

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору  
Національна академія наук України

Кваліфікаційна наукова праця на  
правах рукопису

КУРИЛО АНАТОЛІЙ ВАСИЛЬОВИЧ

УДК 504.054+504.06:528.88

**ДИСЕРТАЦІЯ**  
**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТА АДАПТИВНОГО**  
**УПРАВЛІННЯ СМІТТЄЗВАЛИЩАМИ**

122 – «Комп'ютерні науки»

Подається на здобуття наукового ступеню доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ А. В. Курило  
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник:

Триснюк Василь Миколайович, д.т.н.,  
старший науковий співробітник

Київ – 2023

## АНОТАЦІЯ

**Курило А.В. Інформаційні технології для моніторингу та адаптивного управління сміттєзвалищами – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.**

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за фахом 122 «Комп'ютерні науки» – Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору. Національної академії наук України, Київ – 2023.

У дисертаційній роботі вирішено наукове завдання, підвищення достовірності інформаційних систем екологічного моніторингу сміттєзвалищ, на основі використання мобільних комплексів геоінформаційних та аерокосмічних технологій.

У дисертаційній роботі розв'язана актуальна науково-прикладна задача розроблення теоретичних і прикладних засад побудови інформаційних технологій комплексної оцінки природно-техногенної системи, в якій джерелом впливу є сміттєзвалище та оцінку достовірності передачі інформації з БПЛА в умовах впливу промислових перешкод для управління та моніторингу сміттєзвалищами територіальних громад.

**У вступі** обґрунтовано актуальність роботи, та зв'язок з актуальним напрямом науково-технічної політики України, сформульовані мета та задачі досліджень, розкрито наукову новизну та практичну цінність роботи, представлено її загальну характеристику.

**У першому розділі** проаналізовано тенденції розвитку систем моніторингу та адаптивного управління сміттєзвалищами. У залежності від цільової функції та обмежень застосовуються задачі математичного програмування для створення необхідних комп'ютерних моделей забезпечення передачі інформації для адаптивного управління та моніторингу сміттєзвалищами. Розглянуто адаптивну модель для системи управління сміттєзвалищами, яка включає у себе сучасні

інформаційні технології, стратегічний менеджмент, нові характеристики процесу організації системи управління на стаціонарних сміттєзвалищах.

**У другому розділі** розглянуто модель достовірності передачі екологічної інформації в системах моніторингу сміттєзвалищ з погляду завадостійкості.

Аналіз проведених моніторингових досліджень сміттєзвалищ територіальних громад показав зведену модель усіх компонентів довкілля. Проведено моніторингові дослідження сміттєзвалищ територіальних громад, відібрано проби компонентів довкілля та запропоновано комплексну модель відбору проб.

Під час наукових досліджень запропоновано нові науково-методичні підходи та удосконалено методику проведення екологічного моніторингу з використанням БПЛА, яка є основою оперативного виявлення джерел забруднення в ході проведення спостереження за заданою територією.

На території дослідження протягом 2018 – 2022 років проведено відбір проб ґрунтів, води, донних відкладів та систематизовано схеми відбору проб по усіх блоках, де враховано контроль за станом гамма-випромінювання, контроль за станом ґрунтів та атмосферного повітря (CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>).

Аналітична модель оцінювання якості виконання екологічних завдань моніторингу за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є необхідною для забезпечення ефективності та точності збору інформації про стан довкілля за Основними складовими цієї моделі є визначення метрики якості, відповідними параметрами та критеріями.

При передачі інформації розглядаються різні види промислових перешкод: шумова загороджувальна перешкода, шумова перешкода в частині смуги та перешкода у відповідь. Цим моделям характерний обмежений по смузі білий гаусівський шум. При впливі промислових перешкод використовується  $K_s^g$  субканалів системи OFDM для передачі одного пакету інформації. Якщо промислові перешкоди відсутні використовується один субканал для передачі одного пакету інформації. За умови впливу шумової загороджувальної перешкоди

на безпроводну мережу враховується спектральна щільність потужності промислової перешкоди, а також частина смуги частот, де є присутня перешкода. Коефіцієнт розширення спектра характеризує міру збільшення відношення сигналу промислових заводів в результаті згортання досліджуваної смуги частот радіосигналу і приведення її до інформаційного сигналу.

При розширенні спектра з використанням кодів, утворених за допомогою функцій Радемахера, коефіцієнт розширення спектру в гібридній схемі дорівнює добутку коефіцієнтів розширення спектру, які отримуються окремо для кожного з методів. Таким чином, середня ймовірність бітової помилки декодування при використанні кодів Ріда-Соломона визначається аналітичним виразом, який враховує бітову послідовність кодового символу, кількість помилкових біт у символі, які може виправити код, середню бітову помилку для різних видів промислових заводів, яка розраховується для конкретної заводової обстановки.

**У третьому розділі** розглянуто інтерполяційні методи в системах контролю екологічної обстановки сміттєзвалищ. Проведено виявлення забруднень, які створюють сміттєзвалища за умови достатньої або надмірної щільності вимірів та представлення територій сміттєзвалищ із застосуванням сплайн-проксимації. При використанні кубічного сплайна, заданого локально, метод застосовується для опису сміттєзвалищ за даними про забруднення, вимірними технічними засобами при необхідній щільності вимірів.

Для побудови карт сміттєзвалищ використовувався також бікубічний сплайн, а для корекції даних забруднення застосовано метод локальної інтерполяції з використанням результатів аерофотознімків.

У роботі розглядалися ряд інших підходів, заснованих на використанні методів інтерполяції при обробці даних моніторингових досліджень, зокрема: адаптивні сітки; триангуляції, за наявності широко розгалуженої мережі стаціонарних датчиків, зв'язаних з каналами зв'язку. Якщо ж є інформація про напрям вітру у момент формування забруднення, то показник набуває форми еліпса.

Така конфігурація пояснюється тим, що значення градієнта на однаковому видаленні від джерела забруднення більше в поперечному перерізі сліду, чим в подовжньому. Звідси витікає, що кореляційні зв'язки між перерізами випадкового процесу зберігаються на більшій відстані в подовжньому напрямі сліду, ніж у поперечному.

Методика відновлення поля моніторингу на основі методу лінійної оптимальної інтерполяції на сміттєзвалищах нині є найбільш перспективною для використання в комп'ютерних програмах, але вимагає подальшого розвитку в частині розробки методу побудови меж, які розділяють поля моніторингу по вибірці вимірів і уточнення виду кореляційної і вагової функцій поля моніторингу.

Для вирішення поставлених задач на території Тернопільської області закладена мережа спостережень, яка здебільшого рівномірно охоплює весь полігон – 108 геоecологічних точок спостережень, у якій проводився відбір проб для різних видів аналізів. Визначальним чинником для «прив'язки» полігону сміттєзвалищ до точок місцевості склала наявність ландшафтних одиниць, які залежали від літогенної основи, рельєфу, типів ґрунтів і контурів ґрунтових вод. При виборі полігону для розташування об'єкта чи проведення досліджень враховується низка факторів, які запускають ландшафтні особливості: ґрунти, рельєф, поверхневі води. При дослідженнях було охоплено усі ці особливості таким чином, щоб на кожній одиниці населеного пункту, на якій розміщені сміттєзвалища, розташувалось орієнтовно 5 геоecологічних точок. Було встановлено, що стихійні сміттєзвалища в основному розташовані у місцях русел річок та потічків, що протікають територією громад.

Виходячи з експериментальних досліджень встановлено, забруднення ґрунтів, поверхневих та підземних вод території Тернопільської області, переважно задовільний. В окремих точках спостережень виявлено техногенне забруднення поблизу сміттєзвалища м. Тернопіль.

У четвертому розділі розглянуто технології забезпечення передачі екологічної інформації в системах екологічного моніторингу сміттєзвалищ. В умовах складної екологічної обстановки ефективне функціонування передавальних пристроїв можливе із встановленням на передавальному боці оптимальних управляючих дій, які змінюють вид кодових конструкцій та кількість субканалів які використовуються.

Сутність запропонованого методу полягає в адаптивній зміні параметрів кодування даних у випадку коли завадова обстановка змінюється в каналі зв'язку і одержуємо максимальне значення енергетичної ефективності та відповідно задане значення достовірності прийому інформації.

Методи адаптивних значень забезпечують оптимальний режим функціонування системи за рахунок автоматичної перестройки алгоритму, коректування надмірності повідомлень і сигналів, структури кодуючих і декодуючих пристроїв та інших необхідних заходів.

Програмний модуль моніторингу сміттєзвалищ створено за допомогою проблемно-орієнтованого проекту ArcMap у вигляді документів для виводу до друку у форматі MS Word та MS Excel. В документ MS Word входить копія карти території, яка оцінювалася, та таблиці результатів розрахунку ризиків. Забезпечується можливість коригування та друку підсумкового документу засобами MS Office. За допомогою програмного забезпечення здійснюється формування картографічного вікна з необхідним переліком картографічних шарів, які відображають розподіл значення ризику по території та необхідне картографічне оточення. Передача відповідної оцінки забруднення екологічного стану необхідна для забезпечення відповідних державних та місцевих органів управління необхідною об'єктивною екологічною інформацією для прийняття рішень.

Автоматизована система раннього виявлення екологічних загроз контролює такі речовини: БСК5, нафтопродукти, азот амонійний, нітрати, нітроти, залізо,

СПАР, алюміній, мінералізація, цинк, ХПК, мідь, нікель, хлор. Проводиться моніторинг викидів забруднюючих речовин в атмосфері повітря (СО, СО<sub>2</sub>, NO, N<sub>2</sub>O, СН<sub>4</sub>) (екологічні пости. метеорологічні параметри, О<sub>2</sub> та рН вимірюються автоматично).

Моніторингові дослідження показали, що перспективним і прийнятним є факторний аналіз, зокрема, метод головних компонент, який дозволяє узагальнювати значення відповідних значень та знижувати розмірність показників факторного поля.

**Ключові слова:** інформаційні технології, геоінформаційні системи, екосистема, інформаційно-аналітичне забезпечення, програмне забезпечення, сміттєзвалища, рельєф місцевості, спектральні канали, адаптивне управління.

## ANNOTATION

**Kurylo A.V. Information technologies for monitoring and adaptive management of landfills - A qualifying scientific work on the rights of the manuscript.**

Dissertation for obtaining the degree of Doctor of Philosophy in specialty 122 "Computer Science" - Institute of Telecommunications and Global Information Space, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv - 2023.

As a result of the studies conducted in the dissertation work, an urgent scientific task aimed at increasing the reliability and informational capabilities of landfill environmental monitoring systems has been solved based on the use of mobile complexes of geoinformation and aerospace technologies.

In the dissertation research, an urgent scientific and applied task of developing theoretical and applied principles for constructing information technologies of complex assessment of the natural-technogenic system, in which the landfill is the source of impact, and the assessment of the reliability of information transmission from UAVs under the

influence of industrial obstacles for management and monitoring of territorial community landfills has been solving.

**The introduction justifies** the topic's relevance, indicates its connection with the current direction of Ukraine's scientific and technical policy, the research's goals and objectives are formulated, the scientific novelty and practical value of the work are disclosed, and its general characteristics are presented.

**The first chapter** analyzes the main trends in landfill monitoring and adaptive management systems development. Depending on the objective function and constraints, mathematical programming tasks are used to create the necessary computer models to ensure the transmission of information for adaptive management and landfill monitoring. An adaptive model for a landfill management system that includes modern information technologies, strategic management, and new characteristics of the process of organizing a management system at stationary landfills has been considered.

**The second chapter** considers the reliability model of environmental information transmission in landfill monitoring systems in terms of noise resistance.

The analysis of conducted monitoring studies of territorial communities' landfills showed that all variants of environmental component sampling could be reduced to a particular model.

Monitoring studies of territorial communities' landfills were conducted, environmental component samples were selected, and a comprehensive sampling model was proposed.

Scientific-methodical approaches have been worked out, based on which the procedure for conducting environmental monitoring using UAVs has been improved, which is the basis for the operational detection of pollution sources during observations over a given territory.

On the territory of the study during 2018 – 2022, samples of soils, water, and bottom sediments were taken, and sampling schemes were systematized in all blocks, where



control over the state of gamma radiation, control over the state of soils and atmospheric air (CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>) were taken into account.

An analytical model for evaluating the quality of performing environmental monitoring tasks using UAVs has been proposed, the peculiarity of which is the search for the structure according to optimal parameters of onboard equipment of the aircraft, taking into account the specifics of determining the nature of the anthropogenic impact on the state of the environment.

When transmitting information, different types of industrial obstacles are considered: noise barrier, noise interference in part of the band, and response obstacle, the models of which represent a band-limited additive white Gaussian noise. In conditions of industrial obstacles, OFDM system subchannels are used for transmitting one packet of information. If industrial obstacles are absent or their level corresponds to the established levels, one subchannel is used to transmit one packet of information. When a noise barrier affects a wireless network, the power spectral density of the industrial obstacle is taken into account, as well as the part of the frequency band where the obstacle is present. The spread spectrum coefficient characterizes the degree of increase in the signal-to-noise ratio of industrial interference as a result of the convolution of the expanded frequency band of the radio signal and its reduction to the frequency band of the information signal.

When expanding the spectrum using codes formed using Rademacher functions, the spectrum expansion coefficient in the hybrid scheme equals the product of the spectrum expansion coefficients obtained separately for each method. Thus, the average probability of a bit decoding error when using Reed-Solomon codes is determined by an analytical expression, which takes into account the bit sequence of the code symbol, the number of error bits in the symbol that the code can correct, the average bit error probability for different types of modulations with different industrial noise, which is calculated for a specific noise situation.

**The third chapter** discusses interpolation methods in environmental control systems of landfills. The detection of pollutants created by landfills has been carried out

under conditions of the sufficient or excessive density of measurements and representation of landfill territories using spline approximation. The locally defined cubic spline method is applied to describe landfills based on pollution data measured by technical means at the necessary density of measurements.

For the construction of landfill maps, a bicubic spline was also used, and for the correction of pollution data, a method of local interpolation using the results of aerial photography was applied. A number of other approaches based on the use of interpolation methods in the processing of monitoring data were considered in the study, including adaptive grids and triangulation in the presence of a widely branched network of stationary sensors connected to communication channels. If there is information about the direction of the wind at the time of pollution formation, the indicator takes the form of an ellipse. Such a configuration is explained by the fact that the gradient value at an equal distance from the source of pollution is more significant in the cross-section of the trace than in the longitudinal one. This implies that the correlation links between sections of the random process are preserved at a greater distance in the longitudinal direction of the trace than in the cross-sectional one.

The technique of restoring the monitoring field based on the method of optimal linear interpolation at landfills is currently the most promising for use in computer programs but requires further development in terms of developing a method for constructing boundaries separating the monitoring fields by the sample of measurements and refining the type of correlation and weight functions of the monitoring field.

To solve the tasks set in the territory of the Ternopil region, an observation network was laid out, which mostly evenly covers the entire landfill - 108 geo-ecological observation points where samples were taken for different types of analyses. The main determining factor for "tying" the landfill to this or that point on the map and the locality was the presence of different-order landscape units, which depended on soil types, relief, lithogenic basis, surface watercourses, and groundwater contours. It was necessary to cover all these features in such a way that approximately five geo-ecological points were

located on each unit of the populated area where landfills are located. It was found that spontaneous landfills are mainly located in the places of riverbeds and streams flowing through the territory of communities.

Based on the available research data, it was established that the condition of surface and groundwater in the study areas of the Ternopil region is mostly satisfactory. Only in some observation points was a local technogenic impact on the groundwater horizon detected, particularly in the area of sample collection near the landfill of the city of Ternopil.

## Список публікацій здобувача за темою дисертації

## I. Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

## Статті у наукових фахових виданнях України

1. Триснюк В. М., Нагорний Є. І., Триснюк Т. В., Конецька О. О., Курило А. В.. Методика виявлення радіаційного забруднення місцевості та його ризиків. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Випуск 3(69) 2022 С. 112-115. ISSN 2073-7394.  
[http://reposit.nupp.edu.ua/bitstream/PoltNTU/10777/1/Dmytrenko\\_Derkach.pdf](http://reposit.nupp.edu.ua/bitstream/PoltNTU/10777/1/Dmytrenko_Derkach.pdf)
2. Голован Ю., Курило А. Інформаційні технології комплексного моніторингу довкілля на основі даних аерокосмічних і наземних досліджень. Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка», Випуск 1 (17), 2022 ст. 187–197. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2022.17.187197>
3. Триснюк В. М., Триснюк Т. В., Курило А. В., Голован Ю. М., Пашенко Є. Ю. Системний аналіз інформаційно-аналітичного забезпечення органів адміністративного управління. Сучасні інформаційні системи. Науковий журнал. Том 6, №2. Харків 2022. с. 37-41. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2022.2.07>
4. Триснюк В. М., Шумейко В. О., Кащишин О. В., Курило А. В., Сметанін К. В. Моніторинг використання та екологічного стану земель за допомогою безпілотних літальних апаратів. Сучасні інформаційні системи. Науковий-технічний журнал. Том 2, №4. Харків 2018. с. 124-127. ISSN 2522-9052.  
[http://library.kpi.kharkov.ua/files/documents/sys\\_2018\\_4.pdf](http://library.kpi.kharkov.ua/files/documents/sys_2018_4.pdf)
5. Триснюк В. М., Шумейко В. О., Триснюк Т. В., Курило А. В., Голован Ю. М., Мирончук В. В. Екологічна безпека Карпатського регіону в умовах техногенного пилового забруднення атмосферного повітря. Системи управління,

навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Випуск 1(59) 2020. С. 127-131. ISSN 2073-7394/

**DOI:** <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2020.1.127>  
<http://journals.nupp.edu.ua/sunz/article/view/1796>

6. Триснюк В. М., Сметанін К. В., Триснюк Т. В., Курило А. В. Удосконалення системи екологічного моніторингу сміттєзвалищ із застосуванням дистанційно-пілотованих літальних апаратів. Математичне моделювання в економіці. Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору. Міжнародний науковий журнал. № 1 (18), січень-березень 2020 р. с.19-26.  
<https://dntb.gov.ua/wp-content/uploads/2018/10/%D0%92%D1%96%D0%B4%D1%85%D0%BE%D0%B4%D0%B8-%D0%86%D0%BA%D0%B2.2021.pdf>

#### Монографії

7. Триснюк В. М., Павлишин А. В., Курило А. В. Аеро геолокаційний екологічний контроль. Monografia rok konferencyjna science, research, development #32. Zbiór artykułów naukowych recenzowanych. (30.08.2020) - Warszawa, 2020. С. 46-47. ISBN: 978-83-66401-65-5. [http://xn--e1aajfp cds8ay4h.com.ua/files/104\\_01\\_ix\\_2020s\(1\).pdf](http://xn--e1aajfp cds8ay4h.com.ua/files/104_01_ix_2020s(1).pdf)

8. Павлишин А. В., Триснюк В. М., Курило А. В., Голован Ю. М. Комплекс наносенсорної діагностики ірратантних гвзів. Monografia rok konferencyjna science, research, development #27. Zbiór artykułów naukowych recenzowanych. (30.03.2020) - Warszawa, 2020. С. 65-67. ISBN: 978-83-66401-41-9. [http://xn--e1aajfp cds8ay4h.com.ua/files/01\\_iv\\_2020\\_s.pdf](http://xn--e1aajfp cds8ay4h.com.ua/files/01_iv_2020_s.pdf)

Статті у виданнях, індексованих у наукометричних базах

9. Trysnyuk V., Trysnyuk T., Nikitin A., Kurylo A., Demydenko O. Geomodels of space monitoring of water bodies. ICSF 2021. E3S Web of Conferences 280, 09016 (2021). Scopus. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128009016> [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/56/e3sconf\\_icsf2021\\_09016.pdf](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/56/e3sconf_icsf2021_09016.pdf)

10. Trysnyuk V., Prystupa V., Trysnyuk T., Vasylenko V., Kurylo A. [17603] Comprehensive environmental monitoring based on aerospace and ground research data. XIX th International Conference “Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects”. Geoinformatics 2020. 11-14 May 2020, Kyiv, Ukraine. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo066>  
<https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.2020geo066>

11. Trysnyuk V., Okhariev V., Trysnyuk T., Zorina O., Kurylo A., Radlowska C.. [15966]. Improving the algorithm of satellite images landscape interpretation. 18th International Conference Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, Extended Abstracts. 13-16 May 2019. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902084> <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.201902084>

II. Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

12. Курило А. В. Створення регіональної системи комплексного моніторингу сміттєзвалищ. Колективна монографія XXI Міжнародна науково – практична конференція. Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток. Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національна академія наук України. 14-16 листопада 2022. с. 166-167. [https://itgip.org/wp-content/uploads/2022/11/tezy\\_56.pdf](https://itgip.org/wp-content/uploads/2022/11/tezy_56.pdf)

13. Триснюк В. М., Шумейко В. О., Триснюк Т. В., Охарєв В. О., Курило А. В., Волинець Т. В. Екологічні дослідження озер Шацької групи. Колективна монографія за матеріалами ХХ Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 4-8 жовтня 2021 р.) / За заг. ред. Довгого С. О. - К: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2021. с. 195-197. ISBN 978-617-7854-58-5.

14. Триснюк В. М., Курило А. В., Охарєв В. О., Шумейко В. О., Триснюк Т. В., Сметанін К. В., Нагорний Є. І., Хабова Н. В., Зотова Л. В. Екологічна оцінка впливу сміттєзвалищ на стан поверхневих та підземних вод на основі даних ДЗЗ. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: Колективна монографія: ХІХ Міжнародна науково-практична конференція. Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАНУ. Київ. 06-07 жовтня 2020 р. – С 74-78.

15. Триснюк В. М., Шумейко В. О., Триснюк Т. В., Курило А. В., Голован Ю. М.. Оцінка екологічного ризику на території України. ІІІ Міжнародна науково-практична конференція «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку» 22-23 жовтня 2020, м. Херсон, Україна. С. 922-925. <http://www.ksau.kherson.ua/files/konferencii/20201209/%>

16. Курило А. В., Атрасевич О. В. Оцінка впливу несанкціонованих сміттєзвалищ на підземну та поверхневу гідросферу на основі даних ДЗЗ. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: Колективна монографія: ХVІІІ Міжнародна науково-практична конференція. Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАНУ. Київ. 01-02 жовтня 2019 р. – С 169-170. [https://itgip.org/wp-content/uploads/2019/10/1\\_](https://itgip.org/wp-content/uploads/2019/10/1_)

17. Триснюк В. М., Триснюк Т. В., Голован Ю. М., Курило А. В. Система регіональної екологічної безпеки та її екологічна стійкість. “VІІ Всеукраїнський

з'їзд екологів з міжнародною участю". Вінниця, 25-27 вересня 2019 р. С.118-119. [https://ineek.vntu.edu.ua/images/stories/2019/7zizd/7vze\\_2019.pdf](https://ineek.vntu.edu.ua/images/stories/2019/7zizd/7vze_2019.pdf)

18. Триснюк В. М., Шумейко В. О., Триснюк Т. В., Курило А. В., Голован Ю. В. ДЗЗ-ГІС технології при виявленні деградаційних процесів ґрунту. Сучасні технології землеустрою, кадастру та управління земельними ресурсами. Національний авіаційний університет. V Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених. Київ, 14-15 березня 2019 р. С. 71-73.

