

---

---

# ОПТИЧНІ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СЕНСОРИ І ПЕРЕТВОРЮВАЧІ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

---

---

УДК 65.011

В.С. ТИМЧИШИН, А.М. МЕЛЬНИК, Т.М. ДИВАК, Б.С. ТИМЧИШИН,  
В.В. ФАЙФУРА, Є.Ю. МОМОТЮК, Б.П. КОСТИК

## ІНТЕГРАЛЬНИЙ ПОКАЗНИК ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ МОНІТОРИНГОВИХ СИСТЕМ

*Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна,  
e-mail: [v.tymchyshyn@wunu.edu.ua](mailto:v.tymchyshyn@wunu.edu.ua)*

**Анотація.** Метою статті є розробка методики розрахунку інтегрального показника на основі існуючих методик розрахунку забруднення ґрунтів, із запропонованим алгоритмом розрахунку системи інтегральних показників. На основі інтегрального показника проведено оцінку ефективності розробленого комплексу в порівнянні з іншими відомими рішеннями у сфері моніторингу забруднення ґрунту, який показав перевагу розробленого комплексу у порівнянні із аналогами на рівні 42%. Крім того, вимірювання ефективності служать основою для встановлення цільових показників ефективності та угод про рівень обслуговування. Встановлено кількісно вимірювані показники ефективності та контрольні показники, організації можуть визначити чіткі очікування щодо продуктивності та надійності системи. Ці цільові показники продуктивності не тільки забезпечують засіб для оцінки успіху проєктів програмного забезпечення, але й служать основою для договірних угод між постачальниками послуг і клієнтами. Для вимірювання цих показників запропоновано застосовувати інформаційно-вимірювальні системи які є нескладними для реалізації з технічної та технологічної точки зору. Тому у статті запропоновано математичне та програмне забезпечення для моніторингу забруднення ґрунтів та ґрунтових вод шкідливими викидами і подальшого моделювання процесів за допомогою інтегрального показника..

**Ключові слова:** оцінка ефективності системи, інтегральний показник, екологічний моніторинг, програмний комплекс, інформаційно-вимірювальні системи.

**Abstract.** The purpose of the article is to develop a methodology for calculating the integral index based on existing methods for calculating soil pollution, with the proposal of an algorithm for calculating the system of integral indices. Based on the integral indicator, the effectiveness of the developed complex was evaluated in comparison with other known solutions in the field of soil pollution monitoring, which showed the advantage of the developed complex in comparison with analogues at the level of 42%. In addition, performance measurements serve as the basis for setting performance targets and service level agreements. By establishing quantifiable performance indicators and benchmarks, organizations can set clear expectations for system performance and reliability. These performance targets not only provide a means of evaluating the success of software projects, but also serve as the basis for contractual agreements between service providers and customers. To measure these indicators, it is proposed to use information and measurement systems that are easy to implement from a technical and technological point of view. Therefore, the article proposes mathematical and software for monitoring soil and groundwater contamination by harmful emissions and subsequent modeling of processes using an integral indicator.

**Keywords:** system efficiency assessment, integral indicator, ecological monitoring, software complex, information and measurement systems.

DOI: 10.31649/1681-7893-2024-48-2-234-241

### ВСТУП

Моніторинг земель в Україні є системою постійних спостережень за станом земель та їх зміною під впливом природних та антропогенних факторів, а також за зміною складу, структури, стану земельних ресурсів, розподілом земель за категоріями, землекористувачами та видами з метою збору,

---

© В.С. ТИМЧИШИН, А.М. МЕЛЬНИК, Т.М. ДИВАК, Б.С. ТИМЧИШИН,  
В.В. ФАЙФУРА, Є.Ю. МОМОТЮК, Б.П. КОСТИК, 2024

---

---

## ОПТИЧНІ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СЕНСОРИ І ПЕРЕТВОРЮВАЧІ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

---

---

передачі та обробки отриманої інформації для своєчасного виявлення, оцінки та прогнозування змін, попередження та усунення наслідків негативних процесів, визначення ступеня ефективності заходів, спрямованих на збереження та відтворення родючості ґрунтів, захист земель від негативних наслідків.

