videos. Fig. 8 shows the real place of the UAVs among the existing shooting methods. The vertical and horizontal axes show the area covered by photographing and the operativity and relevance of the data received, respectively. As can be seen from the figure, the materials of satellite acquisition have the maximum coverage, but their applicability is insignificant. Sometimes the space images of certain territories are waited for months. The aerial photography and aerial laser scanning have a higher applicability and accuracy, but cover the smaller areas as compared to satellite acquisition. Also, both of the above mentioned methods of taking photos are expensive. The use of UAVs is justified in cases when it is necessary to quickly obtain accurate information about a locality at a small area. In addition, taking into account the cost of each of the solutions, UAVs get the very advantageous scoring and are optimal in some cases in terms of financial costs. Thus, the plus points of UAVs use are as follows: economic efficiency; possibility of taking photos from small altitudes and in the vicinity of objects and, therefore, obtaining the high resolution images; immediate imaging and the possibility of UAV usage in zones of emergency without any risk to the pilots' lives and health. The use of UAVs for solving the tasks of aerial surveillance of emergency areas (such as the monitoring of the Fukushima-1 NPP condition as of March 16, 2011 after the radiation accident) is the most cost-effective, safe and operational means of environmental monitoring.

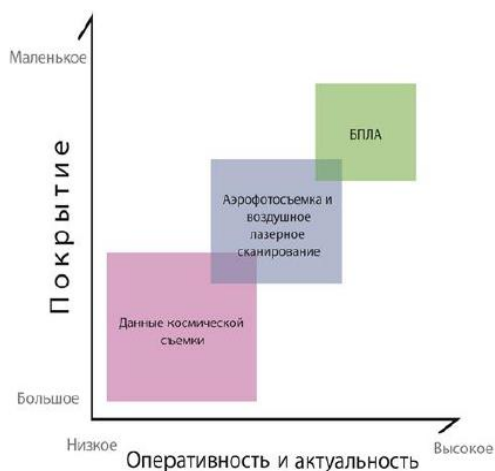


Fig. 8 – Comparison of existing methods for obtaining the Earth remote sensing data

## Conclusions

1. The concept and practical implementation of the new integrated methodology of the EWS, which is based on the integration of modern monitoring technologies and comprehensive numerical simulation of the investigated object, is presented and described.

2. The effectual and efficient EWS shall perform four main sets of the following actions: the monitoring of the behaviour of an object under observation, i.e. data

collection and transfer, as well as equipment maintenance; the analysis and modeling of the investigated object under observation; warning, that is, the dissemination of simple and clear information about the object under observation; and the effective response of risk-exposed elements; full understanding of risks.

3. The following examples of practical implementation of the proposed integrated methodology for various construction objects or natural and man-made systems are presented: 1) the Central Livadia landslide system and Livadia Palace; 2) the system for landslide hazard areas monitoring in Kharkiv Region, and 3) the systems of early prevention of landslides with the use of unmanned aerial vehicles as the specialized systems for monitoring the deformations due to landslides.