19. Триснюк В. М., Голован Ю. М., Курило А. В. Підвищення рівня екологічної безпеки об'єктів природно-заповідного фонду. Інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: Колективна монографія: XVII Міжнародна науково-практична конференція. Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАНУ. Київ. 25-26 вересня 2018 р. – С 213-214. <https://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/30123/1/Struzhak%202018.pdf>

20. К. Сметанін, А. Курило, Ю. Голован. ГІС-аналіз апарату нечітких множин при військових діях. V Міжнародна науково-технічна конференція. Інформаційні моделі, системи та технології. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. 1-2 лютого 2018р. с. 53.

[https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/23885/2/V-STC-IMST\\_2018\\_Smetanin\\_K-GIS\\_analysis\\_of\\_uncertainted\\_53.pdf](https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/23885/2/V-STC-IMST_2018_Smetanin_K-GIS_analysis_of_uncertainted_53.pdf)

### III. Наукові праці, які додатково відображають результати дисертації

21. Машков О. А.; Триснюк В. М.; Мамчур Ю. В.; Жукаускас С. В.; Нігородова С. А.; Курило А. В. Новий підхід до синтезу відновлюючого керування для дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного моніторингу.



Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: наук.- техн. журн. - Івано-Франківськ : Симфонія форте. - 2019. № 1. (19) 2019. с. – 69-77.

<http://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/7379>

<http://elar.nung.edu.ua/bitstream/123456789/7379/4/7183p.pdf>

#### Патенти на корисну модель.

22. Патент на корисну модель 145351. Комплекс діагностики іритантних газів НСНО та  $\text{CH}_3\text{-CO-CH}_3$  на основі наносенсорів  $\text{NiO-SnO}_2$  і  $\text{BaOFe}_2\text{O}_3$  в місцях зберігання та утилізації відходів. / Павлишин А. В., Триснюк В. М., Курило А. В., Голован Ю. М. // 10.12.2020р. <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=272864>

## ЗМІСТ

|          |   |    |
|----------|---|----|
|          | ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....  | 21 |
|          | ВСТУП.....  | 22 |
| РОЗДІЛ 1 | АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО<br>МОНІТОРИНГУ СМІТТЄЗВАЛИЩ.....  | 28 |
| 1.1      | Адаптивне управління для системи моніторингу<br>смiттєзвалищами.....  | 28 |
| 1.1.1    | Модель адаптивного управління моніторинговими системами.....  | 28 |
| 1.1.2    | Інформаційні системи моніторингу смiттєзвалищ та стану<br>довкiлля.....   | 29 |
| 1.2      | Сучасні проблеми використання інформаційних ресурсів за<br>станом смiттєзвалищ.....                                 | 31 |
| 1.2.1    | Інструментальні засоби для моніторингу смiттєзвалищ.....  | 31 |
| 1.2.2    | Інформаційна структура системи моніторингу .....  | 33 |
| 1.2.3    | Забезпечення достовірності інформації під час моніторингових<br>досліджень.....                                     | 36 |
| 1.3      | Сучасні системи комп'ютерної математики для вирішення задач<br>моніторингу та управління системами.....             | 38 |
|          | Висновки до розділу 1.....  | 40 |
| РОЗДІЛ 2 | МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ДОСТОВІРНОСТІ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ<br>ДЛЯ ІНТЕГРОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ТА МОНІТОРИНГУ<br>СМІТТЄЗВАЛИЩ..... | 41 |
| 2.1      | Комплексна модель достовірності передачі екологічної<br>інформації.....   | 41 |
| 2.2      | Аналіз системи спостереження з використанням безпілотних<br>літальних апаратів.....                                 | 47 |

|          |  |    |
|----------|--|----|
| 2.3      | Дослідження особливостей передачі інформації в системах моніторингу сміттєзвалищ з погляду завадостійкості.....    | 51 |
| 2.3.1    | Оцінка достовірності передачі інформації в умовах впливу перешкод.....   | 51 |
| 2.3.2    | Коефіцієнт розширення спектра інформаційного сигналу.....  | 55 |
| 2.3.3    | Аналітичні залежності при впливі шумової загороджувальної перешкоди.....   | 59 |
|          | Висновки до розділу 2.....   | 61 |
| РОЗДІЛ 3 | ПОБУДОВА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ<br>МОНІТОРИНГУ СМІТТЕЗВАЛИЩ НА ОСНОВІ<br>ТЕРИТОРІАЛЬНО РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ МЕРЕЖ..... | 63 |
| 3.1      | Інтерполяційні методи в системах контролю екологічної обстановки сміттєзвалищ.....                                 | 63 |
| 3.1.1    | Використання методів інтерполяції для обробки даних моніторингових досліджень сміттєзвалищ.....                    | 63 |
| 3.1.2    | Використання методу лінійної оптимальної інтерполяції для обробки даних моніторингу.....                           | 71 |
| 3.2      | Інтеграція інформаційних ресурсів для моделювання та прогнозування впливу сміттєзвалищ.....                        | 75 |
| 3.2.1    | Геоінформаційні дослідження ґрунтів.....   | 75 |
| 3.2.2    | Структурні характеристики забруднень у ґрунтах сміттєзвалищ...   | 77 |
| 3.2.3    | Критеріальні характеристики оцінки забруднення ґрунтів і донних відкладів.....                                     | 79 |
| 3.2.4    | Оцінка забруднення поверхневих та підземних вод.....   | 81 |
| 3.2.5    | Комплексна діагностика іритантних газів у місцях зберігання та утилізації відходів.....                            | 83 |
|          | Висновки до розділу 3.....   | 89 |

|          |  |                      |        |     |
|----------|--|----------------------|--------|-----|
| РОЗДІЛ 4 | УДОСКОНАЛЕННЯ  | КОМПЛЕКСНОЇ          | ОЦІНКИ |     |
|          | ІНТЕГРОВАНОГО УПРАВЛІННЯ   | СМІТТЄЗВАЛИЩАМИ..... |        | 91  |
| 4.1      | Алгоритм визначення фонового показника екологічної безпеки...  |                      |        | 91  |
| 4.2      | Алгоритм методу кодування та передачі інформації у системах екологічного моніторингу сміттєзвалищ..... |                      |        | 95  |
| 4.3      | Технології забезпечення передачі екологічної інформації.....   |                      |        | 101 |
| 4.4      | Створення регіональної системи комплексного моніторингу сміттєзвалищ.....                              |                      |        | 105 |
|          | Висновки до розділу 4.....   |                      |        | 109 |
|          | Висновки.....  |                      |        | 111 |
|          | СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....   |                      |        | 113 |
|          | ДОДАТОК А Акт впровадження.....  |                      |        | 128 |
|          | ДОДАТОК Б Акти впровадження.....   |                      |        | 129 |
|          | ДОДАТОК В Акти впровадження.....   |                      |        | 130 |
|          | ДОДАТОК Г Протоколи випробувань поверхневих водойм та ґрунту.....                                      |                      |        | 131 |
|          | ДОДАТОК Д Патент на корисну модель № 145351 від 10.12.2020 р.....                                      |                      |        | 133 |

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

GSM – Global System for Mobile (глобальний стандарт мобільного зв'язку)

ISDN – Integrated Services Digital Network (цифрова мережа з інтегрованими службами)

ГІС – геоінформаційна система

ПЗ – програмне забезпечення

LTE – Long Term Evolution (стандарт довготермінової еволюції)

OFDM – Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (ортогонально-частотне мультиплексування)

БПЛА – безпілотний літальний апарат

ВМ – відомча мережа

ДЗЗ – дистанційне зондування Землі

ПД – сигнал передачі даних (цифровий сигнал)

СЗВ – система зовнішніх впливів

GPRS – General Packet Radio Service (пакетна передача даних загального призначення)

MAP – Maximum a posteriori probabilities (максимум апостеріорної ймовірності)

СКК – сигнально-кодові конструкції

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач

ШПС – шумоподібний сигнал

ШПФ – швидке перетворення Фур'є

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Інформаційні технології дають змогу отримати надзвичайно потужні засоби для моніторингу та управління сміттєзвалищами та забезпечують становлення принципів і методів цифрового моделювання об'єктів у вигляді геопросторових даних.

Актуальним на сьогодні є вдосконалення інформаційних технологій під час моніторингу сміттєзвалищ, забруднення навколишнього середовища, що створює загрозу здоров'ю населення та визначення алгоритмів і програм для створення необхідних моделей забезпечення передачі інформації для адаптивного управління нею.

Проведення якісного та своєчасного екологічного моніторингу сміттєзвалищ здійснюється за допомогою дистанційного зондування поверхності Землі за допомогою космічних апаратів та використанням БПЛА застосовуючи вдосконалений підхід, що включає: на першому етапі виділення району спостереження, на другому – здійснення необхідного підбору бортового обладнання БПЛА, яке дозволить просторово виявити та визначити детальні розміри зон ураження з урахуванням висотного профілю атмосферної зони, на третьому – здійснити передачу інформації з БПЛА.

При розгляді етапів важливими проблемами є дослідження захищеності передачі інформації у системах моніторингу сміттєзвалищ з погляду завадостійкості, а також оцінка достовірності передачі інформації в умовах впливу перешкод.

Розглядаються наступні види промислових перешкод: шумова загороджувальна перешкода, шумова перешкода в частині смуги та перешкода у відповідь, де джерелом впливу є сміттєзвалище і модель представлена адитивним білим гаусівським шумом.

Існує потреба в комплексній оцінці природно-техногенної системи, в якій джерелом впливу є сміттєзвалище.

Актуальність окреслених вище проблем стала основою дисертаційного дослідження, визначили мету та завдання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій доводить, що питаннями геоінформаційних технологій моніторингу та адаптивного управління сміттєзвалищами займалися вчені: Трофимчук О. М., Адаменко Я. О., Азімов О. Т., Горбулін В. П., Зайцев С. В., Рудько Г. І., Яковлев Є.О., Калюх Ю.І. та інші.

Заходи щодо підвищення рівня екологічної безпеки прилеглих до сміттєзвалищ територій, мають бути спрямовані на вибір таких методів, способів і технологій утилізації та переробки відходів, які б не створювали небезпеки для довкілля.

**Метою дисертаційної роботи** є вдосконалення та розробка методів та моделей для моніторингу та управління сміттєзвалищами на основі геоінформаційних технологій територіально розосереджених мереж.

**Об'єкт дослідження** – процес створення інструментів та моделей для моніторингу та адаптивного управління сміттєзвалищами територіально розосереджених мереж.

**Предмет дослідження** – фактори формування природно-техногенної геосистеми із структурним ядром сміттєзвалище.

Науково-прикладна задача розроблення теоретичних і прикладних засад побудови інформаційних технологій комплексної оцінці природно-техногенної системи, в якій джерелом впливу є сміттєзвалище та оцінку достовірності передачі інформації з БПЛА в умовах впливу промислових перешкод для управління та моніторингу сміттєзвалищами територіальних громад.

Для досягнення мети були поставлені наступні **завдання**:

- удосконалити існуючі методичні підходи та методи контролю за станом довкілля в природно-техногенній системі із структурним елементом сміттєзвалище;

- дослідити оцінку достовірності передачі інформації з БПЛА в умовах впливу промислових перешкод для управління та моніторингу сміттєзвалищ;
- створити картографічну модель сміттєзвалищ та місць несанкціонованого складування відходів територіальних громад на території, яка досліджувалася;
- розробити математичні моделі та побудувати моделі прогнозу оцінок впливу сміттєзвалищ територіальних громад на компоненти навколишнього середовища;
- розробити концептуальну схему системи контролю поводження з відходами територіально розосереджених мереж.

**Методи досліджень.** В дослідженнях використано теоретичні та практичні експериментальні методи, методи математичної статистики, методи ДЗЗ-ГІС технологій. Для вирішення задач структурування інформаційних потоків застосовано метод структурного та параметричного аналізу.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Наукові результати дисертації отримані в межах програми науково-дослідних робіт на базі Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України та реалізовані у тематиках: «Розробка обчислювальних технологій та методів моделювання для дослідження нестаціонарних процесів.» (2016-2020 рр., № РК 0116U000793 державної реєстрації); «Розробка та аналіз засобів теоретико-ігрового моделювання стратегій збалансованого технологічного розвитку територій» (2016-2020 рр., № РК 0116U000796 державної реєстрації); в межах науково-дослідної роботи «Дослідження асиміляційного потенціалу поверхневих вод, геологічного середовища та приземної атмосфери в умовах техногенезу» (№ ДР 0113U004982)., Закону України «Про основні засади (стратегію) державної економічної політики України на період до 2030 р.», програми Європейської «Зеленої угоди».



**Наукова новизна одержаних результатів:**

- вперше розроблено картографічну модель сміттєзвалищ та місць несанкціонованого складування відходів територіальних громад з використання БПЛА, де враховується бортове обладнання та маршрутизація їхнього руху;

- розроблено математичні моделі та побудовано моделі прогнозу оцінок впливу сміттєзвалищ територіальних громад на компоненти навколишнього середовища (грунти, водні ресурси, рослинність), що забезпечує обробку інформації, передачу даних в інформаційно-керуючу систему, враховувати апріорну інформацію про структуру поля, джерела забруднення і метеообстановку у момент його формування;

- розроблено концептуальну схему системи контролю поведінки з відходами територіально розосереджених мереж;

- досліджено оцінку достовірності передачі інформації в умовах впливу перешкод для управління та моніторингу сміттєзвалищ за рахунок параметричної адаптації кодових конструкцій, що забезпечує значення достовірності передачі інформації шум/ сигнал (ШС) на 0.3 дБ і залежить від розміру блоку передачі даних;

- удосконалено існуючі методичні підходи та методи контролю за станом довкілля в природно-техногенній системі із структурним елементом сміттєзвалище;

**Практичне значення одержаних результатів.** Практичне значення отриманих результатів полягає у розробленні та удосконаленні нових інформаційних технологій передачі даних для адаптивного управління і моніторингу сміттєзвалищ за рахунок багаторівневої параметричної адаптації кодових конструкцій. Різні типи обґрунтувань мають свої унікальні характеристики та здатність підтримувати різноманітні екосистеми. Наявність певних типів обґрунтувань може бути критерієм для вибору полігону. Це може бути, наприклад, точність визначення параметрів довкілля, час реагування на виявлені аномалії, покриття моніторингу території тощо.

Впровадження результатів роботи дали можливість:

- підвищити достовірність одержаної інформації при передачі даних в умовах апіорної невизначеності та комплексному моніторингу природно-техногенної системи із структурним елементом сміттєзвалище, де результати дисертаційної роботи інтегровані у навчальний процес на кафедрі інформаційних технологій, штучного інтелекту та кібербезпеки «Національного університету харчових технологій» (Додаток А);

- результати дисертаційної роботи використовуються у навчальному процесі при підвищенні кваліфікації у Національному органі стандартизації «Українському науково дослідному і навчальному центрі проблем стандартизації, сертифікації і якості» (Додаток Б);

- удосконалення оцінки достовірності інформації в умовах промислових завод інтегровані у навчальний процес Національного університету «Києво–Могилянська академія», при викладанні дисципліни «Зелена логістика» та при проведенні магістерських та бакалаврських досліджень по спеціальності «Екологія». (Додаток В).

Особистий внесок дисертанта полягає в теоретичних та практичних дослідженнях, ситематизації роботи та узагальненні результатів, одержанні патента на винахід.

**Апробація матеріалів дисертації.** Одержані результати наукового дослідження були представлені та обговорені на міжнародних конференціях: XVII, XVIII, IX, XX, XXI Міжнародна науково-практична конференція Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАНУ (м. Київ, Україна, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022); Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми екологічної безпеки» (м. Кременчук, Україна, 2018), The 2<sup>nd</sup> JESSD Symposium (School of Environmental Science, Друга міжнародна науково-практична конференція «Екологія. Ресурси. Енергія» (Київ, 2021).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 21 наукову роботу. З них 6 – у наукових фахових виданнях, 2 колективні монографії, 3 статті у наукометричній базі «SCOPUS», 10 тез доповідей у наукових конференціях та 1 патент на корисну модель.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 122 найменувань, додатків; містить 26 рисунків і 7 таблиць. Загальний обсяг роботи становить 133 сторінки, серед яких 112 сторінок основного тексту.

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

### ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ СМІТТЄЗВАЛИЩ

Актуальність розглянутої проблематики визначає загальні заходи у сфері інформаційних систем для моніторингу сміттєзвалищ у цілому та спеціальні заходи для безпровідної передачі інформації з метою створення безпечних умов для життя населення. Розглянуто сутність адаптивного управління, яке полягає у виявленні кризових ситуацій функціонування сміттєзвалищ територіально розосереджених мереж. Розроблено структурну систему моніторингу довкілля, яка враховує дані спостережень, інформаційний ресурс території досліджень, структуру та склад спостережень, допустимі навантаження на територію досліджень, інтегровані показники території та об'єктів досліджень. Розглянуто математичний опис моделі, який характеризує залежність вихідних характеристик системи від вхідної інформації та представлено диференціальні та інтегральні рівняння, рекурентні та алгебраїчні відношення. Розглянуто передачу одного пакету інформації в умовах впливу промислових перешкод.

#### **1.1 Адаптивне управління для системи моніторингу сміттєзвалищами**

##### **1.1.1 Модель адаптивного управління моніторинговими системами**

Адаптивна модель моніторинговими системами за станом сміттєзвалищ характеризується двома складовими: адаптивна система планування і адаптивна система регулювання складових стану сміттєзвалищ територіально розосереджених мереж. Імітаційна модель в моніторинговому процесі формує внутрішній (імітаційний) адаптер та зовнішній (об'єктний) адаптер. Вона включає

організаційно-технічні механізми і принципи формування стратегії розвитку територіальних сміттєзвалищ [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Під адаптивним управлінням за станом сміттєзвалищ, розуміємо здатність системи здійснювати інформативні зміни за станом середовища [7, 8]. В моніторингових дослідженнях визначаємо зміни кількісних та якісних характеристик системи, а також її структуру. При зміні зовнішнього середовища відбувається трансформація системи. Згідно Мескону М. Х. [9, 10, 11], сутність адаптивного управління полягає в постійній зміні зовнішніх умов і внутрішнього середовища функціонування в територіальних системах та систематично призводять їх до виявлення кризових ситуацій. До основних елементів адаптивного управління сміттєзвалищами віднесемо оцінку адаптаційної можливості, і адаптаційні можливості розвитку. [12, 13, 14].

У загальному вигляді, для впровадження адаптивної моделі системи управління сміттєзвалищами необхідно:

- впроваджувати сучасні інформаційні технології;
- вдосконалити стратегічний менеджмент;
- запровадити нові характеристики процесу організації системи управління на стаціонарних сміттєзвалищах.

Відправною точкою в оцінці адаптаційного потенціалу сміттєзвалищ є виробничо-технологічна єдність, організаційна єдність, економічна єдність і соціальна єдність. [15, 16].

### **1.1.2 Інформаційні системи моніторингу сміттєзвалищ та стану довкілля**

Система моніторингу в інформаційному плані повинна забезпечити виявлення інформаційних потоків і покращити спостереження за станом сміттєзвалищ з врахуванням забруднень від потенційно небезпечних об'єктів.

Моніторинг сміттєзвалищ у сучасних аспектах розглядається як аналітично-інформаційна система, яка охоплює такі основні напрями:

- 1) спостереження за станом сміттєзвалищ;
- 2) оцінювання та аналіз стану сміттєзвалищ;
- 3) прогнозування стану сміттєзвалищ та прилеглих територій
- 4) інформаційної підтримки прийняття управлінських рішень.



Рисунок 1.1. Найбільші полігони побутових відходів в Україні

Найбільші сміттєзвалища України наведено на рис. 1.1. За підрахунками екологів, станом на 01.01.2018 року, Україна накопичила 54 млн. м<sup>3</sup> відходів. Полігони нагромадження сміття щорічно поповнюються приблизно на 15-17 мільйонів тон. І лише десята частина зібраного сміття переробляється. Органічна речовина, яка міститься у твердих побутових відходах (ТПВ) утворює складний за хімічним складом фільтрат. Проникнення фільтрату у підземні води спричиняє забруднення, яке поширюється на значні відстані від полігона твердих побутових відходів. Згідно статистичних даних, кожна людина в середньому за одну добу створює від 2 до 3 кг відходів. Питомі показники утворення твердих побутових відходів для України в середньому складають 250 кг/рік на людину. Маса потоку побутових відходів в світі становить щорічно близько 400 мільйонів тонн, з яких

80% знищується на полігонах. В Україні цей показник становить понад 13 мільйонів тонн ТПВ, з яких 95 % потрапляють на сміттєзвалища.

На території Тернопільської області станом на 01.01.2021 р. налічується 26 місць складування відходів загальною площею 255,56 га, з них тільки 7 полігонів ТПВ площею 143,7 га мають відповідну проектну та дозвільну документацію.

Заснована на положеннях законодавчо-нормативної бази державна система моніторингу стану сміттєзвалищ повинна функціонувати на трьох рівнях – державному, регіональному та локальному.

## **1.2. Сучасні проблеми використання інформаційних ресурсів за станом сміттєзвалищ**

### **1.2.1. Інструментальні засоби для моніторингу сміттєзвалищ**

Розробка наукових засад та інструментальних засобів для моніторингу сміттєзвалищ відповідає Додатку ХХХ «Угоди про асоціацію між Україною та ЄС», який у повному обсязі вступив у силу з 1 листопада 2014 р.

Результати дисертаційного дослідження сприятимуть міжнародній співпраці України у галузі інформаційних технологій та екологічним дослідженням стану довкілля у відповідність до європейських і світових вимог [17, 18, 19].

У сучасних моделях екологічної безпеки регіону недостатньо визначені фактори екологічно-безпечного розвитку геосистем та не обґрунтовані їхні нормативи освоєння, які б забезпечували збереження цілісності, природності, здатності до саморегулювання і самовідновлення.