Вимірювання ефективності програмної системи має важливе значення з багатьох причин, від технічної продуктивності до прийняття стратегічних рішень. По-перше, вимірювання ефективності служать мірилом для оцінки продуктивності програмної системи. Аналізуючи такі показники, як час відгуку, пропускна здатність і використання ресурсів, зацікавлені сторони можуть отримати уявлення про те, наскільки добре система функціонує в різних умовах. Ця оцінка допомагає виявити вузькі місця та області неефективності, які можуть перешкоджати здатності системи відповідати вимогам користувачів або бізнес-цілям. Отже, визначивши ці неефективності, розробники та інженери можуть спрямувати свої зусилля на оптимізацію критичних компонентів, таким чином підвищуючи загальну продуктивність і надійність програмного забезпечення.

По-друге, вимірювання ефективності відіграють ключову роль в управлінні та розподілі ресурсів. Розуміння вимог до ресурсів програмної системи дозволяє організаціям приймати обґрунтовані рішення щодо апаратної інфраструктури, ліцензування програмного забезпечення та розміщення персоналу. Завдяки точному оцінюванню використання ресурсів і масштабованості продуктивності організації можуть оптимізувати свої інвестиції, забезпечуючи ефективний розподіл ресурсів, зберігаючи при цьому баланс між продуктивністю, вартістю та масштабованістю. Цей стратегічний підхід до управління ресурсами дозволяє організаціям уникнути надмірних витрат на непотрібні ресурси або недостатнього забезпечення критичної інфраструктури, таким чином максимізуючи повернення інвестицій.

По-третє, вимірювання ефективності дають цінну інформацію протягом життєвого циклу розробки програмного забезпечення. Оцінюючи вплив на продуктивність різних варіантів дизайну, алгоритмів і стратегій впровадження, розробники можуть приймати обґрунтовані рішення, надаючи пріоритет ефективності та масштабованості. Наприклад, профілювання продуктивності та порівняльний аналіз допомагають розробникам визначати гарячі точки продуктивності на ранніх етапах процесу розробки, дозволяючи їм вирішувати ці проблеми до того, як вони переростуть у значні вузькі місця продуктивності. Крім того, вимірювання ефективності спрямовують архітектурні рішення, заохочуючи прийняття масштабованих та ефективних шаблонів проектування, які враховують майбутнє зростання та зміну вимог.

Угоди про рівень обслуговування, які визначають гарантії продуктивності та штрафи за низьку продуктивність, стимулюють постачальників послуг віддавати пріоритет ефективності та інвестувати в постійну оптимізацію продуктивності, що в кінцевому підсумку приносить користь кінцевим користувачам, забезпечуючи послідовний і надійний доступ до програмних послуг.

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Аналіз деяких наукових праць у галузі оцінки ефективності цільових програм [1–7], виявив загальний вектор в оцінці їх ефективності – частіше використовуються варіанти, основані на розрахунку інтегральних показників (від лат. integer – цілий): узагальнених, зведених, синтетичних [8], на основі кількох критеріїв.

Одним із найпоширеніших способів оцінки контрастність комплексних техногенних ореолів є розрахунок сумарних показників забруднення [9]. Найбільш високі середні рівні сумарного забруднення ґрунтів важкими металами ( $ZC > 120$ , до 500–1000) встановлені для міст із кольоровою та чорною металургією. Сильні забруднення також притаманні центрам важкого машинобудування, приладобудування, нафтохімії.