## REFERENCES

1. Dolina, L.F. (2002). Environmental monitoring and biosphere protection engineering. Part 1. Basics of monitoring. Dnepropetrovsk: Continent L (in Russian).
2. Kalyukh, Y., Maryenkov, M. et al. (2017). Guidelines for scientific and technical monitoring of buildings and structures: DSTU-N B B.1.2-17: 2016 from 1th April 2017. Kyiv: Minregionbud (in Ukrainian).
3. Trofimchuk, A.N., Chernij, V.G., & Chernij, G.I. (2006). *Nadezhnost' sistem sooruzhenie – gruntovoe osnovanie v slozhnyh inzhenerno-geologicheskikh usloviyah* [Reliability of systems construction – soil foundation in difficult engineering and geological conditions]. Kyiv: Poligraf konsalting (in Russian).
4. Kaliukh, I., Trofymchuk, O., Farenjuk, G., Ivanik, O., & Shekhunova, S. (2019). Practical measures fo landslide risk mitigation in the Ukrainian Carpathians. In *First EAGE Workshop on Assessment of Landslide and Debris Flows Hazards in the Carpathians* (Vol. 2019, pp. 1-5). European Association of Geoscientists & Engineers. doi: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902165>
5. Trofymchuk O., Kaliukh I., Silchenko K., Polevetskiy V., Berchun V., Kalyukh T. (2015) Use Accelerogram of Real Earthquakes in the Evaluation of the Stress-Strain State of Landslide Slopes in Seismically Active Regions of Ukraine. In: Lollino G. et al. (eds) *Engineering Geology for Society and Territory - Volume 2*. Springer, Cham. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-09057-3\\_236](https://doi.org/10.1007/978-3-319-09057-3_236)
6. Trofymchuk O., Kaliukh I., Klymenkov O. (2018) TXT-tool 2.380-1.1: Monitoring and Early Warning System of the Building Constructions of the Livadia Palace, Ukraine. In: Sassa K. et al. (eds) *Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools*. Springer, Cham. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-57774-6\\_37](https://doi.org/10.1007/978-3-319-57774-6_37)
7. Kaliukh, I., Senatorov, V., Khavkin, O., Polevetskiy, V., Silchenko, K., Kaliukh, T., & Khavkin, K. (2013). Experimental and analytic researches on technical state, design and operation of reinforced concrete anti-landslide structures for seismic dangerous regions of Ukraine. In *Proc. fib Symp. TEL-AVIV 2013: Engineering a Concrete Future: Technology, Modeling and Construction*. (pp. 625-628). <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85015666330&partnerID=MN8TOARS>
8. Farenjuk, G., Kaliukh, I., & Ischenko, Y. (2020). Design and calculation of the geotechnical structures in accordance with the "green building" concept requirements. *Science and Construction*, 24(2), 19-43 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v24i2.3>
9. Kaliukh, I., Farenjuk, G., Trofymchuk, O., Farenjuk, I., & Berchun, Y. (2019). Identification of defects in reinforced concrete piles based on multi-wave reflection. In: Derkowski W., Gwoździewicz P., Hojdyś Ł., Krajewski P. (eds). *Proc. fib Symp. 2019: Concrete – Innovations in Materials, Design and Structures* (pp. 991-998). Fédération Internationale du Béton (fib) – International Federation for Structural Concrete. doi: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85066103818&partnerID=MN8TOARS>

10. Ischenko, Y. (2020). Geotechnical monitoring during reconstruction of the Poshtova Square in Kyiv. *Environmental Safety and Natural Resources*, 34(2), 111–122 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.2.111-122>
11. Ishchenko, Y., Slyusarenko, Y., Melashenko, Y., Yakovenko, M., & Ben, I. (2020). Geotechnical monitoring in the conditions of compacted urban development. *Science and Construction*, 25(3), 13-25 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v25i3.2>
12. Lacasse, S. (2013). 8th Terzaghi Oration – Protecting society from landslides – the role of the geotechnical engineer. In *The 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering* (pp. 15–34). Paris
13. Sirenko, A.P. (2013). Critical distance between retaining elements for landslides and landslide slopes of Chernivtsi region. *Environmental Safety and Natural Resources*, 13, 73-76 (in Ukrainian).
14. Sirenko, A.P. (2019). Formation by optimal on Pareto resolve of the problems of ground-based failure in conditions of seismic danger. *Environmental Safety and Natural Resources*, 30(2), 113-122 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2019.2.113-122>
15. Sirenko, A.P. (2020). Assessment of a landslide hazard taking into account seismic impact. *Environmental Safety and Natural Resources*, 33(1), 59-68 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.1.59-68>
16. The Earth crust seismoacoustic monitoring. (1986). Moscow: Institute of Physics of the Earth of the USSR Academy of Sciences (in Russian).
17. Syrykh, V.N. (1996). Monitoring of the object fire safety state using an automated system. *PhD Thesis (Eng. Sci.)* (in Ukrainian).
18. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR). (2009). Terminology on Disaster Risk Reduction. Retrieved from: <http://www.unisdr.org>.
19. Di Biagio, E., & Kjekstad, O. (2007). Early Warning, Instrumentation and Monitoring Landslides. In *2nd Regional Training Course, RECLAIM II*.
20. Teza, G., Galgaro, A., Zaltron, N., & Genevois, R. (2007). Terrestrial laser scanner to detect landslide displacement fields: a new approach. *Int. J. Remote Sens.*, 28(16), 3425-3446.
21. Monserrat, O., & Crosetto, M. (2008). Deformation measurement using terrestrial laser scanning data and least squares 3D surface matching. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 63, 42-154.
22. Abellán, A., Jaboyedoff, M., Oppikofer, T., & Vilaplana, J. (2009). Detection of millimetric deformation using a terrestrial laser scanner: experiment and application to a rockfall event. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, 365-372.
23. Barla, G., Antolini, F., Barla, M., Mensi, E., & Piovano, G. (2010). Monitoring of the Beaugregard landslide (Aosta Valley, Italy) using advanced and conventional techniques. *Eng. Geol.*, 116, 218-235.
24. Barla, G., Antolini, F., Barla, M., & Perino, A. (2013). Key aspects in 2D and 3D modeling for stability assessment of a high rock slope. In *Workshops 'Failure Prediction' 2013*. Austrian Society for Geomechanics, Salzburg.
25. Casagli, N., Catani, F., Del Ventisette, C., & Luzi, G. (2010). Monitoring, prediction, and early warning using ground-based radar interferometry. *Landslides*, 7(3), 291-301.
26. Barla, M., & Antolini, F. (2012). Integrazione tra monitoraggio e modellazione delle grandi frane in roccia nell'ottica dell'allertamento rapido. In Barla G., Barla M., Ferrero A., Rotonda T. (eds). *Nuovi metodi di indagine e modellazione degli ammassi rocciosi, MIR 2010*, (pp. 211-229). Torino 30th November – 1st December 2010. Pàtron, Bologna, (in Italian).
27. Intrieri, E., Gigli, G., Mugnai, F., Fanti, R., & Casagli, N. (2012). Design and implementation of a landslide early warning system. *Eng. Geol.*, 147-148, 124-136. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2012.07.017>
28. Antolini, F. (2014). The use of radar interferometry and finite-discrete modelling for the analysis of rock landslides. *PhD Thesis*, Politecnico di Torino.