На сучасному етапі технологічного прогресу, техногенне забруднення території, яке супроводжується викидами великої кількості механічних, біологічних, фізико-хімічних, енергетичних та інших матеріальних речовин і матеріалів від промислових об'єктів загострює питання необхідності визначення

антропогенного впливу на довкілля. Все це призводить до погіршення умов місця існування, а також до негативних змін певної території. Тому виникає необхідність вдосконалювати інформаційні системи екологічного моніторингу території, а також контроль і оцінку стану довкілля.

У ході аналітичного огляду джерел [20, 21, 22, 23] була вивчена система екологічного моніторингу територій, яка показала, що незалежно від складності ландшафту і підстилаючої поверхні, в процесі первинного збору даних про стан довкілля, можна виділити основні елементи системи моніторингу, які є взаємопов'язаними і формують єдиний моніторинговий комплекс.

Закони України та міжнародні договори, ратифіковані Верховною Радою України, відіграють ключову роль у вирішенні питань, яке досліджувалось. Вони, згідно статті 9 Конституції України, є інтегральною частиною національного законодавства України.

До вищевказаних актів відносяться:

- Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25 червня 1991 року, N 1264-XII [24];
- Закон України «Про відходи» [25] (Постанова ВР № 187/98-ВР);
- Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» від 24 лютого 1994 року, № 4004-XII [26];
- Водний кодекс України, введений в дію Постановою Верховної Ради України від 06 червня 1995 року, № 214/95-ВР [27];
- Земельний кодекс України, введений в дію Постановою Верховної Ради України від 18 грудня 1990 року, № 562-XII [28];
- Лісовий кодекс України, введений в дію Постановою Верховної Ради України від 21 січня 1994 року, № 3853-XI [29];
- Кодекс України про надра, введений в дію Постановою Верховної Ради України від 27.07.1994 року № 133/94-ВР [30];



- Закон України «Про поводження з радіоактивними відходами» введений в дію Постановою Верховної Ради України від 30 червня 1995 року, № 255/95-ВР [31];
- Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» від 23.05.2017 Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 29, ст.315 [32];
- Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України "Про затвердження інструкції про зміст і складання паспортів МВВ" від 14.01.1999 р. № 12 [33];
- Постанова Кабінету Міністрів України "Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля" від 30 березня 1998 року, № 391 [34].

### **1.2.2. Інформаційна структура системи моніторингу**

Екологічний моніторинг стану сміттєзвалищ включає в себе ряд підсистем, які допомагають відстежувати та управляти різними аспектами цих об'єктів.

Нижче наведені приклади таких підсистем:

1. Підсистема моніторингу якості повітря – включає відстеження рівнів шкідливих викидів, таких як метан та інші гази, що виходять зі сміттєзвалищ.
2. Підсистема моніторингу якості води – оцінює потенційний вплив сміттєзвалищ на прилеглі водні джерела через стічні води або просочування.
3. Підсистема моніторингу ґрунту – оцінка впливу сміттєзвалищ на якість ґрунту, зокрема на вміст тяжких металів, хімічних речовин та інших шкідливих забруднювачів.
4. Підсистема біологічного моніторингу – аналіз впливу сміттєзвалищ на місцеву флору та фауну.
5. Підсистема моніторингу відходів – кількісна та якісна оцінка відходів, що надходять на сміттєзвалище, включаючи аналіз їх складу.

6. Підсистема моніторингу геотехнічних умов – включає відстеження стабільності ґрунту, оцінку ризиків обвалу та інших потенційних небезпек.

7. Підсистема геофізичного моніторингу – включає вивчення та аналіз земних матеріалів та процесів на предмет забруднення.

Всі вищевказані підсистеми мають працювати разом, щоб надати повну картину стану сміттєзвалища та його впливу на довкілля для системи екологічного моніторингу стану сміттєзвалищ. Однак, підсистеми екологічного моніторингу розрізняються по об'єктах спостереження та не мають єдиної системи показників, приймати адекватні заходи для моніторингу стану сміттєзвалищ, та створювати на їхній основі комплексні системи екологічного моніторингу.

Інформація про стан навколишнього середовища, застосовується для запобігання або усунення негативної екологічної ситуації, наслідків зміни стану навколишнього середовища стану сміттєзвалищ, та розробляти прогнози розвитку, екологічні програми.

У системі екологічного управління виділяємо три підсистеми:

1. Підсистема прийняття рішення (спеціально уповноважений державний орган).

2. Підсистема управління виконанням рішення (адміністрація підприємств, організацій тощо).

3. Підсистема виконання рішення з допомогою різних технічних або інших засобів (спеціальні служби, працівники тощо).

У хорологічному аспекті виділяють системи, локального, регіонального, національного рівнів. Рівень локального моніторингу реалізується в межах невеликих територій (ділянок) тощо.

При об'єднанні систем моніторингу утворюється система моніторингу локального рівня. Подібні системи регіонального моніторингу, адекватно формують оцінку територіального стану досліджуваної території і надають прогнози для їх розвитку.

Регіональний моніторинг об'єднуються в єдину національну або державну мережу моніторингу.

Науково обґрунтований моніторинг стану сміттєзвалищ здійснюється відповідно до Програми моніторингу. Ключовими елементами Програми моніторингу стану сміттєзвалищ являються:

- перелік об'єктів, які перебувають під контролем з їх суворою територіальною прив'язкою за хронологією;
- дані про контроль та параметричні показники організація моніторингу;
- організація моніторингових процесів.

Під час дистанційного спостереження використовуються телеметричні мережі, дані стільникового зв'язку, мобільні додатки. Це підвищує швидкість, оперативність та якість даних.

У класичному розумінні система екологічного моніторингу для оцінки стану території має: комплексну підсистему спостереження, оцінки і прогнозу зміни параметрів довкілля під впливом антропогенних чинників, а також напрацювання рішень для управління процесами з метою зниження антропогенного впливу. На рис. 1.2 представлена схема проведення екологічного моніторингу.

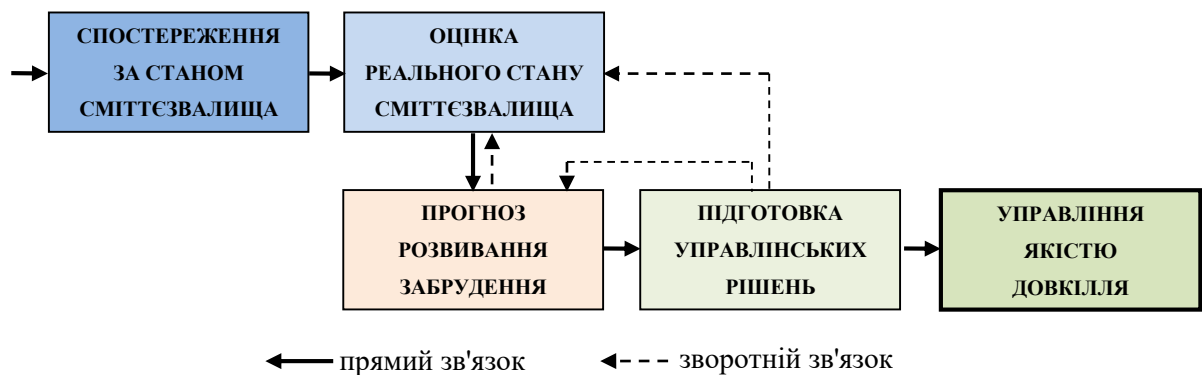


Рисунок 1.2. Структура системи екологічного моніторингу довкілля

Детальніший виклад про етапи проведення досить конкретно викладено в різних наукових джерелах [35, 36, 37, 38, 39, 40], що не складає інтересу подальшого вивчення. Очевидно, що для правильної оцінки стану сміттєзвалищ створюється повноцінна система спостережень та виявляються непередбачувані ситуації, критичні моменти спостережень, щодо тої чи іншої ситуації в компонентах довкілля. При моніторингових процесах за станом сміттєзвалищ виділяємо основні блоки:

«Спостереження за станом сміттєзвалищ»;

«Оцінка реального стану сміттєзвалищ»;

«Оцінка прогнозованого стану»;

«Підтримка прийняття управлінських рішень».

Оцінюючи ці блоки враховуємо дані спостережень, інформаційний ресурс території досліджень, структуру та склад спостережень, допустимі навантаження на територію досліджень, інтегровані показники території та об'єктів досліджень. Важливим елементом є визначення негативних наслідків та ризиків для досліджуваної та прилеглих територій і для збереження довкілля та здоров'я населення [41, 42, 43, 44, 45].

### **1.2.3. Забезпечення достовірності інформації під час моніторингових досліджень**

В технічних роботах під системою розуміють сукупність елементів, які функціонують в пристрою, який виконує певну поставлену задачу. Повне представлення про характер системи можна отримати спостерігаючи за нею, у такий спосіб виділяючи її певні властивості. У процесі розробки системи постає завдання зробити її оптимальною у певному сенсі. Під цим розуміється розробка такої системи, в процесі роботи якої забезпечується екстремальне (максимальне або мінімальне, у залежності від поставленого завдання).

Процедура оптимізації по критерію оптимальності та вибір методів залежить від властивостей математичної моделі, які піддаються оптимізації.

При оцінці методів оптимізації та ідентифікації інформаційної системи виділимо такі ознаки :

- тип системи;
- властивості моделі.

Під моделлю системи мається на увазі її математичний опис, де представлено інтегральні, диференціальні рівняння та алгебраїчні відношення тощо.

Система може працювати в умовах наявності повної інформації або в умовах, коли інформація носить випадковий, стохастичний характер. В останньому випадку оптимізація виконується в умовах невизначеності, рівні якої можуть бути різними. Можливий варіант, коли є деяка апріорна інформація про найбільш імовірні характеристики сигналів та завад, а також і варіант, коли про вхідну інформацію, про зовнішні впливи, які діють на систему, нічого невідомо. Інформації системи за видовим принципом класифікують: неперервні, дискретні, неперервно-дискретні. У таблиці 1.1 наведено основні характеристики мобільних безпроводових систем.

Таблиця 1.1. Основні характеристики мобільних безпроводових систем

| Покоління/Особливості    | 1G   | 2G   | 3G   | 4G  |
|--------------------------|--|--|--|---|
| Часові рамки             | 1970-1980  | 1990-2001  | 2001-2010  | 2011  |
| Швидкість передачі даних | 2 кБ/с   | 14.4 - 64 кБ/с                                     | 2 МБ/с   | 200 МБ/с - 1 ГБ/с   |
| Технологія               | Аналогова стільникова технологія                         | Цифрова стільникова технологія: пакетні дані       | Цифрова широкопasmугова пакетна передача   | Цифрова широкопasmугова пакетна передача                      |
| Обслуговування           | Аналоговий голосовий сервіс, Немає служби передачі даних | Цифровий голос з більш високою чіткістю, SMS, MMS, | Покращена трансляція аудіо-відео, підтримка відеоконференцій, перегляд веб-сторінок на високій швидкості, IPTV підтримка | Покращена трансляція аудіо-відео, IP-телефонія, мобільне HDTV |

| Покоління/Особливості | 1G   | 2G  | 3G  | 4G   |
|-----------------------|--|---|---|--|
| Мультиплексування     | FDMA   | TDMA, CDMA  | CDMA  | CDMA   |
| Основна мережа        | PSTN   | PSTN  | Пакетна мережа  | Internet                                     |
| Стандарти             | IMTS   | 2.75:EDGE   | 3.75G:HSUPA   | Єдиний уніфікований стандарт LTE, WiMAX      |
| Веб-стандарти         |  | www   | www(IPv4)   | www (IPv4)                                   |
| Недоліки              | Низька ємність, ненадійна переадресація, слабкі голосові посилання | Якість цифрових сигналів залежить від місця розташування та близькості до об'єкта | Необхідно забезпечити більшу пропускну здатність мережі | Розгортається (триває поетапне впровадження) |

### 1.3. Сучасні системи комп'ютерної математики для вирішення задач моніторингу та управління системами

Актуальним є завдання визначення системного підходу використання апробованих алгоритмічних і програмних засобів для створення сучасних моделей управління сміттєзвалищами на основі комп'ютерної математики.

Найбільш вдосконаленими для проведення моделювання оптимізації є системи комп'ютерної математики (СКМ): «Mathematica», «Maple», «Derive», «MathCAD», «MATLAB» [46, 47, 48, 49, 50].

Під моделюванням загалом слід розуміти ітераційний пошуковий процес елементів системи моніторингу сміттєзвалищ, за яких її вихідні параметри (екологічність середовища, рівень екологічної безпеки, стійкість ландшафтів) мають найкращі (відносно вибраної концепції) значення. Постановка задачі оптимізації включає визначення трьох основних елементів: критерію оптимальності, параметрів оптимізації і обмежень.

Критерій оптимальності визначає підходи, за якими порівнюються різні розв'язки і вибирається найкращий серед них. Зазвичай використовується підходи

для визначення найбільшого або найменшого значення параметрів оптимізації, які відображають кількісну міру досягнення мети оптимізації[51,52,53,54].. Параметри оптимізації є незалежними змінними, що визначають умови оптимізації. Вони використовуються для налаштування процесу оптимізації і визначають область значень оптимізаційного ефекту. Обмеження встановлюють область значень, в межах якої проводиться оптимізація. Вони встановлюються для забезпечення виконання певних умов або обмежень, які повинні бути враховані при виборі оптимального розв'язку. Якщо задача оптимізації має одну цільову функцію, то її називають задачею математичного програмування. У випадку, коли є кілька цільових функцій, ми маємо справу з задачею багатокритеріальної оптимізації. Загалом, постановка задачі оптимізації визначає критерій оптимальності, параметри оптимізації та обмеження, що дозволяє вибрати найкращий розв'язок відповідно до вимог та обмежень задачі. Математична постановка задачі оптимізації [55, 56].

$$\begin{cases} f(x_j) \rightarrow \text{opt}(\min, \max) \\ g_i(x_j) \leq b_i \\ d_j \leq x_j \leq D_j \\ i = \overline{1, m}; \\ j = \overline{1, m} \end{cases} \quad (1.1)$$

де  $f(x_j)$  – цільова функція;  $g_i(x_j)$  – обмеження, які інтерпритують залежності між змінними;  $x_j$  – змінні, що набувають значень у діапазоні  $d_j$  та  $D_j$ .

Аналіз останніх років досліджень, як в Україні вцілому, так і в Тернопільській області показав, що до 2018 року була нестабільна ситуація у сфері сортування відходів, що свідчило про можливу загрозу від надлишкового накопичення (на сміттєзвалищах та полігонах відходів побутового та виробничого походження). Аналізуючи акти перевірок останніх років (2018–2022 рр.) помічається тенденція до часткового покращення ситуації роздільного збирання ТПВ у навчальних,

адміністративних, медичних, торгових закладах тощо. Але лишається проблема їх вивезення з області на сміттєпереробні заводи для подальшої рекуперації.

### **Висновки до розділу 1**

1. Проаналізовано інформаційні системи моніторингу за сміттєзвалищами та підвищенням якості контролю за станом довкілля на основі критерію оптимальності та параметрів оптимізації;

2. Результатом здійснення моніторингу за станом сміттєзвалищ на регіональному рівні, мають стати накопичення первинних даних спостереження за станом об'єктів та суб'єктів територіальних громад та запровадження інформаційно-аналітичного центру.

3. Розроблені моделі структурної системи моніторингу загалом повинні включати формалізований ітераційний процес пошуку таких вхідних параметрів елементів системи моніторингу сміттєзвалищ, за котрих її вихідні параметри (екологічність середовища, рівень екологічної безпеки, стійкість ландшафтів) мають найкращі (відносно вибраної концепції) значення.

4. Розглянуто адаптивну модель для системи управління сміттєзвалищами що включає сучасні інформаційні технології, стратегічний менеджмент нові характеристики процесу організації системи управління на стаціонарних сміттєзвалищах.



## РОЗДІЛ 2. МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ДОСТОВІРНОСТІ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ІНТЕГРОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ТА МОНІТОРИНГУ СМІТТЄЗВАЛИЩ

Під час проведення дослідження на основі науково-методичних підходів удосконалено методику екологічного моніторингу із застосуванням БПЛА, яка є основою оперативного виявлення джерел забруднення в ході проведення спостереження за заданою територією.

Запропоновано аналітичну модель оцінювання якості виконання екологічних завдань моніторингу сміттєзвалищ засобами БПЛА, пріоритетом якої є оптимізація параметрів бортового обладнання літального апарата та визначення характеру антропогенного впливу на стан довкілля.

### 2.1. Комплексна модель достовірності передачі екологічної інформації

Для якісного проведення дослідження було проаналізовано кілька видів БПЛА, які відносились до однієї цінової категорії: AUTELEVO II Dual Rugged Bundle 640T V2, DJI Inspire 2 та DJI Mavic 2 Enterprise, характеристики яких вказані у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Технічні характеристики квадрокоптерів.

| Технічні характеристики | AUTELEVO II Dual Rugged Bundle 640T V2   | DJI Inspire 2  | DJI Mavic 2 Enterprise   |
|-------------------------|--|--|--|
| Дальність польоту       | до 25 км                                 | до 20 км   | до 20 км   |
| Макс. час польоту       | 40 хв                                    | 27 хв  | 31 хв  |
| Політний режим          | повернення "додому", обліт по точках GPS | повернення "додому", Follow me (стеження), обліт по точках GPS | повернення "додому", Follow me (стеження), обліт по точках GPS |

| Технічні характеристики | AUTEL EVO II Dual Rugged Bundle 640T V2                  | DJI Inspire 2                                | DJI Mavic 2 Enterprise                             |
|-------------------------|--|--|--|
| Датчики                 | GNSS GPS-модуль / + ГЛОНАСС/, висоти, оптичний, гіроскоп | GPS-модуль, висоти, оптичний, гіроскоп       | GPS-модуль / + ГЛОНАСС/ висоти, оптичний, гіроскоп |
| Частота радіоканалу     | 2.4 та 5.8 GHz   | 2.4 та 5.8 GHz                               | 2.4 та 5.8 GHz                                     |
| Датчики перешкод        | знизу, зверху, з боків, спереду, ззаду                   | знизу, зверху, спереду                       | знизу, зверху, з боків, спереду, ззаду             |
| Цифрове збільшення      | 2-кратний оптичний і 8-кратний цифровий зум              | 2-кратний оптичний і 3-кратний цифровий зум  | 2-кратний оптичний і 3-кратний цифровий зум        |
| Матриця                 | 8к   | 5,2к   | 4к   |
| Тепловізійна камера     | 640x512 пікс 60 к  | -  | -  |
| Матеріал корпусу        | пластик  | вуглецеве волокно/магнієво-алюмінієвий сплав | пластик  |
| Маса                    | 1150 гр.   | 3440 гр.                                     | 905 гр.  |
| Орієнтовна вартість     | 223 000 грн.   | 210 000 грн.                                 | 225 000 грн  |



Рисунок 2.1. Зовнішній вигляд БПЛА  
AUTEL EVO II Dual Rugged Bundle 640T V2

За результатами проведеного аналізу для проведення дослідження був вибраний БПЛА AUTEL EVO II Dual Rugged Bundle 640T V2 (рис. 2.1.), обладнання та технічні характеристики якого (при орієнтовно однаковій вартості БПЛА), максимально підходили для виконання поставлених завдань.

Проблема забруднення сміттєзвалищ людською діяльністю завжди залишається актуальною, і в Україні для контролю цього процесу функціонує мережа підрозділів Державної екологічної інспекції. Оскільки цей контроль вимагає збирання великої кількості даних, ці дані потребують обробки та узагальнення. Процес реєстрації даних є складним, тривалим і може містити помилки та описки. Для покращення надійності зберігання, обробки та подання даних про забруднення навколишнього середовища виникає потреба у створенні спеціальної інформаційної системи. Ця система допоможе автоматизувати процеси збору та обробки даних, зменшити можливість помилок та полегшить представлення інформації. Аналіз проведених моніторингових досліджень сміттєзвалищ територіальних громад досліджуваної території протягом 2018-2022 років показав, що усі варіанти відбору проб (таблиця 2.2., 2.3., ДОДАТОК Г) при моніторингу сміттєзвалищ зведені до відповідної моделі (рис. 2.2., 2.3.).

При відборі проб з ґрунту, відбираємо мінімум одну пробу, а за відбору фонові проби може бути мінімум дві проби: фонові та контрольні [57, 58], а саме:

1. У схемі відбору проб враховуємо кількість виявлених забруднень.
2. Відбір проб включає мінімум одну пробу для заданого шару ґрунту, земельної ділянки.
3. У місцях забруднення обов'язкове виконання відбору об'єднаної проби, а точкові проби відбираються у випадку однорідності ґрунту або відходів в шарі ділянки, яка досліджується.