У деяких країнах для моніторингу та діагностики стану ґрунтів використовують наступні показники: мікробна біомаса, дихання, ферментативна активність ґрунтів (Німеччина), земляні черв'яки, мікробна біомаса, дихання та N-мінералізація (Швейцарія), мікробна біомаса, дихання, N-мінералізація, нітрифікація, ферментативна активність ґрунтів (Чеська Республіка), мікробна біомаса, дихання, мікробна різноманітність (Великобританія), мікробна біомаса, дихання та N-мінералізація (Нова Зеландія) [10–11]. Протягом багатьох років науковці різних країн ведуть пошук інформативних та чутливих показників, що характеризують стан ґрунтів [12–14]. Визначення найбільш вичерпних показників, придатних для ведення біологічного моніторингу ґрунтів продовжується. Необхідність такого пошуку обумовлена жорстким антропогенним впливом на ґрунти та ґрунтовий покрив загалом.

**Мета статті** – розробка методики розрахунку інтегрального показника на основі існуючих методик розрахунку забруднення ґрунтів, із запропонованим алгоритмом розрахунку системи інтегральних показників.

**ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ**

Розробка надійних та адекватних методів оцінки екологічного стану навколишнього середовища стала актуальною у зв'язку із глобальною деградацією природи внаслідок техногенного забруднення. Основними джерелами забруднення виступають міські агломерації різної промислової спеціалізації (багатогалузевої, металургійної, автотранспортної та інших.), гірничо-промисловість (кар'єри, рудники, збагачувальні фабрики), аграрна галузь (обробка ґрунтів, добрива, пестициди, тваринницькі комплекси), автомобільний транспорт.

Програму реалізації запропонованої технології моніторингу забруднення ґрунтів SPMS (Soil pollution monitoring system) доцільно почати із порівняння ефективності розробленої системи із основними представниками системи моніторингу забруднення ґрунтів, яка володіє диференціюючими властивостями на аналізованій множині систем. Оскільки згадана система інтегральної оцінки включає шість показників, які визнаються рівноправними, кожен із показників зручно представляти його вкладом в інтегральну оцінку. При цьому його максимальне значення складатиме 16.67%. Якщо показник фігурує в системі, то його значення приймаємо за 1, якщо він відсутній, то 0, а якщо частково реалізований – 0.5.

Виділимо ключові показники, які формують інтегральний показник ефективності. Розглянемо ці фактори більш детально. Показник «Аналітика та звітність». Аналітика та звітність в інформаційних системах моніторингу забруднення ґрунтів є критичними компонентами для ефективного контролю та управління якістю ґрунту та забрудненням ним. Ці системи допомагають збирати, аналізувати та представляти дані щодо забруднення ґрунтів для прийняття рішень, виявлення тенденцій та визначення необхідних заходів для збереження та відновлення природних ресурсів. Показник  $Az$  визначаємо наступним співвідношенням:

$$Az = \begin{cases} 0, & \text{якщо показник не реалізований;} \\ 0.5, & \text{якщо показник частково реалізований;} \\ 1, & \text{якщо показник реалізований.} \end{cases} \quad (1)$$

Показник «Збір даних онлайн»  $Zo$ . Збір даних онлайн в інформаційних системах моніторингу забруднення ґрунтів може бути важливим для забезпечення швидкого доступу до актуальних інформаційних ресурсів та відстеження змін у реальному часі. Збір даних онлайн в інформаційних системах моніторингу забруднення ґрунтів допомагає швидко реагувати на негативні зміни в ґрунті, визначати джерела забруднення та впроваджувати необхідні заходи для збереження та відновлення екологічної стійкості ґрунтів. Виходячи із проведеного аналізу, показник  $Zo$  визначаємо наступним співвідношенням:

$$Zo = \begin{cases} 0, & \text{якщо показник не реалізований;} \\ 0.5, & \text{якщо показник частково реалізований;} \\ 1, & \text{якщо показник реалізований.} \end{cases} \quad (2)$$

Показник «Підтримка додаткових параметрів»  $Po$ . Підтримка додаткових параметрів в інформаційних системах моніторингу забруднення ґрунтів дозволяє розширити функціональність та точність цих систем, а також враховувати різноманітні фактори, які впливають на стан ґрунту. Забезпечення підтримки додаткових параметрів в інформаційних системах моніторингу забруднення ґрунтів допомагає отримувати більш точну та повну інформацію про стан ґрунту та дозволяє приймати більш обґрунтовані рішення щодо охорони навколишнього середовища. Виходячи із проведеного аналізу, показник  $Po$  визначаємо наступним співвідношенням:

$$Po = \begin{cases} 0, & \text{якщо показник не реалізований;} \\ 0.5, & \text{якщо показник частково реалізований;} \\ 1, & \text{якщо показник реалізований.} \end{cases} \quad (3)$$