29. Dixon, N., & Spriggs, M. (2007). Quantification of slope displacement rates using acoustic emission monitoring. *Can. Geotech. J.*, 44(8), 966-976.
30. Mikkelsen, P. (1996). Chapter 11 – field instrumentation. In A. Turner, R. Schuster (Eds.), *Landslides investigation and mitigation* (pp. 278-318). Transportation Research Board, Washington.
31. O'Connor, K., & Dowding, C. (2000). Comparison of TDR and inclinometers for slope monitoring. In *Proc. of Geo-Denver 2000*. Denver, Colorado.
32. Kaliukh, Y., & Ishchenko, Y. (2020). Theoretical concept and practical implementation of the new integrated methodology for landslide hazards early warning systems. *Science and Construction*, 23(1), 3-17 (in Ukrainian). doi:<https://doi.org/10.33644/01103>
33. Kaliukh, I., Farenjuk, G., Farenjuk, I. (2018). Geotechnical Issues of Landslides in Ukraine: Simulation, Monitoring and Protection. In Wu W., Yu HS. (eds) *Proceedings of China-Europe Conference on Geotechnical Engineering*. Springer Series in Geomechanics and Geoengineering. Springer, Cham. doi:[https://doi.org/10.1007/978-3-319-97115-5\\_124](https://doi.org/10.1007/978-3-319-97115-5_124)

*The article was received 04.09.2020 and was accepted after revision 16.12.2020*

**А.П. Сіренко**

## **СИСТЕМИ РАНЬОГО ПОПЕРЕДЖЕННЯ ПРО ЗСУВНУ НЕБЕЗПЕКУ В УКРАЇНІ**

**Анотація.** Системи раннього попередження про небезпеку є ефективним інструментом для запобігання та пом'якшення ризиків, пов'язаних з виникненням різного типу загроз (зсувів у тому числі). У статті представлена і описана концепція та практична реалізація нової інтегрованої методології систем раннього попередження, яка заснована на поєднанні сучасних технологій моніторингу і всебічного чисельного моделювання досліджуваного об'єкта. Проектування, випробування та експлуатація систем моніторингу складних та унікальних будівельних об'єктів мають багато труднощів, досліджень та обґрунтувань, потребують системних знань у декількох сферах науки та техніки: будівництві, інформаційних технологіях, вимірювальних приладах, системах та алгоритмах обробки даних, програмуванні тощо. Основна концепція EWS, встановлених на зсувах, полягає в тому, щоб елементи, які піддаються ризику, особливо люди, що знаходяться недалеко від небезпечної зони, мали достатньо часу для евакуації в разі очікування неминучого колапсу. Тому дієва і ефективна EWS повинна включати в себе чотири основних набори дій: моніторинг активності об'єкта спостереження, тобто збір даних, передача та обслуговування обладнання; аналіз і моделювання досліджуваного об'єкта спостереження; попередження, тобто поширення простої і зрозумілої інформації про об'єкт спостереження; ефективна відповідна реакція елементів, схильних до ризиків; повне знання ризиків. Наведено приклади практичної реалізації запропонованої інтегрованої методології для різних будівельних об'єктів та природно-техногенних систем: 1) Центральна Лівадійська зсувна система та Лівадійський палац; 2) система моніторингу зсувонебезпечних ділянок Харківської обл.; 3) система раннього попередження зсувів з використанням безпілотних літальних апаратів в якості спеціалізованої системи моніторингу зсувних деформацій.