Таблиця 2.2. Результати відбору та аналізу проб території сміттєзвалищ.

| Назва показника   | Одиниці вимірювання | Результати вимірювання | Оцінка невизначеності вимірювань, $\delta$ | Гранично допустима концентрація за НД* | НД на методи випробувань |
|-------------------|---------------------|------------------------|--|--|--------------------------|
| Показник води, рН | од. рН              | 7,34                   | $\pm 0,05$ рН                              | 6,5-9,0                                | ДСТУ 4077-2001           |

| Назва показника                            | Одиниці вимірювання | Результати вимірювання | Оцінка невизначеності вимірювань, $\delta$ | Гранично допустима концентрація за НД* | НД на методи випробувань |
|--|---------------------|------------------------|--|--|--------------------------|
| Температурний показник                     | °C                  | 17                     | $\pm 0,2$ °C                               | -                                      | МВВ 081/12-0311-06       |
| Завислі речовини                           | мг/дм <sup>3</sup>  | <10                    | $\pm 10$ %                                 | 25                                     | КНД 211.1.4.039-95       |
| Сухий залишок                              | мг/дм <sup>3</sup>  | 219                    | $\pm 10$ %                                 | 1000                                   | МВВ 081/12-0109-03       |
| Амоній (за NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )  | мг/дм <sup>3</sup>  | 0,73                   | $\pm 9$ %                                  | 1,0                                    | ДСТУ ISO 7150-1:2003     |
| Нітрати (за NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) | мг/дм <sup>3</sup>  | 2,8                    | $\pm 25$ %                                 | 40,0                                   | ДСТУ ISO 7890-1:2003     |
| Сульфати (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )   | мг/дм <sup>3</sup>  | 57                     | $\pm 10$ %                                 | 100                                    | МВВ 081/12-0007-05       |
| Залізо загальне (Fe)                       | мг/дм <sup>3</sup>  | <0,01                  | $\pm 10$ %                                 | 0,1                                    | МВВ 081/12-0175-05       |
| ХСК  | мгО/дм <sup>3</sup> | 24                     | $\pm 15$ %                                 | 50,0                                   | ДСТУ ISO 6060:2003       |
| БСК <sub>5</sub>                           | мгО/дм <sup>3</sup> | 2,5                    | $\pm 25$ %                                 | 3,0                                    | МВВ 081/12-0014-03       |
| Нафтопродукти                              | мг/дм <sup>3</sup>  | 0,03                   | $\pm 25$ %                                 | 0,05                                   | МВВ 081/12-06451-09      |
| Марганець (Mn)                             | мг/дм <sup>3</sup>  | <0,01                  | $\pm 23$ %                                 | 0,01                                   | МВВ 081/12-0416-07       |
| Мідь (Cu)                                  | мг/дм <sup>3</sup>  | <0,001                 | $\pm 15$ %                                 | 0,001                                  | МВВ 081/12-0648-09       |
| Цинк (Zn)                                  | мг/дм <sup>3</sup>  | <0,01                  | $\pm 22$ %                                 | 0,01                                   | МВВ 081/12-0413-07       |
| Кадмій (Cd)                                | мг/дм <sup>3</sup>  | <0,001                 | $\pm 25$ %                                 | 0,001                                  | ДСТУ 7607:2014           |
| Свинець (Pb)                               | мг/дм <sup>3</sup>  | <0,01                  | $\pm 21$ %                                 | 0,01                                   | МВВ 081/12-0414-07       |
| Алюміній (Al)                              | мг/дм <sup>3</sup>  | <0,01                  | $\pm 20$ %                                 | 0,036                                  | ДСТУ ISO 10566:2017      |
| Хром загальний (Cr)                        | мг/дм <sup>3</sup>  | <0,001                 | $\pm 23$ %                                 | 0,001                                  | МВВ 081/12-0114-03       |

Таблиця 2.3. Фоновий показник забруднення території досліджень

| № проби | As       | Cd        | Pb       | Cu       | Zn         | V        |
|---------|----------|-----------|----------|----------|------------|----------|
| 1       | 0,004681 | 0,004681  | 0,015804 | 0,483979 | 0,00583979 | 0,144987 |
| 2       | 0,000299 | 0,000299  | 0,077977 | 0,506077 | 0,000271   | 0,038473 |
| 3       | 0,001271 | 0,0005343 | 0,011343 | 0,483979 | 0,00399    | 0,014326 |
| 4       | 1,0      | 0,944211  | 0,650236 | 0,524473 | 0,873746   | 1,0      |
| 5       | 0,00613  | 0,004681  | 0,088446 | 0,506077 | 0,01326    | 0,016325 |
| 6       | 0,37922  | 0,753156  | 0,985751 | 0,524473 | 0,999745   | 0,979546 |
| 7       | 0,208977 | 0,887123  | 0,998407 | 0,930804 | 1,0        | 0,83028  |
| 8       | 0,208977 | 1,0       | 0,902981 | 1,0      | 0,261571   | 1,0      |
| 9       | 0,1      | 0,993642  | 0,960919 | 0,166515 | 0,334677   | 0,979546 |
| 10      | 0,596518 | 0,774264  | 1,0      | 0,260151 | 1,0        | 0,524473 |

| № проби | As       | Cd        | Pb       | Cu       | Zn       | V        |
|---------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| 11      | 0,001343 | 0,0445343 | 0,0365   | 0,000273 | 0,000057 | 0,00043  |
| 12      | 0,01383  | 0,000771  | 0,008973 | 0,000291 | 0,01497  | 0,046743 |
| 13      | 0,00932  | 0,056713  | 0,00904  | 0,00431  | 0,000121 | 0,0224   |
| 14      | 0,004681 | 0,004681  | 0,112704 | 0,28646  | 0,077343 | 0,00113  |
| 15      | 0,000112 | 0,000299  | 0,052424 | 0,506077 | 0,099032 | 0,03196  |
| 16      | 0,000733 | 0,00122   | 0,011343 | 0,238085 | 0,04377  | 0,004346 |
| 17      | 0,001271 | 0,004681  | 0,001457 | 0,182391 | 0,0758   | 0,002356 |
| 18      | 0,04492  | 0,011543  | 0,08744  | 0,007231 | 0,02765  | 0,09883  |
| 19      | 0,000299 | 0,000299  | 0,034247 | 0,506077 | 0,02269  | 0,01132  |
| 20      | 0,001271 | 0,004681  | 0,060033 | 0,092173 | 0,077343 | 0,026972 |

З використанням розроблених методів та технологій вказана система була вдосконалена та систематизовано схеми відбору проб по усіх підсистемах. На рис. 2.2. наведено комплекс усіх схем відбору проб води поблизу сміттєзвалищ та показано їх взаємозв'язок, коли дані з однієї схеми використовуються в іншій, що дозволяє зменшити витрати на ведення системи.

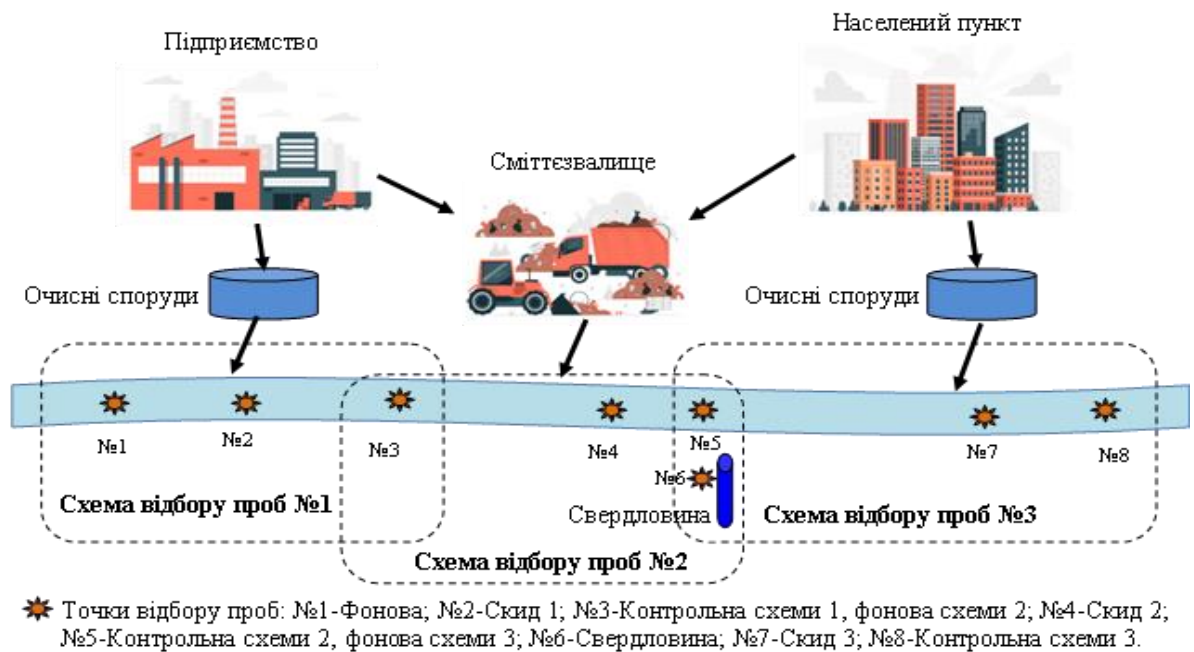


Рисунок 2.2. Узагальнена комплексна модель варіантів відбору проб води

Відбору проб повітря можуть бути зведені до певної моделі вказаної на рис. 2.3.

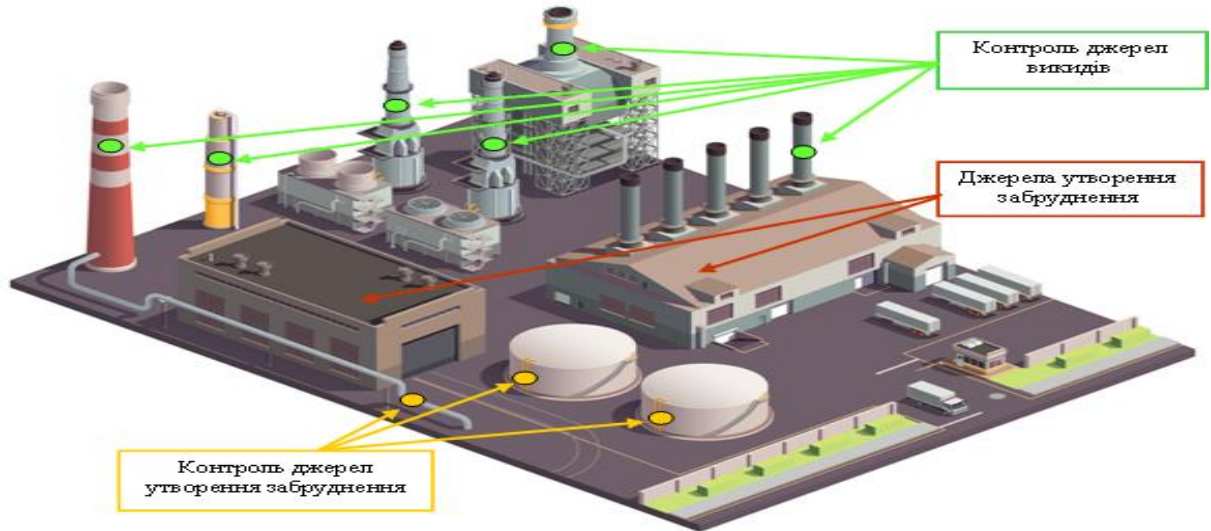


Рисунок 2.3. Узагальнені схеми відбору проб повітря

Під час моніторингу сміттєзвалищ враховуємо:

- контроль за станом гамма-випромінювання;
- контроль за станом атмосферного повітря (CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>).

Контроль за станом гамма-випромінювання проводився за допомогою дозиметра-радіометра МКС-05 "ТЕРРА-П" (рис. 2.4.), технічні характеристики якого наведено в таблиці 2.4.



Рисунок 2.4. Дозиметр-радіометр МКС-05 "ТЕРРА-П"

Після проведення робіт було проведено аналітичний аналіз щодо збору, обробки та зберігання інформації.

## **2.2. Аналіз системи спостереження з використанням безпілотних літальних апаратів**

Для ефективного та своєчасного екологічного моніторингу з використанням БПЛА розглядається можливість застосування комбінованого підходу. На першому етапі визначається район спостереження та отримуються характеристики цього району. На другому етапі обирається бортове обладнання БПЛА, яке забезпечить просторове виявлення та детальне визначення розмірів зон забруднення з урахуванням висотного профілю атмосфери. На третьому етапі передається зібрана інформація з БПЛА. Однак, цей підхід має деякі обмеження, пов'язані з можливостями бортового обладнання, яке не завжди дозволяє здійснити достовірний екологічний моніторинг[59,60]..

Система моніторингу сміттєзвалища виконує такі функції: збір інформації про об'єкт моніторингу; обробка, зведення, угруповання та зберігання інформації. Велику увагу приділяємо моделюванню – імітація фізико-хімічних процесів та оцінка прогнозу стану сміттєзвалищ. [61].

Для проведення моніторингу сміттєзвалищ запропоновано створення наступних блоків:

1. Блок збору та експрес-аналіз даних.
2. Блок первинної обробки і накопичення даних.
3. Блок комп'ютерного картографування.
4. Блок оцінки стану атмосфери.
5. Блок оцінки стану ґрунтово-рослинних покривів.
6. Блок оцінки стану водного середовища території.
7. Блок оцінки екологічної безпеки і здоров'я населення.

## 8. Блок інтелектуальної підтримки прийняття рішень.

Характерною рисою запропонованої методики (рис. 2.5.) є вдосконалення методики, щодо структури бортового обладнання, маршруту руху БПЛА та завдання. [62, 63, 64]



Рисунок 2.5. Розвинута методика проведення екологічного моніторингу сміттєзвалищ з використанням БПЛА

Для ефективного використання БПЛА під час проведення екологічного моніторингу сміттєзвалищ виникає питання про вибір оптимального варіанта рішення, а також найбільшої ефективності в заданому діапазоні умов використання [65, 66, 67]

. Розраховуючи оптимальний варіант проведення моніторингу сміттєзвалищ застосовуємо відповідні методики [68, 69, 70, 71]:



$$W = \sum_{i=1}^3 W_i(A_i)p_i = W_1(A_1)p_1 + W_2(A_2)p_2 + W_3(A_3)p_3, \quad (2.1)$$

де  $W_1(A_1)$  – показник ефективності застосування необхідного бортового обладнання в системі управління БПЛА (залежно від необхідного);

$W_2(A_2)$  – показник ефективності застосування необхідного бортового обладнання в системі спостереження БПЛА (залежно від кількості та необхідної якості завдання спостереження);

$W_3(A_3)$  – показник ефективності застосування алгоритму руху БПЛА по заданому маршруту;

$p_i$  – ймовірність виконання поставленого завдання.

Важливим є визначення координат об'єктів спостереження, які виявляються раптово (стихійні сміттєзвалища). Тоді ймовірність виконання завдання бортовими системами БПЛА можна визначити за виразом:

$$W_2 = \sum_{i=1}^m W_i P_{em} \quad (2.2)$$

де  $W_i$  – ймовірність виконання завдання моніторингу сміттєзвалищ бортовими системами БПЛА по отриманню та обробці відповідної інформації.

Час проведення екологічного моніторингу БПЛА та передачу даних визначаємо за формулою:

$$T = T_c + T_{об} + T_{пр}, \quad (2.3)$$

де  $T_c$  – час зйомки бортовими системами БПЛА;

$T_{об}$  – час первинної обробки інформації на борту;

$T_{пр}$  – час передачі даних від БПЛА до НПУ.

Виконання моніторингового дослідження сміттєзвалищ із застосуванням БПЛА також залежать від виявлення антропогенного впливу визначаємо за формулою:

$$P_{em} = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} \frac{1}{\langle t_{os} \rangle} e^{-\frac{t}{\langle t_{os} \rangle}} \left[ \Phi \left( \frac{t - m_T}{\sqrt{2D_T}} \right) + \Phi \left( \frac{m_T}{\sqrt{2D_T}} \right) \right] dt, \quad (2.4)$$

де  $\Phi(\dots)$  – функція Крампа (інтеграл ймовірності);

$m_T$  – математичні очікування зйомки;

$D_T$  – дисперсії випадкових величин зйомки;

$t_{os}$  – середній час поширення забруднюючої, отруйної речовини (горіння, задимленість, тощо) у середовищі.

Істотною особливістю процесів функціонування бортових систем БПЛА є їхня випадковість, яка викликана неповною визначеністю умов, у яких ці процеси протікають, різними випадковими відхиленнями і помилками, які виникають при збиранні інформації, а також випрацюванню дій керування та їхньому виконанні [72].

Тому на початку досліджень необхідно визначитися з типом та обладнанням БПЛА який буде використовуватися для проведення екологічного моніторингу сміттєзвалищ. Під час проведення екологічного моніторингу сміттєзвалищ за допомогою БПЛА враховуємо умови функціоналу:

$$f = \{\tau, P, N, C\}, \quad (2.5)$$

де  $\tau$  – час виконання БПЛА поставленого завдання для виконання екологічного моніторингу ( $\tau = \frac{T}{N} \rightarrow \min$  при  $T = T(N_1, N_2, \dots, N_n) \rightarrow \min$ );

$P$  – ймовірність виконання поставленого завдання БПЛА в ході проведення ЕМ ( $P = \prod_{i=1}^n P(N_i) \rightarrow \max$ );

$N$  – кількість БПЛА необхідних для виконання поставленого завдання ЕМ ( $N = \sum_{i=1}^n N_i \rightarrow \min$ );

$C$  – вартість, яка необхідна для застосування БПЛА при виконанні поставленого завдання  $EM (C = \sum_{i=1}^n C(N_i) \rightarrow \min )$ .

Доступність урбаністичних ландшафтів для дистанційних спостережень різна і залежить від різних параметрів, таких як вид, якість, час і масштаб зйомки. Багато характеристик ландшафту, таких як рельєф, рослинність, ґрунти, поверхневі води, а також антропогенні явища і техногенні об'єкти, можна добре відображати на космічних і аеро-знімках у різних спектральних діапазонах або на синтезованих зображеннях[73]. На основі отриманих результатів були розроблені науково-практичні рекомендації, які пропонують послідовно виконувати дії для виявлення техногенного забруднення та оцінки стану довкілля за допомогою БПЛА. Це дозволяє оперативно приймати управлінські рішення для зменшення негативного впливу та забезпечення екологічної безпеки регіону.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що на основі поліпшеного науково-методичного підходу до використання БПЛА в системі екологічного моніторингу розроблено нові методи комплексного спостереження навколишнього середовища заданої території за допомогою несучої апаратури на борту БПЛА. Також реалізовано пропозиції щодо якісної оцінки та контролю параметрів навколишнього середовища при виконанні екологічного моніторингу.

## **2.3. Дослідження особливостей передачі інформації в системах моніторингу сміттєзвалищ з погляду завадостійкості**

### **2.3.1. Оцінка достовірності передачі інформації в умовах впливу перешкод**

У роботі розглядаються наступні види промислових перешкод: шумова загороджувальна перешкода, шумова перешкода в частині смуги та перешкода у відповідь, і їхні моделі відображають адитивний білий гаусівський шум.

В умовах впливу промислових перешкод використовується  $K_s^g$  субканалів системи OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) — методу модуляції мультиплексування (одночасного поєднання декількох потоків даних на ортогональних (взаємно паралельних) частотах в один спільний простір) для передачі одного пакету інформації. Якщо промислові перешкоди відсутні використовується один субканал для передачі пакету інформації [75, 76].

Середню ймовірність бітової помилки розраховуємо за наступною формулою:

$$P_B = \sum_{k=1}^M P_{Bk} + \sum_{l=1}^K P_{Bl}, \quad (2.6)$$

де  $P_{Bk}$  — середня ймовірність бітової помилки в  $k$ -му,  $k \in \overline{1, M}$ , в умовах впливу гаусівського шуму,  $P_{Bl}$  — середня ймовірність помилки в  $l$ -му,  $l \in \overline{1, K}$ , наборі субканалів системи OFDM  $M + K = N$ .

Розглянемо передачу одного пакету інформації в умовах впливу промислових перешкод, використовуючи  $K_s^g$  субканалів системи OFDM.

В [77, 78] доведена формула у коді Грея для модуляції ФМ-М,  $M > 2$ :

$$P_{b1} = P_{b2} = \frac{4}{M} \sum_{j=1}^{M/4} Q\left(\sqrt{2h_m^2} \sin\left[\frac{(2j-1)}{M} \pi\right]\right), \quad (2.7)$$

для перших двох біт та

$$P_{bi} = \frac{2^{i+1}}{M} \sum_{j=1}^{M/4} (-1)^{\text{ent}\left[\frac{j-1}{2^{k+i-1}}\right]} T\left(\sqrt{2h_m^2} \sin\left[\frac{(2j-1)}{M} \pi\right], \text{ctg} \frac{(2j-1)}{M} \pi\right), \quad (2.8)$$

при  $i \geq 3$ , де  $h_m^2 = E_m / G_0 = h_0^2 \log_2 M$  — відношення енергії сигналу до спектральної щільності потужності шуму,  $h_0^2 = \frac{E_b}{G_0}$ ,  $E_b$  — енергія біта,  $M = 2^K$  —

розмірність сигнального сузір'я, функція  $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$  — функція

інтеграла ймовірності,  $T(h, a) = \frac{1}{2\pi} \int_0^a \exp\left[\left(-\frac{h^2}{2}(1+x^2)\right)\right] \frac{1}{1+x^2} dx$  – функція

Д. Оуэна, розраховують двовимірний нормальний розподілу.

Розраховуємо середню ймовірність помилки на біт [79, 80]:

$$P_B = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K P_{bi}, \quad (2.9)$$

В системі розрахунку при модуляції ФМ-2 формула дозволяє визначити цю величину з високою точністю та достовірністю:

$$P_B = Q\left(\sqrt{2h_0^2}\right) = Q\left(\sqrt{2\frac{E_b}{G_0}}\right), \quad (2.10)$$

Відповідно до (2.2), (2.4) середня ймовірність помилки на біт при модуляції ФМ-4 визначається:

$$P_B = Q\left(\sqrt{2h_m^2} \sin \frac{\pi}{M}\right) = Q\left(\sqrt{2h_0^2 \log_2 M} \sin \frac{\pi}{M}\right) = Q\left(\sqrt{2\frac{E_b}{G_0}}\right), \quad (2.11)$$

При визначення середньої бітової помилки для модуляції ФМ-8 визначаються ймовірності  $P_{b1}$ ,  $P_{b2}$ ,  $P_{b3}$  згідно з (2.2), (2.12, 2.13):

$$P_{b1} = P_{b2} = \frac{1}{2} \left( Q\left(\sqrt{2h_m^2} \sin \frac{\pi}{8}\right) + Q\left(\sqrt{2h_m^2} \sin \frac{3\pi}{8}\right) \right) = \frac{1}{2} \left( Q\left(\sqrt{6h_0^2} \sin \frac{\pi}{8}\right) + Q\left(\sqrt{6h_0^2} \sin \frac{3\pi}{8}\right) \right) \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned}
 P_{b3} &= 2 \left( T \left( \sqrt{2h_m^2} \sin \frac{\pi}{8}, \operatorname{ctg} \frac{\pi}{8} \right) + T \left( \sqrt{2h_m^2} \sin \frac{3\pi}{8}, \operatorname{ctg} \frac{3\pi}{8} \right) \right) = \\
 &= 2 \left( T \left( \sqrt{6h_0^2} \sin \frac{\pi}{8}, \operatorname{ctg} \frac{\pi}{8} \right) + T \left( \sqrt{6h_0^2} \sin \frac{3\pi}{8}, \operatorname{ctg} \frac{3\pi}{8} \right) \right) .
 \end{aligned}
 \tag{2.13}$$

Отже, середня ймовірність бітової помилки ФМ-8 дорівнює:

$$P_B = \frac{1}{3} \left( Q \left( \sqrt{6h_0^2} \sin \frac{\pi}{8} \right) + Q \left( \sqrt{6h_0^2} \sin \frac{3\pi}{8} \right) + \right. \\
 \left. 2 \left( T \left( \sqrt{6h_0^2} \sin \frac{\pi}{8}, \operatorname{ctg} \frac{\pi}{8} \right) + T \left( \sqrt{6h_0^2} \sin \frac{3\pi}{8}, \operatorname{ctg} \frac{3\pi}{8} \right) \right) \right)
 \tag{2.14}$$

При впливі шумової загороджувальної перешкоди на безпроводну мережу параметр  $h_0^2$  перетвориться в:

$$h_{01j}^2 = \frac{E_b}{G_0 + G_j},
 \tag{2.15}$$

де  $G_j$  – спектральна щільність потужності промислової перешкоди.