Показник «Масштабованість»  $Ms$ . Масштабованість інформаційних систем моніторингу забруднення ґрунтів – це їхня здатність розширюватися або зменшуватися в залежності від потреб та обсягу обробки даних. Важливо мати масштабовану систему, яка може адаптуватися до зростаючого обсягу даних, забезпечуючи при цьому ефективну роботу та продуктивність. Виходячи із проведеного аналізу, показник  $Ms$  визначаємо наступним співвідношенням:

---

---

## ОПТИЧНІ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СЕНСОРИ І ПЕРЕТВОРЮВАЧІ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

---

---

$$M_s = \begin{cases} 0, & \text{якщо показник не реалізований;} \\ 0.5, & \text{якщо показник частково реалізований;} \\ 1, & \text{якщо показник реалізований.} \end{cases} \quad (4)$$

«Стійкість до зовнішніх факторів»  $S_z$ . Стійкість до зовнішніх факторів в інформаційних системах моніторингу забруднення ґрунтів – це важлива характеристика, яка дозволяє системі продовжувати свою роботу навіть у важких або непередбачуваних умовах. Виходячи із проведеного аналізу, показник  $S_z$  визначаємо наступним співвідношенням:

$$S_z = \begin{cases} 0, & \text{якщо показник не реалізований;} \\ 0.5, & \text{якщо показник частково реалізований;} \\ 1, & \text{якщо показник реалізований.} \end{cases} \quad (5)$$

Показник «Вартість»  $V_s$ . Показник вартості інформаційних систем моніторингу забруднення ґрунтів визначає вартість розробки, впровадження та експлуатації такої системи. Вартість інформаційної системи може бути важливим фактором при прийнятті рішення щодо її створення та використання. Важливо бути уважним при оцінці вартості інформаційної системи моніторингу забруднення ґрунтів, оскільки це допоможе забезпечити фінансову стійкість проекту і раціонально розпорядитися ресурсами. Виходячи із проведеного аналізу, показник  $V_s$  визначаємо наступним співвідношенням:

$$V_s = \begin{cases} 0, & \text{якщо показник не реалізований;} \\ 0.5, & \text{якщо показник частково реалізований;} \\ 1, & \text{якщо показник реалізований.} \end{cases} \quad (6)$$

На основі запропонованих показників отримуємо інтегральний показник ефективності  $IEf$  систем моніторингу забруднення ґрунтів, який можна представити за допомогою наступної формули:

$$IEf = \frac{Az + Zo + Po + Ms + Sz + Vs}{n} \quad (7)$$

де  $n$  – загальна кількість показників.

Індекс досягнення заданих показників, збільшення значення яких приводить до позитивної оцінки, буде розраховуватися за формулою:

$$a_{ij} = 1 + \frac{a_{\text{факт}ij} - a_{\text{план}ij}}{a_{\text{план}ij}} \quad (8)$$

де  $a_{\text{план}ij}$  – заданий показник у системі моніторингу забруднення ґрунтів за аналізований період;  
 $a_{\text{факт}ij}$  – фактично досягнутий показник у системі моніторингу забруднення ґрунтів за аналізований період.

На наступному кроці, після перетворення системи до безрозмірного виду з урахуванням запровадження денних припущень необхідно провести оцінку середньоквадратичного відхилення по кожному індексу за формулою:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} - a_i^{cp^2}}{n - 1}} \quad (9)$$

де  $i$  – середньоквадратичне відхилення;

$a_{ij}$  – значення індексу, що позначає ступінь досягнення заданого показника для  $j$ -ї системи моніторингу;

$a_i^{cp}$  – оцінка значення математики очікування  $i$ -го індексу, що позначає ступінь досягнення заданого показника;

$n$  – число показників в системі моніторингу, для яких виводиться оцінка їх реалізації.