**Ключові слова:** методологія; раннє попередження про небезпеку; моніторинг; чисельне моделювання

*Стаття надійшла до редакції 04.09.2020 і прийнята до друку після рецензування 16.12.2020*

**Сіренко Анатолій Петрович**

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри динаміки і міцності машин та опору матеріалів Механіко-машинобудівного інституту НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

**Адреса робоча:** 03056 Україна, м. Київ-56, проспект Перемоги, 37

ORCID ID 0000-0002-4951-1165 **e-mail:** sirenkoap@gmail.com

© Авторські і суміжні права належать авторам окремих публікацій, Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Київському національному університету будівництва і архітектури.

Copying © authors of publications, Institute of Telecommunications and Global Information Space of NAS of Ukraine, Kyiv National University of Construction and Architecture. All rights reserved.

## ДО УВАГИ АВТОРІВ ЗБІРНИКА

Зміст матеріалів, що направляються до редакції, повинен відповідати профілю та науково-технічному рівню збірника.

Кожна наукова стаття повинна мати вступ, розділи основної частини та висновки, а також анотацію і ключові слова (не менше п'яти) двома мовами (українською та англійською).

Підготовка статті здійснюється в текстовому редакторі MS WORD for WINDOWS, з використанням шрифту Times New Roman, Суг, кегль 11, одинарний інтервал, полями 2,0 см з кожного боку, заданим розміром сторінок 17x26 см.

Усі формули мають бути набрані в редакторі MathType.

Ілюстрації повинні обов'язково нумеруватися, мати книжкову орієнтацію і не можуть перевищувати за розміром задану сторінку (параметри сторінки 17x26 см з полями 2,0 см). Перелік літературних джерел перекладається англійською мовою (або транслітерується в романському алфавіті) і подається відповідно до міжнародного стандарту оформлення наукових публікацій **APA (American Psychological Association) style** загальним списком у кінці статті за чергою посилань у тексті.

Наприкінці статті наводиться коротка довідка про авторів, де вказуються прізвище, повне ім'я та по батькові авторів, науковий ступінь, вчене звання, посада, назва підрозділу (кафедри) та організації, особисті дані кожного з авторів (адреса, місто, країна, контактний телефон, e-mail), ORCID ID.

Обов'язково слід надати електронну версію статті в редакторі Microsoft Word.

Усі представлені в редакцію рукописи проходять ретельне багатоланкове рецензування відповідними фахівцями за профілем статті. Якщо сумарна оцінка рецензентів менша за встановлений поріг, рукописи відхиляються.

Зміст статті та якість написання або перекладу (українською або англійською мовами) переглядаються коректорами збірника, проте відповідальність за зміст та якість статті несуть автори матеріалу. До статті можуть бути внесені зміни редакційного характеру без згоди автора.

Розділ збірника, до якого буде віднесена стаття, визначається редакцією, узгоджується – головним редактором або його заступником. Остаточний висновок щодо публікації матеріалів схвалює редакційна колегія збірника.

Електронна версія збірника, правила оформлення та вимоги до статей містяться в Інтернеті на сайті <http://www.es-journal.in.ua>, який систематично оновлюється.

Збірник наукових праць також представлений на сайті Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського, на сайті Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України <http://itgip.org/> у розділі «Видавнича діяльність» та на сайті бібліотеки Київського національного університету будівництва і архітектури <http://library.knuba.edu.ua/node/883>.



*Редактор – В.П. Берчун*

---

Надруковано в ТОВ «Видавництво «Юстон»  
01034, м. Київ, вул. О. Гончара, 36а.  
Тел.: (044) 360-22-66  
[www.yuston.com.ua](http://www.yuston.com.ua)

**Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру  
видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції  
серія дк № 497 від 09.09.2015 р.**

---

Підписано і здано до друку 30.03.2021. Формат 70x108/16. Папір офсетний.  
Офсетний друк. Умовн. друк. арк. 8.4  
Обл.-вид. арк. 9.6  
Замовлення № \_\_\_\_\_

Тираж 300 примірників

---

КИЇВ 2021