Для шумової перешкоди в частині смуги параметр  $h_{02j}^2$  буде визначений як:

$$h_{02j}^2 = \frac{E_b}{G_0 + \frac{G_j}{\gamma}},
 \tag{2.16}$$

де  $\gamma$  – частина смуги частот, у якій присутня перешкода.

У випадку застосування постановником перешкод завади у відповідь  $h_{03j}^2$  вираз буде мати вигляд:

$$h_{03j}^2 = \frac{E_b}{G_0 + G_j}.
 \tag{2.17}$$

Отож, вищенаведені математичні вирази описують середню ймовірність бітової помилки системи за умов дії шумової загороджувальної, шумової

перешкоди в частині смути та перешкоди у відповідь індустріального походження [81, 82, 83].

### 2.3.2. Коефіцієнт розширення спектра інформаційного сигналу

Коефіцієнт розширення спектра  $K_s$  є важливою характеристикою безпроводних мереж, зокрема при розширенні спектра з урахуванням промислових завод. Цей коефіцієнт вказує на збільшення відношення сигнал-перешкода. Коефіцієнт розширення спектра  $K_s$  сигналу визначається за допомогою методу псевдовипадкової перебудови піднесучої частоти та виражається у певному значенні.:

$$K_s^1 = \frac{\Delta F_s}{F_s}, \quad (2.18)$$

де  $\Delta F_s$  – смуга частот,  $F_s$  – ширина смуги одного частотного каналу. При розширенні спектра вищезгаданим методом загальна смуга частот  $\Delta F_s \geq \frac{a \cdot M_f}{T_h}$ , де

$M_f$  – число частотних каналів,  $T_h$  – тривалість стрибка частоти,  $\frac{a}{T_h}$  – частотний

інтервал [84]. Значення параметра  $a$ , вибирається в межах 1...2. З обліком цього вираз (3.13) переписується наступним чином:

$$K_s^1 = \frac{a \cdot M_f}{T_h \cdot F_s}. \quad (2.19)$$

При посимвольній передачі зі швидкістю 1 символ/стрибок,  $a = 1$ , отже  $T_h \cdot F_s = 1$ , частотних каналів  $M_f$  засобу радіозв'язку із ППРЧ:

$$K_s^1 = M_f. \quad (2.20)$$

Відповідно коефіцієнт розширення спектру з використанням кодів, утворених за допомогою функцій Радемахера дорівнює:

$$K_s^2 = N, \quad (2.21)$$

де  $N$  – кількість елементів кодів, утворених за допомогою функцій Радемахера.

При застосуванні методу ППРЧ та розширення спектру на основі кодів, утворених за допомогою функцій Радемахера, коефіцієнт розширення спектру в гібридній схемі дорівнює добутку коефіцієнтів розширення спектру, які отримуються окремо для кожного з методів:

$$K_s^g = K_s^1 K_s^2 = M_f N. \quad (2.22)$$

З урахуванням коефіцієнта розширення спектра  $K_s^g$  вирази (2.23), (2.24) при впливі шумової загороджувальної перешкоди й шумової перешкода в частині смуги відповідно будуть мати такий вигляд:

$$h_{01j}^2 = \left( \frac{G_0}{E_b} + \frac{\log_2 M \cdot P_j}{K_s^g \cdot P_b} \right)^{-1} = \left( \left( \frac{E_b}{G_0} \right)^{-1} + \left( \frac{K_s^g \cdot P_b}{P_j \log_2 M} \right)^{-1} \right)^{-1} = \left( (h_0^2)^{-1} + \left( \frac{q}{\log_2 M} \right)^{-1} \right)^{-1}, \quad (2.23)$$

$$h_{02j}^2 = \left( \frac{G_0}{E_b} + \frac{\log_2 M \cdot P_j}{\gamma \cdot K_s^g \cdot P_b} \right)^{-1} = \left( \left( \frac{E_b}{G_0} \right)^{-1} + \left( \frac{\gamma \cdot K_s^g \cdot P_b}{P_j \log_2 M} \right)^{-1} \right)^{-1} = \left( (h_0^2)^{-1} + \left( \gamma \cdot \frac{q}{\log_2 M} \right)^{-1} \right)^{-1} \quad (2.24)$$

,

де  $P_b$  – потужність сигналу,  $P_j$  – потужність завади,  $q = \frac{K_s^g \cdot P_b}{P_j}$ .

При перешкоді у відповідь коефіцієнт розширення спектру не враховується [85]. Підставивши (2.18) в (2.24), (2.25), (2.26) замість  $h_0^2$  одержимо формули



промислової перешкоди на безпроводну мережу з сигналами OFDM із  $l \in \overline{1, K}$  субканалів:

– ФМ-2:

$$P_B = Q\left(\sqrt{2\left((h_0^2)^{-1} + (q)^{-1}\right)^{-1}}\right). \quad (2.25)$$

– ФМ-4:

$$P_B = Q\left(\sqrt{2\left((h_0^2)^{-1} + \left(\frac{q}{2}\right)^{-1}\right)^{-1}}\right). \quad (2.26)$$

– ФМ-8:

$$P_B = \frac{1}{3} \left( \begin{array}{l} Q\left(\sqrt{6\left((h_0^2)^{-1} + \left(\frac{q}{3}\right)^{-1}\right)^{-1}} \sin \frac{\pi}{8}\right) + Q\left(\sqrt{6\left((h_0^2)^{-1} + \left(\frac{q}{3}\right)^{-1}\right)^{-1}} \sin \frac{3\pi}{8}\right) + \\ 2 \left( \begin{array}{l} T\left(\sqrt{6\left((h_0^2)^{-1} + \left(\frac{q}{3}\right)^{-1}\right)^{-1}} \sin \frac{\pi}{8}, \text{ctg} \frac{\pi}{8}\right) \\ + T\left(\sqrt{6\left((h_0^2)^{-1} + \left(\frac{q}{3}\right)^{-1}\right)^{-1}} \sin \frac{3\pi}{8}, \text{ctg} \frac{3\pi}{8}\right) \end{array} \right) \end{array} \right) \quad (2.27)$$

Імовірність бітової помилки при впливі шумової буде мати такий вигляд:

$$P_{B1} = (1 - \gamma)P_B + \gamma P_{Bj}. \quad (2.28)$$

У цій формулі  $P_B$  визначається по формулі (2.5) для ФМ-2, ФМ-4 і по формулі (2.9) для ФМ-8, а  $P_{Bj}$  шляхом підстановки (2.19) в (2.5) замість  $h_0^2$  для ФМ-2, ФМ-4 й (2.19) в (2.9) замість  $h_0^2$  для ФМ-8:

– ФМ-2:

$$P_{B1} = (1 - \gamma)Q(\sqrt{2h_0^2}) + \gamma Q\left(\sqrt{2\left((h_0^2)^{-1} + (\gamma \cdot q)^{-1}\right)^{-1}}\right). \quad (2.29)$$

– ФМ-4:

$$P_{B1} = (1 - \gamma)Q(\sqrt{2h_0^2}) + \gamma Q\left(\sqrt{2\left((h_0^2)^{-1} + \left(\gamma \cdot \frac{q}{2}\right)^{-1}\right)^{-1}}\right). \quad (2.30)$$

– ФМ 8:

$$P_{B1} = (1 - \gamma) \frac{1}{3} \left( \begin{aligned} & Q\left(\sqrt{6h_0^2 \sin \frac{\pi}{8}}\right) + Q\left(\sqrt{6h_0^2 \sin \frac{3\pi}{8}}\right) + \\ & 2 \left( T\left(\sqrt{6h_0^2 \sin \frac{\pi}{8}}, \text{ctg} \frac{\pi}{8}\right) + T\left(\sqrt{6h_0^2 \sin \frac{3\pi}{8}}, \text{ctg} \frac{3\pi}{8}\right) \right) \end{aligned} \right) =$$

$$= \gamma \frac{1}{3} \left( \begin{aligned} & Q\left(\sqrt{6\left((h_0^2)^{-1} + \left(\gamma \cdot \frac{q}{3}\right)^{-1}\right)^{-1} \sin \frac{\pi}{8}}\right) + Q\left(\sqrt{6\left((h_0^2)^{-1} + \left(\gamma \cdot \frac{q}{3}\right)^{-1}\right)^{-1} \sin \frac{3\pi}{8}}\right) + \\ & T\left(\sqrt{6\left((h_0^2)^{-1} + \left(\gamma \cdot \frac{q}{3}\right)^{-1}\right)^{-1} \sin \frac{\pi}{8}}, \text{ctg} \frac{\pi}{8}\right) + \\ & + 2 \left( T\left(\sqrt{6\left((h_0^2)^{-1} + \left(\gamma \cdot \frac{q}{3}\right)^{-1}\right)^{-1} \sin \frac{3\pi}{8}}, \text{ctg} \frac{3\pi}{8}\right) \right) \end{aligned} \right) \quad (2.31)$$

При впливі перешкоди у відповідь ймовірність бітової помилки визначається:

$$P_{B2} = (1 - \gamma)P_B + \gamma P_{Bj}. \quad (2.32)$$

У цій формулі  $P_B$  визначається по формулі (2.5) для ФМ-2, ФМ-4 і по формулі (2.9) для ФМ-8, а  $P_{Bj}$  шляхом підстановки (2.12) в (2.5) для ФМ-2, ФМ-4 й в (2.9) для ФМ-8:

– ФМ-2, ФМ-4:

$$P_{B2} = (1 - \gamma)Q(\sqrt{2h_0^2}) + \gamma Q\left(\sqrt{2\left((h_0^2)^{-1} + (h_j^2)^{-1}\right)^{-1}}\right) \quad (2.33)$$

– ФМ-8:

$$P_{B2} = (1 - \gamma) \frac{1}{3} \left( \begin{aligned} & Q\left(\sqrt{6h_0^2} \sin \frac{\pi}{8}\right) + Q\left(\sqrt{6h_0^2} \sin \frac{3\pi}{8}\right) + \\ & 2 \left( T\left(\sqrt{6h_0^2} \sin \frac{\pi}{8}, \text{ctg} \frac{\pi}{8}\right) + T\left(\sqrt{6h_0^2} \sin \frac{3\pi}{8}, \text{ctg} \frac{3\pi}{8}\right) \right) \end{aligned} \right) + \gamma \frac{1}{3} \left( \begin{aligned} & Q\left(\sqrt{6\left((h_0^2)^{-1} + (h_j^2)^{-1}\right)^{-1}} \sin \frac{\pi}{8}\right) + Q\left(\sqrt{6\left((h_0^2)^{-1} + (h_j^2)^{-1}\right)^{-1}} \sin \frac{3\pi}{8}\right) + \\ & 2 \left( T\left(\sqrt{6\left((h_0^2)^{-1} + (h_j^2)^{-1}\right)^{-1}} \sin \frac{\pi}{8}, \text{ctg} \frac{\pi}{8}\right) + T\left(\sqrt{6\left((h_0^2)^{-1} + (h_j^2)^{-1}\right)^{-1}} \sin \frac{3\pi}{8}, \text{ctg} \frac{3\pi}{8}\right) \right) \end{aligned} \right) \quad (2.34)$$

де  $h_j^2 = \frac{E_b}{G_j}$  – відношення енергії біта до спектральної щільності потужності

завади.

### 2.3.3. Аналітичні залежності при впливі шумової загороджувальної перешкоди

Аналітичні залежності для розрахунку середньої бітової помилки на безпроводну мережу з сигналами OFDM з ПППЧ при використанні в субканалах

модуляції КАМ-16, КАМ-64 при впливі шумової перешкоди отримуємо математичні залежності:

– КАМ-16:

$$\begin{aligned}
 P_{b1} = & (1 - \gamma) \left( \frac{1}{2} \left( 3Q \left( \sqrt{\frac{4}{9} h_0^2} \right) + 2Q \left( 3\sqrt{\frac{4}{9} h_0^2} \right) - Q \left( 5\sqrt{\frac{4}{9} h_0^2} \right) \right) \right) + \\
 & + \gamma \frac{1}{2} \left( \begin{aligned}
 & 3Q \left( \sqrt{\frac{4}{9} \left( (h_0^2)^{-1} + \left( \gamma \frac{q}{4} \right)^{-1} \right)^{-1}} \right) + 2Q \left( 3\sqrt{\frac{4}{9} \left( (h_0^2)^{-1} + \left( \gamma \frac{q}{4} \right)^{-1} \right)^{-1}} \right) - \\
 & - Q \left( 5\sqrt{\frac{4}{9} \left( (h_0^2)^{-1} + \left( \gamma \frac{q}{4} \right)^{-1} \right)^{-1}} \right)
 \end{aligned} \right). \tag{2.35}
 \end{aligned}$$

– КАМ-64:

$$\begin{aligned}
 P_{b1} = & (1 - \gamma) \left( \frac{7}{6} Q \left( \sqrt{\frac{6}{49} h_0^2} \right) + Q \left( 3\sqrt{\frac{6}{49} h_0^2} \right) - \frac{1}{6} Q \left( 4\sqrt{\frac{6}{49} h_0^2} \right) - \frac{1}{6} Q \left( 5\sqrt{\frac{6}{49} h_0^2} \right) \right) + \\
 & + \gamma \left( \begin{aligned}
 & \frac{7}{6} Q \left( \sqrt{\frac{6}{49} \left( (h_0^2)^{-1} + \left( \gamma \frac{q}{6} \right)^{-1} \right)^{-1}} \right) + Q \left( 3\sqrt{\frac{6}{49} \left( (h_0^2)^{-1} + \left( \gamma \frac{q}{6} \right)^{-1} \right)^{-1}} \right) \\
 & - \frac{1}{6} Q \left( 4\sqrt{\frac{6}{49} \left( (h_0^2)^{-1} + \left( \gamma \frac{q}{6} \right)^{-1} \right)^{-1}} \right) - \frac{1}{6} Q \left( 5\sqrt{\frac{6}{49} \left( (h_0^2)^{-1} + \left( \gamma \frac{q}{6} \right)^{-1} \right)^{-1}} \right)
 \end{aligned} \right). \tag{2.36}
 \end{aligned}$$

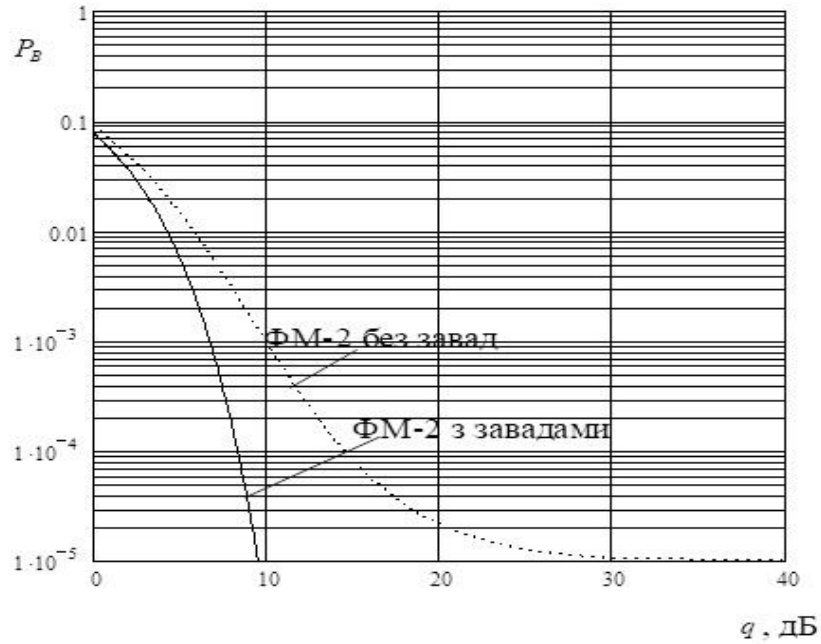


Рисунок 2.6. Математична залежність ймовірності бітової помилки та шумової загороджувальної завади

На рис. 2.6. зображений графік залежності ймовірності бітової помилки від параметра  $q$  для модуляції ФМ-2 при  $h_0^2 = 16,34$  дБ (що відповідає ймовірності помилки  $P_B = 10^{-5}$  для модуляції КАМ-16 при відсутності завад) за умов впливу шумової загороджувальної завади [86, 87].

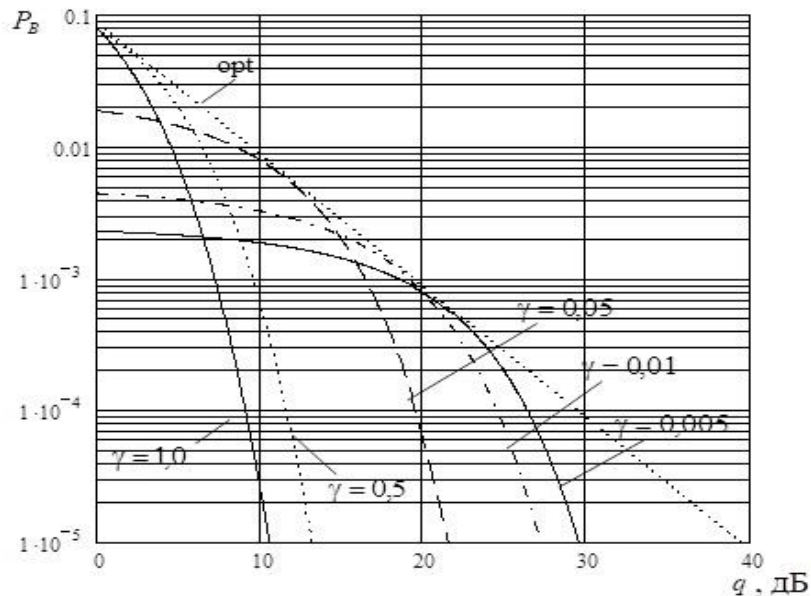


Рисунок 2.7. Схема залежності бітової помилки при модуляції ФМ-2 та шумової завади в частині смуги

На рис. 2.7., зображені графіки залежності  $P_b$  від  $q$  при впливі на ЗРЗ шумової перешкоди в частині смуги та завади у відповідь відповідно для різних значень  $\gamma$  за умови, що  $h_0^2 = 16,34$  дБ.

### Висновки до розділу 2

1. При проведенні моніторингових досліджень сміттєзвалищ територіальних громад досліджуваної території протягом 2018-2022 років проведено відбір проб ґрунтів, води та донних відкладів та систематизовано схеми відбору проб по усіх блоках.

2. Узагальнено схеми відбору проб компонентів навколишнього середовища з центром досліджуваних сміттєзвалищ, де враховано контроль за станом гамма-випромінювання, контроль за станом атмосферного повітря (CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>).

3. При використанні БПЛА під час проведення екологічного моніторингу сміттєзвалищ, необхідно враховувати не тільки склад бортового обладнання, але також сукупність умов їх використання залежно від їхнього маршруту руху.

4. Удосконалено науково-методичні підходи, на основі процедури проведення екологічного моніторингу з використанням БПЛА, яка є основою оперативного виявлення джерел забруднення в ході проведення спостереження за заданою територією.

5. Розраховано середню ймовірність бітової помилки моніторингової системи сміттєзвалищ з сигналами OFDM з внутрібітовою випадковою перебудовою піднесучих частот.

### **РОЗДІЛ 3. ПОБУДОВА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ МОНІТОРИНГУ СМІТТЄЗВАЛИЩ НА ОСНОВІ ТЕРИТОРІАЛЬНО РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ МЕРЕЖ**

Оцінка впливу сміттєзвалищ на довкілля в сучасному розумінні включає комплекс досліджень та розрахунків, що оцінюють його вплив на різні аспекти довкілля. Проте, в багатьох сучасних проектах, які стосуються будівництва та експлуатації сміттєзвалищ і інших споруд, оцінка впливу обмежується короткостроковою перспективою. Зазвичай звіти не враховують екологічні наслідки, які можуть виникнути після закінчення експлуатації об'єкта.

Значну увагу приділяється вивченню впливу сміттєзвалищ на атмосферне повітря, ґрунти, гідросферу, рослинний та тваринний світ під час будівництва та експлуатації. Однак, наслідки, що можуть виникнути після закриття звалища, рідко враховуються в оцінках та звітах. Такий поверхневий підхід оцінювання екологічних наслідків може спричинити виникнення цілого комплексу екологічних проблем у територіальних громадах. Досвід виникнення таких проблем ще мало вивчений в Україні з причин, що територіальні громади існують відносно невеликий термін (менше 10 років). Проте, на даний час, значна частина сміттєзвалищ знаходиться на початковій стадії розробки [88].

#### **3.1. Інтерполяційні методи в системах контролю екологічної обстановки сміттєзвалищ**

##### **3.1.1. Використання методів інтерполяції для обробки даних моніторингових досліджень сміттєзвалищ**

Інтерполяція показників за даними моніторингових досліджень є складним завданням, суть якого полягає в коректному переході від їхніх дискретних вимірів

до безперервного представлення поля. Іншою стороною цього завдання є потреба виявлення динаміки зміни поля екологічної ситуації, що необхідно для оцінки екологічної безпеки території в цілому.

Складність її рішення полягає у наступному:

- у системах контролю і спостережень вимірюються різні характеристики поля (активність ізотопів тощо);
- виміри території проводяться приладами, які мають різні погрішності і в окремих випадках можуть у декілька разів спотворювати значення вимірюваної величини;
- часто виміри даних в точці носять одноразовий характер;
- виміри проводяться не на основі регулярної сітки і мають різну щільність;
- у інформації при виявленні наслідків забруднення присутня така складова погрішності, як помилка визначення координат точки виміру, яка може складати 0,1 – 0,7 км залежно від технічних засобів, які використовуються [89, 90].

Для вирішення цього завдання використовувалися різні математичні методи. У числі перших, були задіяні методи інтерполяції.

У загальному випадку, інтерполяція - це відновлення функції  $f$  по відомих її значеннях в точках  $x_i$ ,  $i = 0, 1, \dots, m$ . Інтерполюючу функцію зазвичай відшуковують у вигляді  $(x) = F(x, a_1, \dots, a_n)$  і потім підбирають параметри  $a_1, \dots, a_n$  так, щоб  $(i, f)$  співпали у вузлах інтерполяції, тобто

$$F(x_i, a_1, \dots, a_n) = f(x_i), i = 0, 1, \dots, m. \quad (3.1)$$

Проте слід мати на увазі, що поле моніторингу тривимірне, тобто аргументами є дві координати  $x$  та  $y$ , крім того, воно міняється в часі, будучи функцією від  $t$ .



Таким чином, завдання зводиться до побудови інтерполяційного полінома міри  $n$  по декількох змінних. Але, маючи довільну нерегулярну вибірку значень, не завжди можливо його знайти.