Фактично середньоквадратичне відхилення дає оцінку розкиду даних щодо середнього значення,  $i$  в нашому випадку, оскільки значення нормовані, значення  $i$  буде знаходитися в межах 0 і 0,5. В таблиці 1. представлено результати оцінювання основних показників, які формують інтегральний показник

## ОПТИЧНІ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СЕНСОРИ І ПЕРЕТВОРЮВАЧІ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

ефективності для досліджуваних типів систем. Виходячи з аналізу кількісних показників оцінок систем моніторингу забруднення ґрунтів, проведено розрахунок інтегрального показника ефективності.

Таблиця 1

**Оцінювання ефективності систем моніторингу забруднення ґрунтів**

Системи \ Показники	Лабораторія iCAP RQ ICP-MS	Лабораторія iCAP RQ ICP-MS	Drager Xam 3500soil pollution monitoring system	SPMS (Soil pollution monitoring system)
Аналітика та звітність	0.5	1	0.5	0.5
Збір даних онлайн	0	0	0	1
Підтримка додаткових параметрів	1	0.5	0.5	-
Масштабованість	0	-	0	1
Стійкість до зовнішніх факторів	0,5	0	0	1
Вартість	0	0	0	1

Технологія SPMS у порівнянні з відомими рішеннями забезпечує приріст інтегрального показника ефективності на 42.0%, що у 2 рази перевищує відносний приріст щодо ефективності систем моніторингу забруднення ґрунтів. Результати представлено на рисунку 1.



Рисунок 1 – Порівняння систем моніторингу забруднення ґрунтів на основі інтегрального показника ефективності

Після аналізу кількісних показників оцінки систем моніторингу забруднення ґрунту було розраховано інтегральний показник ефективності. У порівнянні з іншими відомими рішеннями у цій галузі, технологія SPMS демонструє приріст інтегрального показника ефективності на 42.0%. Ця цифра вдвічі перевищує відносний ріст ефективності, який був зафіксований в існуючих системах моніторингу забруднення ґрунту.

## ВИСНОВКИ

Вимірювання ефективності програмної системи є незамінним для забезпечення продуктивності, масштабованості та економічної ефективності програмних рішень. Оцінюючи продуктивність, керуючи розподілом ресурсів, обґрунтовуючи рішення щодо розробки та встановлюючи цілі продуктивності, вимірювання ефективності відіграють вирішальну роль у підвищенні якості програмного забезпечення, задоволеності користувачів і конкурентоспроможності організації.