Ще одним недоліком інтерполяційних методів є те, що інтерпольована функція може поводитися довільним чином між вузлами інтерполяції, оскільки не враховує міру кореляційного зв'язку між сусідніми точками вимірів, тобто, не враховується природа даного явища. Територія досліджень може мати на окремих ділянках локальні викиди, максимуми даних або взагалі може бути відсутньою частина вимірів. Це призводить до накладення додаткових обмежень на початкові дані. Забруднення утвореного декількома джерелами, досягається при щільності вибірки, порівнянної з розмірами локальних неоднорідностей, тобто один вимір на 200 – 300 м.

Особливістю методів звичайної інтерполяції є те, що вони дозволяють не враховувати погрішності вимірів, які складають не більше 10-20%. Проте на сучасному етапі дозиметрична апаратура далеко не завжди дозволяє здійснювати виміри з такою мірою точності. В окремих випадках помилка може складати 100 і більше відсотків.

Перелічені вище недоліки інтерполяційних методів привели до того, що вони не отримали широкого застосування при обробці даних моніторингу. Незважаючи на це, за певних умов (невеликі, 20-30%, помилки виміру координат точок виміру, а також відносно проста топологія забрудненого поля), ці методи можуть бути успішно використані [91].

Безперечною їх перевагою є простота, що забезпечує оперативність обробки інформації про території та незначних комп'ютерних обчислювальних ресурсів.

Такий підхід до обробки даних, на наш погляд, може знайти застосування в якості експрес-методів виявлення забруднень за умови достатньої або надмірної щільності вимірів, коли не вимагається прогнозувати зміну стану поля сміттєзвалищ в часі.

Подальшим розвитком цього напрямку стало представлення поля сміттєзвалищ із застосуванням сплайн-апроксимації. Для цього використовувалася функція виду:

$$S_m(\Delta_n; x) = P_{m-1}(x) + \sum_{k=0}^{n-1} C_k (x - x_k)^m, \quad (3.2)$$

де  $P_{m-1}(x)$  - многочлен;

$\Delta_n$  - сітка на частковому відрізку  $[x_i, x_{i+1}]$  з многочленом алгебри міри не вище  $m$  і що має на відрізку  $[a, b]$  безперервні похідні;

$C_k$  - дійсні числа, які визначаються виходячи зі значень похідних, вчислених в точках виміру МДИ;

$\{x_i\}_{i=1}^{n-1}$  – точки, що називаються вузлами сплайна.

При використанні кубічного сплайна, заданого локально, метод може знайти застосування для опису сміттєзвалищ за даними про забруднення, вимірними однотипними технічними засобами при необхідній щільності вимірів;

$$2\mu \leq 2\Omega, \quad (3.3)$$

де  $2\mu$  – мінімальні розміри ділянок, на яких проводять виміри.

Для побудови карт сміттєзвалищ використовувався також бікубічний сплайн.

Дослідження показали, що при великій неоднорідності початкових даних по місцю розташування (наявність значних зон, в яких виміри не проводилися) такий підхід може не виправдано завищувати або занижувати розрахункові значення в цих зонах. Для корекції цього ефекту був застосований метод локальної інтерполяції. Він заснований на припущенні про наявність в початкових даних локальних лінійних залежностей.

Суть методу, викладеного в роботі, полягає в тому, що точка, в якій необхідно розрахувати значення полінома, розглядається якщо знаходиться на початку полярної системи координат.

Уся безліч вимірів точок розбивається на  $b$  секторів, в кожному з яких одиничні виміри отримують координати  $r(i)$ .

Тоді, для вирішення завдання необхідно побудувати інтерполяційну пряму

$$Z = ar(i) + b. \quad (3.4.)$$

Коефіцієнти цієї прямої розраховуються з умови досягнення мінімуму функціоналом

$$\sum_{i=1}^m \left( \frac{ar_i + b}{S_i} \right), \quad m = (5, nk) \quad (3.5)$$

де  $nk$  - число вимірів поліномів, що потрапили в  $k$ -тий сектор.

Оскільки точка, в якій інтерполюється значення поля, знаходиться на початку координат ( $r = 0$ ), це значення є  $b$  з дисперсією  $D(b)$

$$b = \left[ \left( \sum \frac{Z_i}{D_i} \right) \cdot \left( \sum \frac{r_i^2}{D_i} \right) - \left( \sum \frac{z_i r_i}{D_i} \right) \cdot \left( \sum \frac{r_i}{D_i} \right) \right] \cdot \left[ \left( \sum \frac{r_i^2}{D_i} \right) \cdot \left( \sum \frac{1}{D_i} \right) - \left( \sum \frac{r_i}{D_i} \right)^2 \right]^{-1}, \quad (3.6)$$

$$D(b) = \sum \frac{r_i^2}{D_i} \cdot \left[ \left( \sum \frac{r_i^2}{D_i} \right) \cdot \left( \sum \frac{1}{D_i} \right) - \left( \sum \frac{r_i}{D_i} \right)^2 \right]^{-1}, \quad (3.7)$$

Критерієм вибору числа точок  $m$ , являється мінімум дисперсії. Він же використовується для визначення інтерполяційного сектора.

В якості інтерполяційної залежності досліджувалася не лише пряма (3.7), але і парабола. При побудові моделі використовувались такі складові, які мінімізують суму відхилень параболи з осями абсцис на прямих, які відповідають парам

протилежних секторів. Її використання привело до значного погіршення результату.

Дослідження показали досить хорошу відновлюваність характеристик поля у випадку використання як початкових даних результатів аерофотознімки, проведених у районі територіальних громад. Такі дані є згладженими, вони фіксують не усі локальні неоднорідності поля. По суті справи, сам метод отримання вимірів в даному випадку виступав фільтром.

У роботі розглядалися ряд інших підходів, заснованих на використанні методів інтерполяції при обробці даних моніторингових досліджень, зокрема: адаптивні сітки; триангуляція.

Проте, використання цих методів, на наш погляд, не має істотної переваги перед розглянутими вище підходами та призводить до зростання складності алгоритмів обробки інформації про забруднення.

Таким чином, інтерполяційні методи можуть бути використані для опису забруднення, практично будь-якої топології, причому, найкращі результати досягаються при достатній щільності вимірів, які проведені з високою точністю і рівномірно в районі ведення моніторингу. Виконання таких умов при використанні існуючих технічних засобів моніторингу та недостатньому часі для ухвалення рішення дуже проблематично. У автоматизованих системах контролю екологічної обстановки інтерполяційні методи можуть використовуватися за наявності широко розгалуженої мережі стаціонарних датчиків, зв'язаних з каналами зв'язку. Однак, на даний час, реалізація вищезначеної умови далека від ідеалу та вимагає оптимізації.

Основними недоліками таких методів є:

- ігнорування кореляційного зв'язку між різними вимірами показників;
- нечутливість до апіорної інформації про джерела та умови формування поля забруднення;
- можливість використання тільки для одноразового виявлення забруднень.

Інтерпретація даних моніторингу за допомогою інтерполяційних методів не дозволяє використати апріорну інформацію про параметри джерела та умови формування забруднень. Спільний облік в обробці цих даних дозволив би поєднати етапи прогнозування та виявлення фактичної обстановки в єдиний процес.

Рішенню цієї задачі присвячена робота. Суть цього підходу полягає в уточненні компонент вектору

$$G = \{Q, X, Y, T, W, U\}, \quad (3.8)$$

де  $Q, X, Y, T, W$  – вектори параметрів джерела моніторингу – потужності, координат, часу і типу джерела;

$U$  - вектори, які характеризують швидкість і напрям вітру.

Уточнення вектору  $G$  здійснюється спеціальною рекурентною процедурою, відомою як метод стохастичної апроксимації.

Запропонований метод дозволяє, використовуючи дані моніторингу, коригувати положення осі одиничного сліду. Корекція здійснюється за рахунок повороту і вигину сліду забруднення місцевості.

Необхідними умовами успішної роботи цієї методики є:

- наявність інформації про координати, тип і потужність джерела забруднення;

- наявність інформації про метеоумови у момент формування сліду забруднення;

- топологія поля забруднення має бути досить близька до початкової моделі.

Якщо такі умови виконуються, то виникає питання уточнення за допомогою корекції прогнозу. Аналіз літератури показав [92, 93], що моделі прогнозу забруднення сміттєзвалищ та прилеглої місцевості створені на основі обробки реальних даних.

На рис.3.1 приведена схема фактичного забруднення при підземному забрудненні.

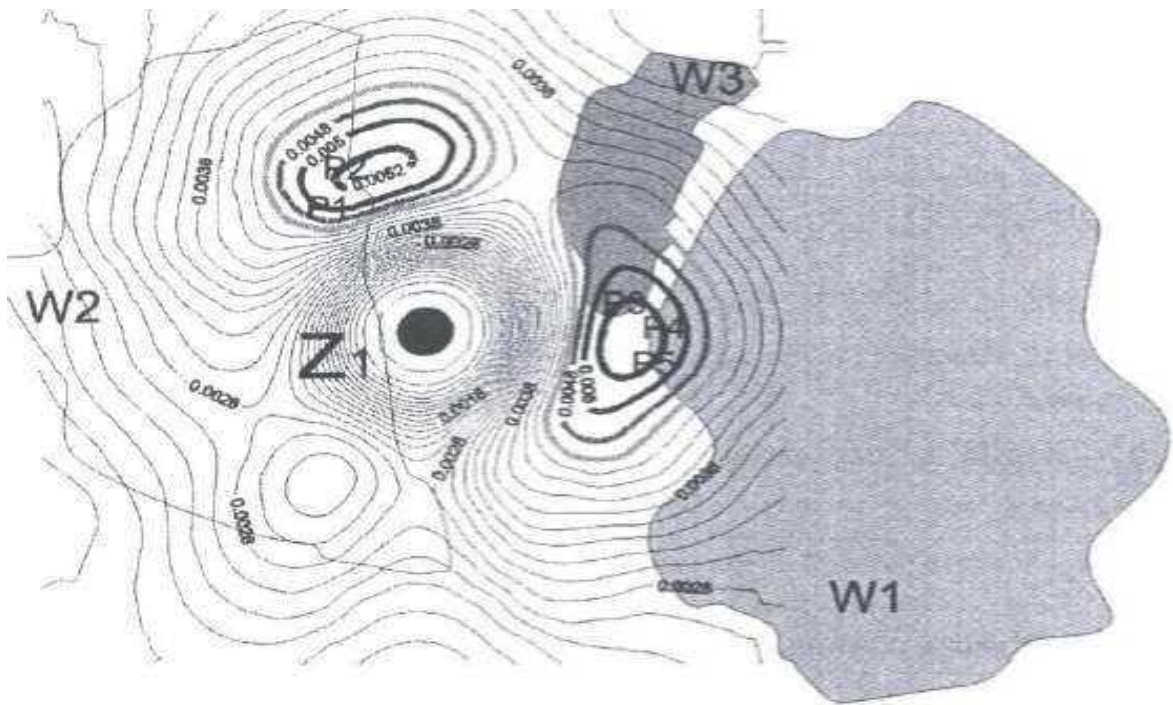


Рисунок 3.1. Поєднання карт розподілу концентрацій NO<sub>x</sub> для точкових джерел

Як видно, слід забруднення роздвоюється. Окрім того, форма сліду може значно змінюватися внаслідок локальних неоднорідностей. Якщо ж розглядається старий слід, то в цьому випадку його топологія ще більше відрізняється від модельованої із-за перенесення радіонуклідів, дезактивації, інженерного перевлаштування районів.

Розробка методики використання методу стохастичної апроксимації для виявлення фактичного забруднення місцевості проводилася з розрахунку на екологічну обстановку, що склалася в результаті поширення.

Таким чином, метод стохастичної апроксимації може використовуватися для виявлення фактичної екологічної обстановки за наявності апріорної інформації про джерела забруднення та у випадку, коли описуване поле близьке до розрахованої моделі.

Розроблені методики, які використовують метод стохастичної апроксимації, є машинними і вимагають для своєї реалізації значних обчислювальних ресурсів.

### 3.1.2. Використання методу лінійної оптимальної інтерполяції для обробки даних моніторингу.

У роботі було запропоноване використання методу лінійної оптимальної інтерполяції для виявлення фактичного забруднення. У цьому випадку, забруднення розглядається як випадковий процес представлений дискретними вимірами, зі своїми  $n$ -вимірними функціями розподілу [94].

На розміри і форму локально-однорідної області впливають багато чинників, але далеко не всі з них будуть відомі при обробці даних моніторингу. Незважаючи на це, з'являється принципова можливість врахувати апріорну інформацію про топологію поля через параметри кореляційної (структурної) функції. Проте вчислити значення цієї функції не завжди представляється можливим, хоча для окремих випадків рішення було знайдене.

У зв'язку з цим, було запропоновано уточнювати межі полігонів сміттєзвалищ для кожного вузла інтерполяції залежно від наявності апріорної інформації про топологію поля моніторингу. Уточнення полягає у виключенні з вибірки вимірів забруднення даних, які не відносяться до вказаної області та включенні тих, які відносяться до неї.

При цьому було показано, що статистичні властивості вибірки покращуються, а кількість інформації в ній збільшується. Якщо апріорна інформація про поле моніторингу відсутня, тобто немає даних про залежність між кореляційним зв'язком і вибраним напрямом, то показник набуває форми круга. У наших дослідженнях було показано, що в цьому випадку

$$R = 2,5 \cdot r \quad (3.9)$$

де  $R$  - радіус локально-однорідної області;

$r$  - середня відстань між точками вимірів полігону у вибірці.

Реально  $R$  не може бути менше нормативної відстані між точками вимірів, встановленого для датчиків автоматизованої системи контролю радіаційної обстановки.

У разі, коли відома інформація про джерела забруднення, але невідомі (чи застаріли) дані про вітер, область забруднення також є кругом, але з вибірки виключаються ті значення моніторингу, які суперечать обмеженням на однорідність і ізотропну.

Якщо ж відома інформація про напрям вітру у момент формування забруднення, то показник набуває форми еліпса. Така конфігурація пояснюється тим, що значення градієнта на однаковому віддаленні від джерела забруднення більше в поперечному перерізі сліду, ніж у подовжньому. Отже можна зробити висновок, що кореляційні зв'язки між перерізами випадкового процесу зберігаються на більшій відстані в подовжньому напрямі сліду, ніж у поперечному.

Тоді визначення меж моніторингу сміттєзвалищ можливо через уточнення його радіусу за допомогою масштабного множника ( $m$ ):

$$\mu_m = \left( \sqrt{1 - \cos^2 \beta} \sqrt{1 - \left[ (\rho_0 - r_0) \exp\left(-\frac{D_a}{2}\right) + r_0 \right]^{-1} r_0^2} \right)^{-1}, \quad (3.10)$$

де  $\beta$  – полярний кут, рад;

$\rho_0$  – параметр, що показує співвідношення довжини і ширини сліду джерела забруднення;

$r_0$  – відстань між перерізами випадкового процесу, при якому значення автокореляційної функції дорівнює нулю;

$D_a$  – дисперсія визначення напрямку вітру.

Проведені дослідження показали, що такий підхід прийнятний при нескладній топології поля моніторингу, яка характерна для забруднюючих слідів впродовж декількох перших годин після їх формування.



За наявності повної інформації про джерела забруднення і метеообстановці можливо провести точніші розрахунки меж, проте це є трудомістким процесом.

Таким чином, запропонована в роботі методика обробки даних моніторингу на основі методу лінійної оптимальної інтерполяції дозволяє:

- накопичувати в розрахункових вузлових точках поля моніторингу інформацію за наданими даними;
- враховувати апріорну інформацію про структуру поля, тобто джерелах забруднення і метеообстановці у момент його формування;
- не робити перерахунку по усій вибірці вимірів при поступленні нової інформації, а тільки в межах полігону;
- проводити обробку даних при середній щільності точок виміру не менше 0, 1 точки на кв. км;
- обробляти інформацію про моніторинг в комп'ютерних програмах в реальному режимі часу.

Головний недолік запропонованого підходу полягає в тому, що метод може давати зміщені оцінки обчислюваних параметрів на межах району ведення моніторингу та, як показали дослідження, досить ефективний при проведенні дослідження потужності забруднення об'ємом 20 – 30 точок виміру.

Окрім того, у розглянутій методиці не враховується можливість побудови розділяючих меж полігону для кожної розрахункової точки поля по аналізу зміни величини і напрямку градієнта на її околиці. Такий підхід може понизити погрішності розрахунку параметрів поля моніторингу.

Наступний момент, який відображається у роботі – це обробка даних моніторингу, які поступили від різних джерел інформації та мають різну погрішність вимірів. Традиційний підхід передбачає, що у разі, якщо є дані про один і той же район, отримані від технічних засобів з різною помилкою виміру, використовуються лише дані, виміряні з меншою погрішністю. Представляється логічним, не ігнорувати таку інформацію, а враховувати її, ввівши додатковий

коефіцієнт достовірності вимірів, значення якого буде обернено пропорційно до помилок виміру.

Слід також відмітити, що існують і інші підходи до обробки даних про забруднення місцевості, подібні до розглянутого вище на основі моніторингових даних. У роботі був розглянутий емпіричний підхід, в якому також передбачалося відновлення значень характеристик поля за допомогою вагових коефіцієнтів. У цьому випадку результати вимірів інтерполювалися на вузли рівномірної сітки по наступній формулі

$$\hat{p} = \frac{\sum_j p_j f_j(p)}{\sum_j f_j(p)}, \quad (3.11)$$

де  $\hat{p}$  – розраховане значення забруднення;

$p_j$  – виміряне значення забруднення;

$f_j(p)$  – вага значення в  $j$ -ій точці;

$$f_j(p) = \exp\left(-\frac{9}{2} \cdot \frac{r_j^2}{(k \cdot d)^2}\right), \quad (3.12)$$

де  $r_j$  – відстань від  $j$ -ої точки до вузла інтерполяції, км;

$d$  – крок сітки, км;

$k$  – підлаштований параметр, що за умовчанням приймається рівним двом.

Усереднювання проводилося по значеннях вимірів, що лежать всередині найближчих до вузла прямокутних осередків сітки до глибини  $k$ .

Інтерполяційна функція для усього району будувалася з кінцевих елементів, кожен з яких був параболою виду

$$P(x, y) = \hat{p}_1 + \left(\hat{p}_4 - \hat{p}_1\right)x + \left(\hat{p}_2 - \hat{p}_1\right)y + \left(\hat{p}_3 - \hat{p}_4 + \hat{p}_1 - \hat{p}_2\right)xy, \quad (3.13)$$

де  $P$  – розраховані значення забруднення у вузлах сітки;

$x, y \in [0, 1] \cdot [0, 1]$  – відносні координати точки всередині осередку сітки з областю визначення на ній.

Подібний вид інтерполяційних елементів автоматично забезпечує безперервність функції в цілому.

Ізолінії можуть бути побудовані як графіки функції, зворотної до інтерполяційної, кожен елемент якої виглядає таким чином

$$y = \frac{P_0 - P_1 - (P_4 - P_1)x}{P_2 - P_1 + (P_3 - P_4 + P_1 - P_2)x}, \quad (3.14)$$

де  $P_0$  – задане значення ізолінії, рад/ч.

Безперервність інтерполяційної функції дозволяє будувати ізолінію всередині кожного осередку незалежно. Такий підхід не вимагає застосування механізму відстежування ізоліній.

Таким чином, методика відновлення поля моніторингу на основі методу лінійної оптимальної інтерполяції на сміттєзвалищах на сьогодні є найбільш перспективною для використання у комп'ютерних програмах, але вимагає подальшого розвитку у частині розробки методу побудови розділяючих меж поля моніторингу по вибірці вимірів і уточнення виду кореляційної і вагової функцій поля моніторингу.

## **3.2. Інтеграція інформаційних ресурсів для моделювання та прогнозування впливу сміттєзвалищ**

### **3.2.1. Геоінформаційні дослідження ґрунтів**

Для вирішення поставлених задач на території Тернопільської області закладена мережа спостережень з масштабом 1 : 50 000. Координати точок визначені за допомогою ArcGis з цифрової карти масштабу 1 : 100 000. Виходячи з

особливостей території досліджень визначено 108 геоекологічних полігонів – точок спостережень, де відбирались проби на різні аналізи (рис.3.2).



Рисунок 3.2. Космічний знімок ландшафтних структур сміттєзвалищ.



Рисунок 3.3. Точки відбору проб полігонів сміттєзвалищ.

При відборі проб для геоекологічних спостережень враховувалися різні типи ландшафтів, геоморфологічні елементи і геологічні структури. Метою було забезпечити покриття всіх важливих геоекологічних зон і структурних одиниць. Розташування геоекологічних полігонів здійснювалося рівномірно з точки зору геохімії, що означає, що кожна вибірка належить одному об'єкту, а розподіл елементів вважається випадковим. У даному випадку об'єктом досліджень є ґрунти, тому при відборі проб було враховано їх розподіл та особливості на території. Були враховані головні ландшафтні елементи з рівномірним покриттям. Для статистичної обробки необхідно було мати 30 або більше проб, тому в даному випадку було зібрано 108 проб. Основним фактором при "прив'язці" полігону до певної точки на мапі була наявність різноманітних ландшафтних одиниць, що залежали від типів ґрунтів, рельєфу, літогенної основи, поверхневих і ґрунтових вод. Метою було охопити всі ці особливості, забезпечивши приблизно 5 геоекологічних точок на кожній одиниці населеного пункту, де розташовані сміттєзвалища. Для аналізу екологічної безпеки територіальних громад Тернопільської області наповнення бази даних здійснюється на основі звітів про забруднення ґрунтів й даних Державного комітету статистики.

### **3.2.2. Структурні характеристики забруднень у ґрунтах сміттєзвалищ.**

Критеріями оцінки забруднення навколишнього середовища є орієнтовно безпечний рівень діяння промислових підприємств, який при їхній одночасній присутності не повинен перевищувати ГДК, а також допустимі значення метанового ряду на сміттєзвалищах (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1. Значення вибухонебезпечних концентрацій метанового ряду

| Гази метанового ряду | Значення вибухонебезпечності, % об. |
|----------------------|-------------------------------------|
| Метан                | 6                                   |
| Етан                 | 4                                   |
| Пропан               | 2, 2                                |
| Бутан                | 1, 9                                |
| Пентан               | 1, 4                                |

Як видно з таблиці 3.1 найвищі концентрації газів територіально виникають у місцях розущільнення та виходу забруднюючих речовин на поверхню.

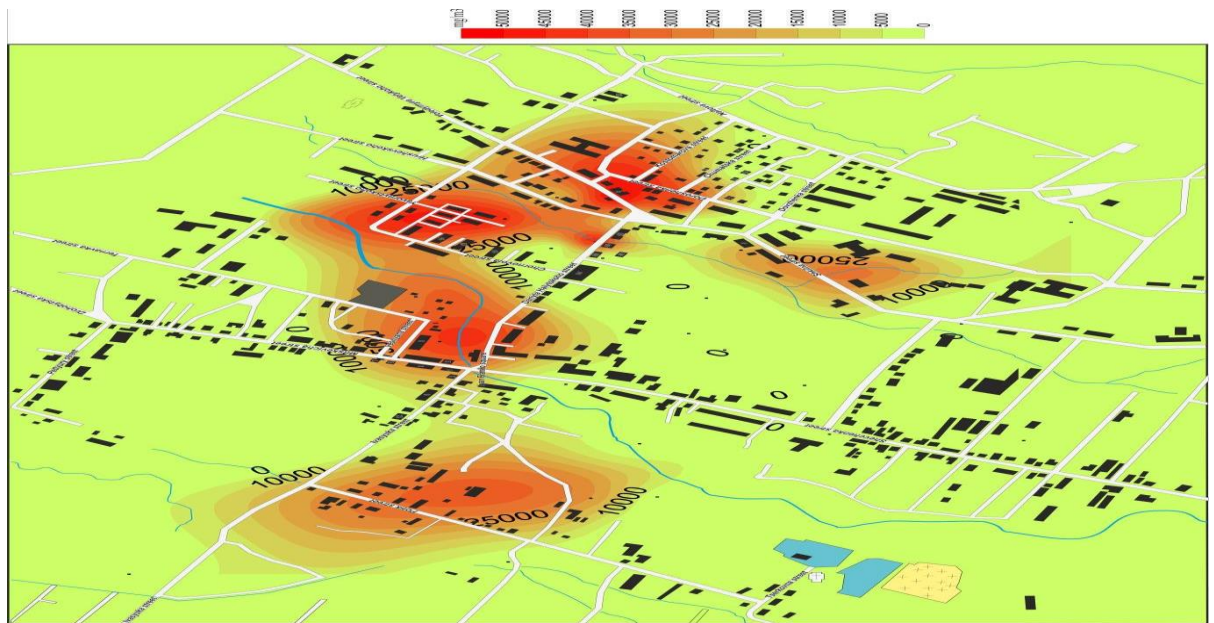


Рисунок 3.4. Забрудненість приземних шару ґрунту на сміттєзвалищах досліджуваних територіальних громад.

Ґрунтовий покрив досліджуваної території сміттєзвалищ внаслідок взаємодії речовинних компонентів, які складають ландшафтну оболонку.

Для побудови еколого-геохімічних карт використовується сумарний показник забруднення (СПЗ)  $Z_c$ , який відображає частину кожного із 8 хімічних елементів-токсикантів у сумарному забрудненні ґрунтів (рис 3.4.)

Для його визначення вміст кожного елемента ( $C_i$ ) ділимо на фоновий вміст ( $C_f$ ) і сумують ці частки:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_f}, \quad (3.15)$$

Отримані величини вводять до бази даних, на основі якої будуються карти розподілу  $Z_c$  на території, яка досліджується.

Забруднення ґрунтів залежить від їхнього типу, техногенного навантаження та використання мінеральних добрив у сільському господарстві, інтенсивності міграції хімічних елементів.

### **3.2.3. Критеріальні характеристики оцінки забруднення ґрунтів і донних відкладів**

За наявними даними, на всій площі досліджень рівень забруднення ґрунтів поблизу сміттєзвалищ припустимий, але проведені на сьогодні дрібномасштабні роботи з вивчення ґрунтів не дають повної уяви про стан їхнього забруднення. На півночі територіальних громад в ґрунтах виділені дві площинні геохімічні аномалії за СПЗ > 16 елементів II класу небезпеки [95]. Забруднення ґрунтів (відносно коефіцієнту концентрації) поблизу смт. Підкамінь: кобальт – 14, мідь – 10, нікель – 3, хром – 5; поблизу смт. Вишнівець: хром – 12, нікель – 9, кобальт – 7, мідь – 6. За вмістом кобальту і хрому площі відносяться до небезпечного рівня забруднення. Інші площинні і локальні аномалії характеризуються вмістом міді, цинку, кобальту нижчим ГДК [96].

Забруднення радіонуклідами (стронцієм-90 з питомою щільністю 0,02 – 0,05 Кі/км<sup>2</sup>) техногенного походження («чорнобильський слід»), зафіксоване на окремих ділянках і відноситься до зони посиленого радіоекологічного контролю. Значення питомої активності цезію-137 не перевищує фонового. Підвищений вміст природних радіонуклідів у верхніх шарах ґрунту (сірі опідзолені ґрунти та

чорноземи) пов'язаний з ландшафтами Малого Полісся. Питома активність (мБк/кг) становить: K-40 – 0,4– 0,5; Ra-226 – 0,02 – 0,03; Ra-228 – 0,03. Контур поширення Ra-226 та Ra-228 повторює контур K-40. Забруднення будівельного сміття, переважно цегли, привнесеними радіонуклідами не виходить за межі I класу. Радіоактивність гірських порід в кар'єрах – у межах фону.

Забруднення донних відкладів визначалось за перевищенням геохімічного фону та сумарним показником забруднення [97]. На карту екологічного стану геологічного середовища винесені аномалії з елементами-забрудниками, які відповідають дуже небезпечному і небезпечному рівням забруднення донних відкладів та точки, що мають СПЗ від 16 до 46,76. Оцінюючи стан забруднення донних відкладів, можна зробити висновок, що для всієї території досліджень характерні помірно небезпечний та припустимий рівні забруднення донних відкладів водних систем та невисокий сумарний показник забруднення (3 – 5).

Забрудниками донних відкладів річок є хімічні елементи: свинець, фосфор, мідь, хром, молібден, кобальт, нікель, марганець, стронцій, барій. Найбільшого техногенного навантаження зазнає р. Серет, основними елементами її забруднення є фосфор, свинець, стронцій, марганець та срібло. Спостерігаються точкові аномалії срібла у її верхів'ях – від 0,8 до 2,0 мг/кг та нижче м. Тернопіль, між смт. Микулинці та с. Варваринці, від 0,5 до 0,1 мг/кг (фонове значення – 0,03 мг/кг). Точкова аномалія фосфору північніше с. Дітківці – 10 500 мг/кг (3 фони) – зумовлена використанням фосфатних добрив.

Точкова аномалія свинцю на південній околиці с. Буцнів – 200 мг/кг (12) – можливо, пов'язана з відходами спиртового заводу або стічними водами. Всі точкові аномалії стронцію – 50 мг/кг (28,6 фону), 25 мг/кг (14,3), 20 мг/кг (4,9) – від с. Настасів до смт. Микулинці, можливо, є плямами від чорнобильської катастрофи. Точкова аномалія марганцю – 10500 мг/кг (17,3 фону та СПЗ 23,7) – зафіксована північніше с. Сітківці. Значення сумарного показника забруднення донних відкладів р. Серет між селами Батьків – Піщане фіксується в інтервалі від 18,2 до 8.



### 3.2.4. Оцінка забруднення поверхневих та підземних вод

Нами встановлено, що стихійні сміттєзвалищ в основному розташовані у місцях русел річок та потічків, які протікають територією громад (рис. 3.5.).



Рисунок 3.5 Забруднення водних об'єктів стихійними сміттєзвалищами

Моніторингові дослідження сміттєзвалищ Тернопільської області показали, що стан поверхневих та підземних вод здебільшого задовільний. Локальний техногенний вплив на підземний водоносний горизонт виявлено зокрема, в районі точки відбору проб 3 поблизу сміттєзвалища м. Тернопіль (рис. 3.6.). Річки території належать до басейнів Дніпра, Дністра, Західного Бугу. За хімічним складом води прісні, гідрокарбонатні кальцієві. Поверхневі води забруднені нітратами, меншою мірою – нітритами. Забрудненість спричинена використанням мінеральних добрив на сільгоспугіддях.

Підземні води відносяться до осадових відкладів і мають різний ступінь захищеності. Незахищеними є ґрунтові води перших від поверхні водоносних горизонтів, які використовуються для господарського водопостачання.

Міжпластові водоносні горизонти неогену, крейди, девону на вододілах захищені, на схилах умовно захищені. За хімічним складом води переважно гідрокарбонатні, менш поширені сульфатно-гідрокарбонатні, хлоридно-карбонатні кальцієві, магнієві-кальцієві з мінералізацією 0,4 – 3 г/дм<sup>3</sup>.

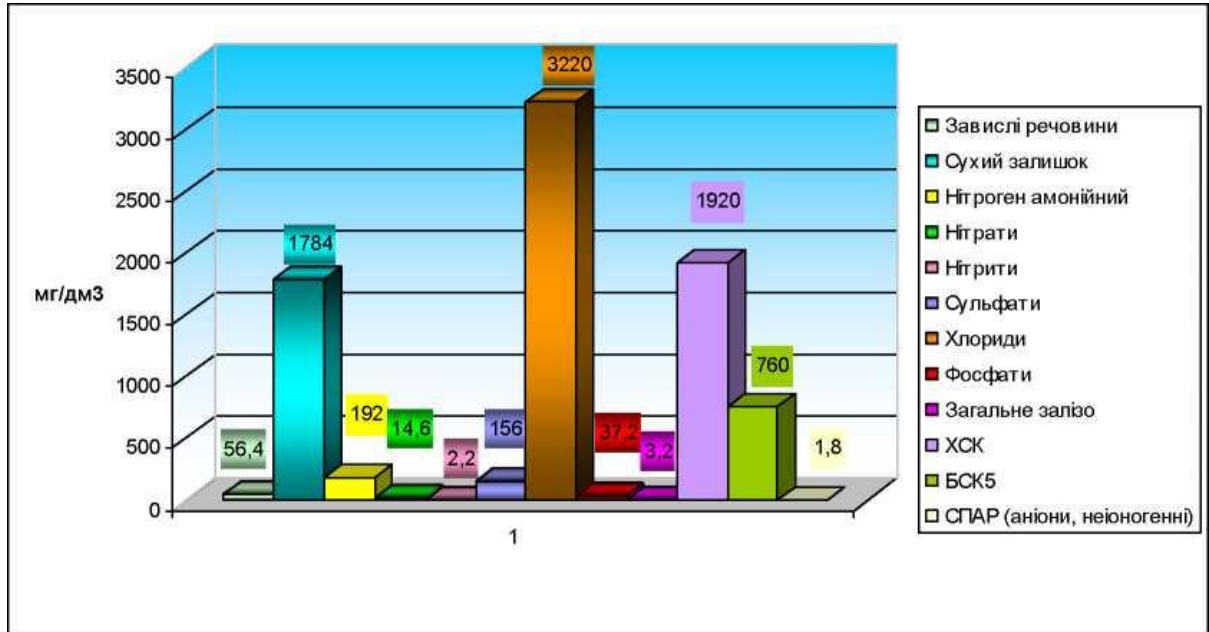


Рисунок.3.6 Гідрохімічні показники забруднення підземних вод сміттєзвалищами

В підземних водах підвищена мінералізація (г/дм<sup>3</sup>) відмічається в колодязях: с. Стриївка – 3,0; с. В. Ходачків – 2,6; с. Чистопади – 1,8; с. Лучківці – 1,4; с. Панасівка – 1,4; с. Пізнанка – 1,3; с. Почапінці – 1,3; с. Ілавче – 1,3; с. Мшанець – 1,3; с. Снігурівка – 1,2; смт. Микулинці – 1,2; с. Погрібці – 1,2; с. Залісці – 1,2; с. Глібів – 1,2; та джерелі с. Яструбове – 1,3.

Основними компонентами забруднення ґрунтових вод є нітрати. Підвищений вміст (мг/дм<sup>3</sup>) нітратів у колодязях: с. В. Ходачків – 88,4 (19,7 ГДК), с. Стриївка – 41,13 (16,5 ГДК) та хлору 1,75 (1,4 ГДК), с. Чистопади – 61,57 (13,7 ГДК), рівень забруднення небезпечний. Вміст нітратів у колодязях: с. Сіножати, с. Ілавче – 18,17, 17,75 (7,1 ГДК), с. Залісці – 9,76 (6,2 ГДК), с. Погрібці – 6,52 (5,9 ГДК), с. Лучківці – 25,29 (5,6 ГДК), с. Підліски – 9,82 (5,3 ГДК), с. Почапінці – 35 (5,2 ГДК),

с. Снігурівка – 5,66 (4,3 ГДК), с. Мар'янівка – 18,62 (4,1 ГДК), с. Хоми – 9,56 (4,0 ГДК).

### **3.2.5. Комплексна діагностика іритантних газів у місцях зберігання та утилізації відходів**

На сьогодні значна кількість ТПВ та їх стрімке зростання є не тільки національною але і загальносвітовою проблемою.

Світове зростання темпів утворення твердих побутових відходів набуває катастрофічних ознак. Згідно даних провідних світових екологічних експертів, у 2020 році на всій земній кулі утворилося понад 2,239 мільярда тонн твердих відходів, що становить 0,798 кілограма на людину на день. Прогнозується, що у зв'язку зі швидким зростанням населення та урбанізацією щорічне утворення відходів буде тільки зростати, порівняно з показниками 2020 року до 2050 року збільшиться на 74% відповідно до 3,878 млрд. тонн щорічно.

За 2021 рік на території України зафіксовано понад 51,2 мільйонів м<sup>3</sup> побутових відходів, що означає орієнтовно понад 10,2 млн. тонн, які захоронюються на понад 6,1 тисяч сміттєзвалищ і полігонів загальною площею майже 9,03 тисяч гектарів.

На даний час в Україні кількість сміттєзвалищ, які перевантажені становить близько 232 од. (3,81%), та відповідно 823 од. (13,82%), які не відповідають нормам екологічної безпеки.

Окрім законних місць розташування відходів та їх утилізації в Україні є велика проблема зі значною кількістю незаконних самовільних звалищ, негативний вплив яких на екологію не враховується у загальних статистичних даних екологічної ситуації в регіоні та в країні в цілому.

Враховуючи вищезначене, покращення систем виявлення та аналізу токсичних виділень у навколишнє середовище є вкрай важливою сьогоденною

необхідністю щодо ефективного контролю екологічної ситуації навколишнього середовища.

З цією метою колективом науковців та автором дисертаційної роботи було розроблено та запропоновано комплексну систему наносенсорної діагностики токсичних виділень звалищ, а саме – іритантних газів (НСНО та  $\text{CH}_3\text{-CO-CH}_3$ ) [98].

Розроблена концепт-модель належить до галузі нанотехнологій, екологічної безпеки, токсикології, професійних захворювань, гігієни і може використовуватись з метою ідентифікації токсичних газів у навколишньому середовищі, у виробничих приміщеннях, на виробництвах, складах, місцях утилізації чи зберігання відходів виробництва тощо.

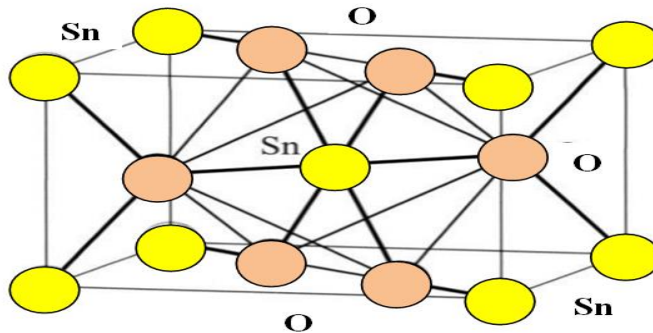


Рисунок 3.7. Структурна схема газових наносенсорів

Основними структурними компонентами моделі є високочутливі та енергонефективні наносенсори  $\text{NiO-SnO}_2$  і  $\text{BaO-Fe}_2\text{O}_3$  (рис. 3.7.)

Недоліком сучасних пристроїв діагностики токсичних газів є визначення показників тільки одного виду газу, а також залежність точності визначення кількості і якості газу тільки від одного виду сенсора  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  з однаковим відрізком часу зворотного зв'язку, відрізка часу відновлення та робочою температурою.

Показники газу досліджуються сенсором тільки одного типу. У момент проведення дослідження немає можливості порівнювати отримані дані з сенсорами іншого типу. Відсутність можливості одночасно порівняти отримані результати між кількома типами резистивних сенсорів вносить негативний вплив на точність

вимірювання та достовірність отриманих результатів.

Завданнями розробки було створення можливості здійснити взаємоконтроль і порівняльний аналіз визначення газів між двома та більше видами газових резистивних сенсорів.

Пропонована система сенсорної нанодіагностики в загальному складається з металевої основи, на якій знаходяться газові наносенсори NiO-SnO<sub>2</sub> і BaO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> з метою визначення кількісних та якісних характеристик іритантних газів HCHO та CH<sub>3</sub>-CO-CH<sub>3</sub>, мікроплати та контролера (рис. 3.8.).

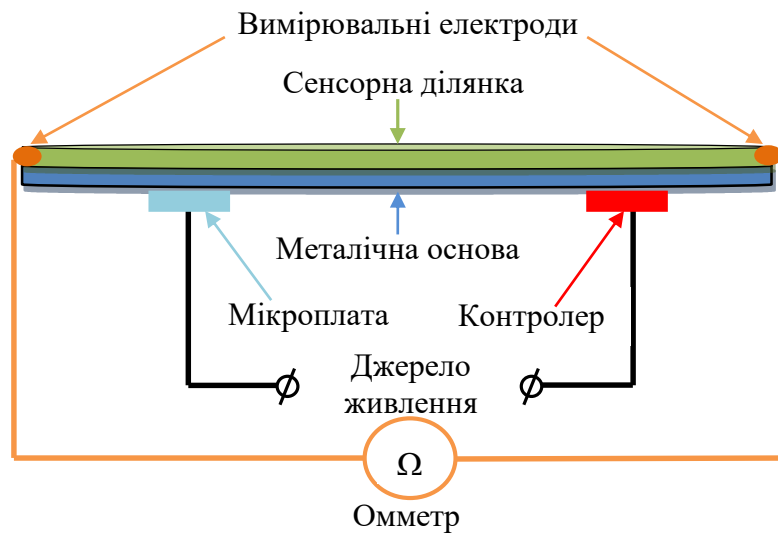


Рисунок 3.8. Загальна схема основних компонентів нанодіагностичної системи

Формальдегід (HCHO), який визначається наносенсором запропонованої концепт-моделі, являє собою токсичний іритант, смертельна доза якого становить 60-90 мл. Він застосовується переважно при проведенні органічного синтезу у промисловості та як розчинник у лабораторіях. Даний газ досить часто зустрічається, як на виробництвах так і на стихійних звалищах у вигляді складового елемента технологічних відходів.

Ацетон (CH<sub>3</sub>-CO-CH<sub>3</sub>) – другий газ, який визначається наносенсорами розробленої системи діагностики і являє собою легкозаймистий іритант. Він

переважно застосовується як розчинник у технологічних процесах, для екстракції речовин із рослин та основою сировини з метою синтезу деяких органічних сполук.

Газові сенсори пропонованої діагностичної системи NiO-SnO<sub>2</sub> і BaO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> знаходяться на протилежних сторонах зовнішньої поверхні металеві основи.

Пристрій застосовують наступним чином: металеву основу (з сенсорами обох видів на ній) розташовують в місцях, де нам необхідно отримати дані визначення показників газів HCHO та CH<sub>3</sub>-CO-CH<sub>3</sub>.

Газові сенсори NiO-SnO<sub>2</sub> і BaO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> розташовуються на металевій основі навпроти один до одного для запобігання впливу один на одного і для покращення точності визначення кількісних та якісних характеристик іритантних газів HCHO та CH<sub>3</sub>-CO-CH<sub>3</sub>. В свою чергу мікроплата і контролер забезпечують фіксацію, обробку і передачу отриманих з сенсорів даних.

Сенсори резистивного типу характеризуються величиною зворотного зв'язку (рис 3.9).

Простота конструкції сенсорів на основі напівпровідникових оксидів металів (SMO – semiconductor metal oxides) та їхня придатність визначати різні види газу у широкому діапазоні зовнішніх умов із забезпеченням необхідних для дослідження характеристиками виділяють їх серед інших газових сенсорів. [99]

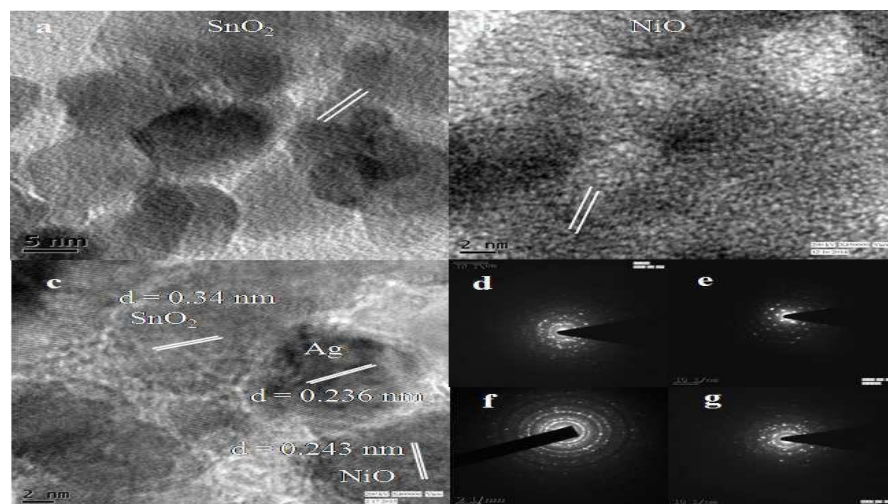


Рисунок 3.9. Електронно-мікроскопічна модель роботи газових сенсорів резистивного типу

Перевагами таких сенсорів являються: достатньо висока чутливість, високий зворотній зв'язок, невеликий час відновлення, широкий спектр газів, які визначаються, висока чутливість виявлення ( $< 1$  ppm), компактність, надійність, простота виробництва та низька вартість. За допомогою SMO сенсорів можна досліджувати навколишнє середовище, підприємства та процеси хімічної промисловості, громадський та військовий транспорт, заклади медицини та сільське господарство. [100, 101, 102, 103]

Пропоновані резистивні наносенсори, які входять до діагностичної системи токсичних виділень яка розпрацьована, поділяються на керамічні та плівкові, відповідно до робочого діапазону температур, а також за типом провідності на сенсори n- та p-типу.