Розроблена методика розрахунку інтегрального показника ефективності реалізації програм з використанням ентропійного методу забруднення ґрунтів, знаходження вагових коефіцієнтів підвищує достовірність одержаних результатів порівняно з експертним методом. Сформована методика є універсальною, і може застосовуватися як для розрахунку ефективності реалізації цільових програм.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Dyvak M., Rot A., Pasichnyk R., Tymchyshyn V., Huliiev N., Maslyiak Y. Monitoring and Mathematical Modeling of Soil and Groundwater Contamination by Harmful Emissions of Nitrogen Dioxide from Motor Vehicles // *Sustainability*. 2021. 13(5):2768.
2. Дивак М.П., Масляк Ю.Б., Пукас А.В., Порплиця Н.П., Войтюк І.Ф., Тимчишин В.С. Архітектура системи екологічного моніторингу та приклад її застосування для моделювання концентрацій шкідливих викидів автотранс-порту // *Індуктивне моделювання складних систем: зб. наук. пр. Київ. 2017. Вип. 9. С. 69-84.*
3. N. Porplytsya and M. Dyvak. Interval difference operator for the task of identification recurrent laryngeal nerve. 2015 16th International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE), Lviv. 2015. p156-158.
4. O.G. Melnikova, V.A. Yurchenko. Ecological consequences of technogenic load created by road-infrastructure complexes on soil ecosystems. IX International Scientific and Practical Conference. Ecological, legal and economic aspects of ecological security of the regions October 29-31, 2014 Kharkiv. 2014. №12. pp. 232-236.
5. Tang L, Ma Z, Wang C, Luo Y. Health risk assessment of heavy metals in soils and vegetables from wastewater-irrigated area, Beijing-Tianjin city cluster, China. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2020. №26(1-2). pp. 233-249.
6. Щур В. В., Тимчишин В.С., Ковбасистий А. В., Лопусевич В. П. Математичне та програмне забезпечення інтеграції даних інформаційних систем. Матеріали школи-семінару молодих вчених і студентів «Комп'ютерні інформаційні технології» СІТ'2019, 29 листопада 2019р., Тернопіль. 2019. ст. 54-55.
7. Георгієвська Л. В. Аналіз впливу автомобільних викидів на довкілля. Матеріали XIX Міжнародної наукової конференції "Наукове майбутнє - 2019". 2019. № 7. С. 58-68.
8. Popa, V. I., Andreescu, L. Air quality management: An overview of monitoring, modeling, and control strategies. *Environmental Engineering and Management Journal*. 2018. 17(1). pp. 43-56.
9. Frank J. Kelly, Julia C. Fussell. Size, source and chemical composition as determinants of toxicity attributable to ambient particulate matter. *Atmospheric Environment*. Volume 60. 2012. pp. 504-526.
10. Nieuwenhuijsen MJ, Donaire-Gonzalez D, Rivas I, de Castro M, Cirach M, Hoek G, Seto E, Jerrett M, Sunyer J. Variability in and agreement between modeled and personal continuously measured black carbon levels using novel smartphone and sensor technologies. *Environ Sci Technol*. 2015. № 49(5). pp. 77-82.
11. Sakunkoo P, Thonglua T, Sangkham S, Jirapornkul C, Limmongkon Y, Daduang S, Tessiri T, Rayubkul J, Thongtip S, Maneenin N, Pimonsree S. Human health risk assessment of PM-bound heavy metal of anthropogenic sources in the Khon Kaen Province of Northeast Thailand. *Heliyon*. 2022 Jun 7. 8(6). pp. 95-112.
12. Schauer, J. J., Cass, G. R. Source apportionment of wintertime gas-phase and particle-phase air pollutants using organic compounds as tracers. *Environmental Science & Technology*. 2019. № 53(1). pp.205-216.
13. Zhang, Q., Zheng, Y., Wang, K. Emissions of primary aerosol and precursor gases in the United States: Implications for air quality and public health. *Environmental Research Letters*. 2020. № 14(8). pp. 123-135.

---

---

## ОПТИЧНІ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СЕНСОРИ І ПЕРЕТВОРЮВАЧІ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

---

---

14. Gani, S., Wang, Z., Deng, Z., Cao, J., Liu, X., Chow, J. C., Schauer, J. J. Characteristics and sources of submicron aerosols above the urban canopy (260 m) in Beijing, China, during the 2014 APEC and the 2015/2016 winter periods. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2021. № 20(6). pp. 178-187.
15. Romanyuk, O., Zavalniuk, Y., Pavlov, S., etc. (2023). New surface reflectance model with the combination of two cubic functions usage, *Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Srodowiska*, 13(3), pp. 101–106
16. Kukharchuk, Vasyl V., Sergii V. Pavlov, Volodymyr S. Holodiuk, Valery E. Kryvonosov, Krzysztof Skorupski, Assel Mussabekova, and Gaini Karnakova. (2022). "Information Conversion in Measuring Channels with Optoelectronic Sensors" *Sensors* 22, no. 1: 271. <https://doi.org/10.3390/s22010271>.
17. Vasyl V. Kukharchuk, Sergii V. Pavlov, Samoil Sh. Katsyv, and etc. (2021). Transient analysis in 1st order electrical circuits in violation of commutation laws", *Przegląd elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 97 NR 9/2021, p. 26-29, doi:10.15199/48.2021.09.05.
18. [Timchenko Leonid](#), etc. (2020). "Q-processors for real-time image processing", *Proc. SPIE 11581, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2020*, 115810F (14 October 2020); <https://doi.org/10.1117/12.2580230>

### REFERENSES

1. Dyvak M., Rot A., Pasichnyk R., Tymchyshyn V., Huliiev N., Maslyiak Y. Monitoring and Mathematical Modeling of Soil and Groundwater Contamination by Harmful Emissions of Nitrogen Dioxide from Motor Vehicles // *Sustainability*. 2021. 13(5):2768.
2. Dyvak M.P., Maslyiak Yu.B., Pukas A.V., Porplytsia N.P., Voitiuk I.F., Tymchyshyn V.S. Arhitektura systemy ekolohichnoho monitorynhu ta pryklad yii zastosuvannya dlia modeliuвання kontsentratsii shkidlyvykh vykydiv avtotrans-portu // *Induktyvne modeliuвання skladnykh system: zb. nauk. pr. Kyiv*. 2017. Vyp. 9. S. 69-84. (in Ukraine)
3. N. Porplytsya and M. Dyvak. Interval difference operator for the task of identification recurrent laryngeal nerve. 2015 16th International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE), Lviv. 2015. p156-158.
4. O.G. Melnikova, V.A. Yurchenko. Ecological consequences of technogenic load created by road-infrastructure complexes on soil ecosystems. IX International Scientific and Practical Conference. Ecological, legal and economic aspects of ecological security of the regions October 29-31, 2014 Kharkiv. 2014. №12. pp. 232-236.
5. Tang L, Ma Z, Wang C, Luo Y. Health risk assessment of heavy metals in soils and vegetables from wastewater-irrigated area, Beijing-Tianjin city cluster, China. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2020. №26(1-2). pp. 233-249.
6. Shchur V. V., Tymchyshyn V.S., Kovbasisty A. V., Lopusevych V. P. Matematychnе ta prohramne zabezpechennia intehtatsii danykh informatsiinykh system. *Materialy shkoly-seminaru molodykh vchenykh i studentiv «Kompiuterni informatsiini tekhnolohii» CIT2019, 29 lystopada 2019r., Ternopil*. 2019. ct. 54-55. (in Ukraine)
7. Heorhiiivska L. V. Analiz vplyvu avtomobilnykh vykydiv na dovkillia. *Materialy XIX Mizhnarodnoi naukovoї konferentsii "Naukove maibutnie - 2019"*. 2019. № 7. S. 58-68. (in Ukraine)
8. Popa, V. I., Andreescu, L. Air quality management: An overview of monitoring, modeling, and control strategies. *Environmental Engineering and Management Journal*. 2018. 17(1). pp. 43-56.
9. Frank J. Kelly, Julia C. Fussell. Size, source and chemical composition as determinants of toxicity attributable to ambient particulate matter. *Atmospheric Environment*. Volume 60. 2012. pp. 504-526.
10. Nieuwenhuijsen MJ, Donaire-Gonzalez D, Rivas I, de Castro M, Cirach M, Hoek G, Seto E, Jerrett M, Sunyer J. Variability in and agreement between modeled and personal continuously measured black carbon levels using novel smartphone and sensor technologies. *Environ Sci Technol*. 2015. № 49(5). pp. 77-82.
11. Sakunkoo P, Thonglua T, Sangkham S, Jirapornkul C, Limmongkon Y, Daduang S, Tessiri T, Rayubkul J, Thongtip S, Maneenin N, Pimonsree S. Human health risk assessment of PM-bound heavy metal of anthropogenic sources in the Khon Kaen Province of Northeast Thailand. *Heliyon*. 2022 Jun 7. 8(6). pp. 95-112.
12. Schauer, J. J., Cass, G. R. Source apportionment of wintertime gas-phase and particle-phase air pollutants using organic compounds as tracers. *Environmental Science & Technology*. 2019. № 53(1). pp.205-216.

13. Zhang, Q., Zheng, Y., Wang, K. Emissions of primary aerosol and precursor gases in the United States: Implications for air quality and public health. *Environmental Research Letters*. 2020. № 14(8). pp. 123-135.
14. Gani, S., Wang, Z., Deng, Z., Cao, J., Liu, X., Chow, J. C., Schauer, J. J. Characteristics and sources of submicron aerosols above the urban canopy (260 m) in Beijing, China, during the 2014 APEC and the 2015/2016 winter periods. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2021. № 20(6). pp. 178-187.
15. Romanyuk, O., Zavalniuk, Y., Pavlov, S., etc. (2023). New surface reflectance model with the combination of two cubic functions usage, *Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Srodowiska*, 13(3), pp. 101–106
16. Kukharchuk, Vasyl V., Sergii V. Pavlov, Volodymyr S. Holodiuk, Valery E. Kryvonosov, Krzysztof Skorupski, Assel Mussabekova, and Gaini Karnakova. (2022). "Information Conversion in Measuring Channels with Optoelectronic Sensors" *Sensors* 22, no. 1: 271. <https://doi.org/10.3390/s22010271>.
17. Vasyl V. Kukharchuk, Sergii V. Pavlov, Samoil Sh. Katsyv, and etc. (2021). Transient analysis in 1st order electrical circuits in violation of commutation laws", *Przegląd elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 97 NR 9/2021, p. 26-29, doi:10.15199/48.2021.09.05.
18. [Timchenko Leonid](#), etc. (2020). Q-processors for real-time image processing", *Proc. SPIE 11581, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2020*, 115810F (14 October 2020); <https://doi.org/10.1117/12.2580230>

Надійшла до редакції: 8.09.2024 р.  
:

**ТИМЧИШИН ВАСИЛЬ СТЕПАНОВИЧ** – PhD., викладач, кафедра комп'ютерних наук, Західноукраїнський національний університет, [e-mail: tymchyshynn@gmail.com](mailto:tymchyshynn@gmail.com)

**МЕЛЬНИК АНДРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ** – д.т.н., професор, кафедра комп'ютерних наук, Західноукраїнський національний університет, [e-mail: ame@wunu.edu.ua](mailto:ame@wunu.edu.ua)

**ДИВАК ТАРАС МИКОЛАЙОВИЧ** – к.т.н., кафедра комп'ютерних наук, Західноукраїнський національний університет, [e-mail: taras.dyvak@gmail.com](mailto:taras.dyvak@gmail.com)

**ТИМЧИШИН БОГДАН СТЕПАНОВИЧ** – аспірант, кафедра комп'ютерних наук, Західноукраїнський національний університет, [e-mail: b.tymchyshyn@wunu.edu.ua](mailto:b.tymchyshyn@wunu.edu.ua)

**ФАЙФУРА ВАСИЛЬ ВАСИЛЬОВИЧ** – аспірант, кафедра комп'ютерних наук, Західноукраїнський національний університет, [e-mail: v.faufura@wunu.edu.ua](mailto:v.faufura@wunu.edu.ua)

**МОМОТЮК ЄВГЕНІЙ ЮРІЙОВИЧ** – аспірант, кафедра комп'ютерних наук, Західноукраїнський національний університет, [e-mail: momoty31@gmail.com](mailto:momotyk31@gmail.com)

**КОСТИК БОГДАН ПЕТРОВИЧ** – аспірант, кафедра комп'ютерних наук, Західноукраїнський національний університет, [e-mail: kostuk.bohdan.ua@gmail.com](mailto:kostuk.bohdan.ua@gmail.com)

VASYL TYMCHYSHYN, ANDRIY MELNYK, TARAS DYVAK, BOHDAN TYMCHYSHYN,  
VASYL FAIFURA, EVHENII MOMOTIUK, BOHDAN KOSTYK  
**INTEGRAL INDICATOR FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF SPECIALIZED  
MONITORING SYSTEMS**

West Ukrainian National University, Ternopil, 46009, Ukraine