Резистивні сенсори мають більш високу швидкість зворотного зв'язку, яка залежить від відношення зміни опору, зміненого адсорбцією газу до величини опору сенсора на повітрі. [104]

Основою сенсорів є одно та квазіодновимірні блоки наноструктурної архітектури: нановолокна, нанотрубки, нанодротини, порожнисті сфери та напівсфери тощо. Високу ефективність сенсорів забезпечує підвищена площа наносенсорної поверхні аналізатора. [105, 105, 107, 108]

Резистивні сенсори поділяють: у залежності від середовища, на базі якого реалізовано [109, 110, 111, 112].

На основі оксиду стануму  $\text{SnO}_2$  реалізуються орієнтовно 96 % усіх газових сенсорів резистивного типу. У сенсорах такого типу, як і загалом у сенсорах n-типу, за відповідної температури спостерігається електронне збіднення приповерхневої області. [113, 114, 115, 116]

Хемосорбція є однією із причин збіднення кисню, що у свою чергу із приповерхневої області сенсора захоплює електрони, внаслідок чого формується приповерхнева ділянка просторового заряду. У результаті контакту даного сенсора з токсичним середовищем ступінь збіднення цієї області змінюється залежно від типу

газу.

Показники опору сенсора визначають наявність токсичного газу, його кількість та якість. У взаємодії сенсора з воднем фіксується зменшення області просторового заряду (ОПЗ), а у випадку взаємодії з озоном,  $\text{NO}_2$  або  $\text{Cl}_2$  її збільшення. Також одним із різновидів резистивних сенсорів є каталітичні сенсори (для прикладу з використанням у якості основи  $\text{NdFeO}_3$ ). [117, 118, 119, 120, 121].

Морфологічна структура та складові елементи матеріалів пропорційно впливають на робочі характеристики газових сенсорів.

Велика площа поверхні цих структур, їхня висока пористість та ефективно збільшення є їхніми характерними особливостями. [122]

В основі системи лежить застосування високомобільних та енергозберігаючих технологій які побудовані на наноструктурних частинах оксидів металів ( $\text{NiO-SnO}_2$  і  $\text{BaOFe}_2\text{O}_3$ ).

Відносна простота конструкції разом зі збереженням необхідних кількісних та якісних характеристик визначення токсичних іритантних газів, функціонування сенсорів у широкому температурному діапазоні та вологості середовища, яке досліджується, забезпечують переваги сенсорів напівпровідникових оксидів металів (SMO – semiconductor metal oxides).

На основі вищезначеного 96 % усіх газових сенсорів резистивного типу реалізуються на базі оксиду стануму  $\text{SnO}_2$ .

Суттєвою перевагою нанотрубок, при виготовленні сенсорів, являється їхня велика площа поверхні та можливість отримання багат шарових структур.

Нанотрубки отримують за допомогою методу електрохімічної анодизації, формування на полімерному шарі (полівінілацетат), який пізніше видаляється, а також селективного видалення серцевини. Товщина стінок нанотрубок, як правило, становить 20–40 нм.

Нановолокна отримують, завдяки методу електроспінінгу (electrospinning) під дією електростатичних сил, які створює джерело живлення великої напруги.



В основі сенсора знаходиться золь-гель розчини, які містять неорганічні прекуртори та полімери високої в'язкості. В процесі здійснення електроспінінгу відбуваються послідовні реакції гідролізу, конденсації, затвердіння. Нановолокно утворене малими наночастинками ( $D \sim 20 - 25$  нм), зумовлює значне відношення поверхня-об'єм.

Висока ефективність сенсорів, які мають підвищену чутливість, швидкий зворотній зв'язок та малий час відновлення забезпечують значні переваги пропонованої системи наносенсорної діагностики. А також ці сенсори досить прості у виробництві, мають невелику собівартість, що позитивно впливає на економічну доцільність виробництва та широту застосування у різних галузях промисловості. Наносенсори на основі  $\text{NiO-SnO}_2$  і  $\text{BaOFe}_2\text{O}_3$  окрім екологічної безпеки можуть застосовуватись у сільському господарстві, військовому та цивільному транспорті, медицині тощо.

### **Висновки до розділу 3**

1. Встановлено, що прояви негативних екологічних наслідків та загострення екологічної ситуації на сміттєзвалищах територіальних громад Тернопільської області обумовлений поєднанням кількох факторів: тривалим часом його розробки; наявністю значної кількості будівельного сміття. Тому необхідно виважено підходити до вибору нових місць сміттєзвалищ, які підлягають експлуатації.

2. На основі побудови карти забруднення встановлено, що найвищі концентрації хімічних речовин територіально співпадають з розташуванням промислових підприємств.

3. Розроблено та запропоновано комплексну діагностику іритантних газів у місцях зберігання та утилізації відходів на основі наносенсорів  $\text{NiO-SnO}_2$  і  $\text{BaOFe}_2\text{O}_3$ .

4. Запропоновано використання методу лінійної оптимальної інтерполяції для виявлення фактичного забруднення, де забруднення розглядається як випадковий процес представлений дискретними вимірами, зі своїми  $n$ -вимірними функціями розподілу.

## РОЗДІЛ 4. УДОСКОНАЛЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ ІНТЕГРОВАНОГО УПРАВЛІННЯ СМІТТЄЗВАЛИЩАМИ

### 4.1. Алгоритм визначення фонового показника екологічної безпеки

Програма EcoFonIndex, яку ви використовуєте в вашій роботі, призначена для оцінювання стану ґрунту залежно від концентрацій окремих хімічних елементів і природного фону на території. Вона розроблена в середовищі програмування Dev-C++ версії 4.9.9.2 від Bloodshed Software для використання на комп'ютерах з операційною системою MS Windows. Інтерфейс програми EcoFonIndex складається з одного вікна, в якому ви вказуєте концентрацію хімічного елементу у ґрунті та його природний фон. Програма, ймовірно, здійснює обробку цих даних та надає оцінку стану ґрунту на основі заданих критеріїв або алгоритмів.

Використання такої програми дозволяє вивчити динаміку природних змін усіх компонентів довкілля, зокрема ґрунту, під впливом антропогенних факторів [134,135]. Це може бути корисним для оцінки екологічного стану території або прогнозування моделі розвитку техногенних об'єктів. (рис. 4.1).

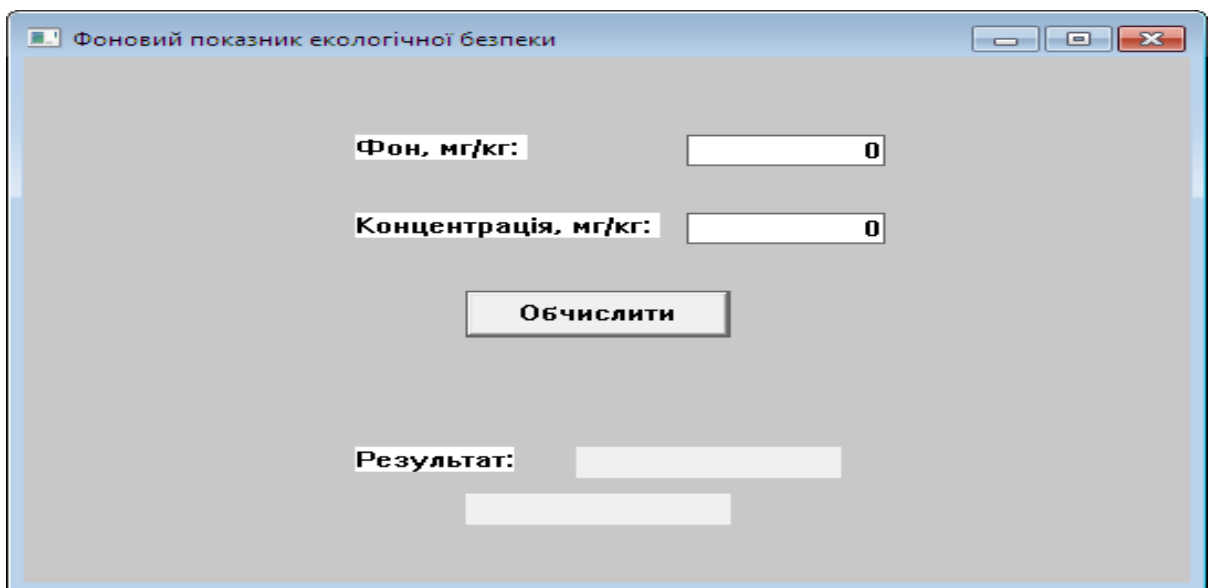


Рисунок 4.1. Вікно програми

Після вводу фону та концентрації у пробі, яка досліджується розраховується «Результат» Максимальне значення 1 відповідає найсприятливішим умовам, а мінімальне 0 – найнесприятливішим умовам.

У відповідні графи (рис. 4.1.) вносими природний фон (мг/кг) і концентрацію (мг/кг) хімічного елементу в ґрунті територій, які досліджуються.

Результат оцінювання стану екологічної безпеки територій виводиться у відповідних вікнах.

Обробка повідомлення про натиснення на кнопку «Обчислити» обчислюється за формулою:

$$f_i(x) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x \in [0.9c_f; 1.1c_f] \\ f(x, 0.9c_f, b_1), & \text{якщо } x < 0.9c_f, \\ f(x, 1.1c_f, b_2), & \text{якщо } x > 1.1c_f \end{cases} \quad (4.1)$$

де  $x$  – концентрація хімічного елемента,  $c_f$  – фонові концентрація хімічного елемента, а  $b_1, b_2$  і  $f$ :

$$b_1 = \sqrt{\frac{\left(\frac{c_f}{3} - 0.9c_f\right)^2}{-2 \ln(0.1)}}, \quad (4.2)$$

$$b_2 = \sqrt{\frac{(3c_f - 1.1c_f)^2}{-2 \ln(0.1)}}, \quad f(x, a, b) = e^{\frac{-1}{2b^2} * (x-a)^2} \quad (4.3)$$

Згідно з вашим описом, текстовий опис стану екологічної безпеки формується за таким правилом:

Якщо числове значення фонового показника екологічної безпеки належить до інтервалу  $[0; 1/8]$ , то текстовий опис буде "катастрофічно".

Якщо числове значення фонового показника екологічної безпеки належить до інтервалу  $[1/8; 2/8]$ , то текстовий опис буде "критично".

Якщо числове значення фонового показника екологічної безпеки належить до інтервалу  $[2/8; 3/8]$ , то текстовий опис буде "передкризово".

Якщо числове значення фонового показника екологічної безпеки належить до інтервалу  $[3/8; 4/8]$ , то текстовий опис буде "незадовільно".

Якщо числове значення фонового показника екологічної безпеки належить до інтервалу  $[4/8; 5/8]$ , то текстовий опис буде "складно".

Якщо числове значення фонового показника екологічної безпеки належить до інтервалу  $[5/8; 6/8]$ , то текстовий опис буде "напружено".

Якщо числове значення фонового показника екологічної безпеки належить до інтервалу  $[6/8; 7/8]$ , то текстовий опис буде "задовільно".

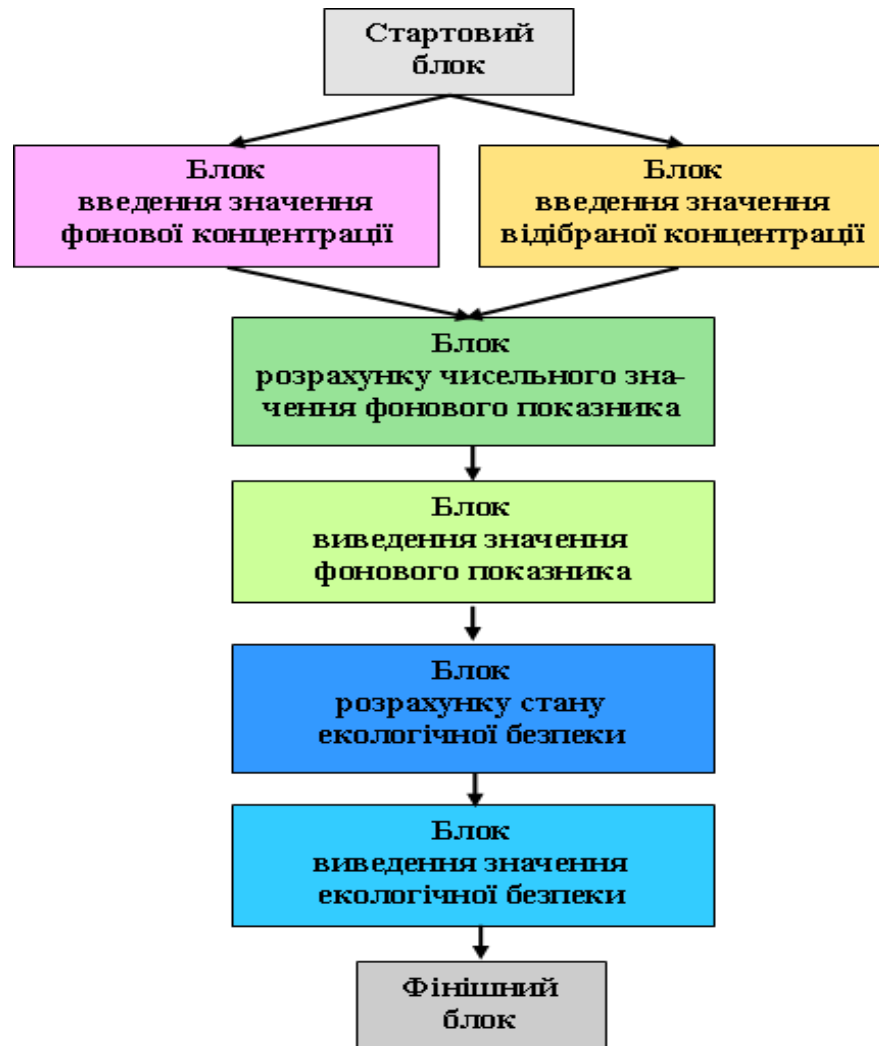


Рисунок 4.2. Блок-схема алгоритму визначення фонового показника екологічної безпеки

Якщо числове значення фонового показника екологічної безпеки належить до інтервалу  $[7/8; 1]$ , то текстовий опис буде "сприятливо".

Таким чином, програма EcoFonIndex виводить на екран числове значення фонового показника екологічної безпеки та текстовий опис стану екологічної ситуації.

Фоновий природний показник хімічного елемента на території дослідження визначається середнім арифметичним значенням із  $2/3$  відібраних проб.

Таблиця 4.1. Фоновий показник екологічної безпеки Тернопільської області

| № проби | As       | Cd       | Pb       | Cu       | Zn      | V        |
|---------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|
| 1       | 0,904681 | 1,004681 | 1,015804 | 0,983979 | 1,00308 | 2,144987 |
| 2       | 0,700299 | 0,900299 | 1,077977 | 1,506077 | 1,76806 | 0,638473 |
| 3       | 0,601271 | 1,098505 | 1,011343 | 0,683979 | 0,72211 | 1,014326 |
| 4       | 1        | 0,944211 | 0,650236 | 1,524473 | 0,83746 | 1,747104 |
| 5       | 2,19005  | 2,004681 | 1,088446 | 1,506077 | 0,94708 | 0,616325 |

Вирази «добре», «краще», «погано», «не задовільно», математично можуть бути визначені лінгвістичною змінною, яка описується набором:

$$\langle X, T(X), U, G, M \rangle, \quad (4.4)$$

де  $X$  – назва змінної;  $T(X)$  – сукупність лінгвістичних значень  $X$ ;  $U$  – множина універсальна;  $G$  – значення термальної множини (синтаксичне правило  $T(X)$ );  $M$  – семантичне правило  $M(X)$ , що позначає нечітку підмножину множини  $U$ .

Таблиця 4.2. Екологічний стан досліджуваної території, що прилягає до полігонів сміттєзвалищ

| № проби | Zn         | Cu         | Pb         | Cd         | As         | V          |
|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1       | сприятливо | сприятливо | сприятливо | сприятливо | сприятливо | сприятливо |
| 2       | задовільно | задовільно | сприятливо | сприятливо | сприятливо | задовільно |
| 3       | сприятливо | задовільно | сприятливо | задовільно | задовільно | сприятливо |
| 4       | задовільно | задовільно | задовільно | сприятливо | задовільно | сприятливо |
| 5       | сприятливо | задовільно | сприятливо | сприятливо | задовільно | задовільно |

Лінгвістична змінна  $X$ , яка визначає "концентраційний показник екологічної безпеки", має терм-множину  $T$ , яка включає такі терми як "катастрофічно", "критично", "передкризово", "незадовільно", "складно", "напружено", "задовільно" і "сприятливо". Універсальна множина  $U$  для  $X$  складається з числового інтервалу  $[0;1]$ .

Використовуючи методологію системного підходу та теоретичні принципи, забезпечується екологічна безпека сміттєзвалищ. Це дозволяє її ефективно використати в сучасних системах управління. Для автоматизації аналізу показників стану екологічної безпеки територій розроблені інтегральні індикатори для кожної сфери екологічного стану території, а також загальний інтегральний показник.

#### **4.2. Алгоритм методу кодування та передачі інформації у системах екологічного моніторингу сміттєзвалищ**

В умовах складної екологічної обстановки ефективного функціонування передавальних пристроїв неможливе, якщо не застосувати адаптаційні елементи, основна задача якої - формування на передавальному боці оптимальних управляючих дій, які змінюють вид кодових конструкцій та кількість використовуваних субканалів. Раціональний вибір кодових конструкцій відповідно до умов моніторингової обстановки, дозволить одночасно підвищити достовірність і швидкість передачі інформації.

Енергетична ефективність є важливим показником ефективності передачі даних. Цей показник вимірюється шляхом визначення необхідної енергії для передачі одного біта інформації. Чим менше енергії потрібно, тим більш енергетично ефективна є система передачі даних.

Підвищення енергетичної ефективності має кілька переваг. По-перше, це дозволяє мінімізувати потужність, яку випромінює передавач, що в свою чергу

сприяє зменшенню електромагнітних перешкод та покращенню електромагнітної сумісності між різними радіоелектронними пристроями. По-друге, підвищення енергетичної ефективності допомагає збільшити прихованість передачі інформації, оскільки менше енергії випромінюється і, відповідно, менше виявляється зовнішніми датчиками. І нарешті, підвищення енергетичної ефективності сприяє мінімізації енергоспоживання системи, що важливо з точки зору збереження ресурсів і продовження тривалості роботи пристроїв на батареї. Інформаційна швидкість визначається як:

$$v_3 = \frac{B}{T_c} = \frac{N \cdot \log_2 M \cdot R}{T_c}, \quad (4.5)$$

де  $T_c$  – тривалість символу,  $R$  – швидкість кодування  $M$  – позиційність сигналів  $B$  – значення інформаційних біт, в одному OFDM-символі,  $N$  – кількість піднесучих біт, [7, 75]. При застосуванні адаптивного розподілу потужності передавального пристрою показник сигнал/завада на вході приймаючого пристрою у всіх підканалах вирівнюються і набирають значення  $h_j^2$ .

Тоді енергетична ефективність визначається, як:

$$\beta_E = v_i / (\gamma h_j^2 + (1 - \gamma) h_0^2), \quad (4.6)$$

де  $h_j^2 = \frac{k E_b}{n G_j}$  – відношення сигнал/шум,  $h_0^2 = \frac{k E_b}{n G_0}$  – відношення сигнал/завада,

$k$  – довжина інформаційної комбінації,  $E_b$  – енергія біта,  $\gamma$  – параметр завади,  $n$  – довжина кодової комбінації,  $G_0$  – спектральна потужності шуму,  $G_j$  – спектральна щільність завади.

Запропонований метод передбачає адаптивну зміну параметрів кодування даних у залежності від зміни завадової обстановки в каналі зв'язку з метою



досягнення максимальної енергетичної ефективності та забезпечення заданого рівня достовірності прийому інформації.

Постановка задачі включає наступні компоненти:

Режими роботи засобів радіозв'язку, такі як OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) і ПППЧ (Прямий Послідовний Повторювач Коду), які визначають основні параметри передачі сигналу.

Параметри передавального пристрою та каналу зв'язку, включаючи потужність корисного сигналу, робочу частоту, тривалість імпульсу сигналу, швидкість кодування, смугу пропускання каналу зв'язку, вид модуляції, коригувальний код, функції Радемахера та Уолша, метод обробки сигналу, вид промислової завади, відношення сигнал/шум та сигнал/завада, а також передаточну характеристику каналу зв'язку  $H(t)$ .

Метою методу є забезпечення максимальної енергетичної ефективності та заданого рівня достовірності прийому інформації шляхом адаптивної оптимізації параметрів кодування даних залежно від зміни умов в каналі зв'язку.

При виконанні завдань максимізуємо величину енергетичної ефективності  $\beta_E$  засобів радіозв'язку при забезпеченні заданого значення достовірності передачі інформації  $P_{ном} \leq P_{ном доп}$

Система рівнянь для розв'язання оптимізаційної задачі має вигляд:

$$\begin{cases} \beta_E = F_1(N, M_f, M, T_c, k, n, h_0^2, h_j^2, \gamma) \rightarrow \max, \\ P_{ном} = F_2(N, M_f, M, k, n, h_0^2, h_j^2, \gamma) \leq P_{ном доп}, \end{cases} \quad (4.7)$$

де  $N$  – кількість елементів функції Радемахера,  $M_f$  – кількість частотних каналів,  $T_c$  – тривалість символу,  $M$  – позиційність сигналів,  $\gamma$  – параметр завади  $k$ , – довжина інформаційної комбінації,  $h_0^2$  – відношення сигнал-шум,  $n$  – довжина кодової комбінації,  $h_j^2$  – відношення сигнал-завада.

Адаптивні методи дозволяють наближатися до оптимального режиму функціонування системи шляхом автоматичної перестройки алгоритмів, зміни

надмірності повідомлень і сигналів, структури кодувальних і декодувальних пристроїв та інших подібних заходів. Ці методи дозволяють системі пристосовуватися до змінних умов роботи, оптимізувати свою продуктивність та досягати кращої ефективності.

Адаптивні методи здатні аналізувати параметри системи та зовнішнє середовище, реагувати на зміни і вносити відповідні корективи у режим роботи. Вони можуть використовувати різні алгоритми адаптації, такі як алгоритми на основі зворотного зв'язку, генетичні алгоритми, нейронні мережі та інші. Завдяки цьому система може підлаштовуватися до змінних умов і досягати кращої продуктивності і якості роботи.

Адаптивні методи особливо корисні у ситуаціях, коли умови роботи системи можуть змінюватися, наприклад, через зміну заводової обстановки, збільшення обсягу даних, зміну шуму в каналі зв'язку тощо. Вони дозволяють системі динамічно реагувати на такі зміни і підлаштовувати свою роботу для досягнення найкращих результатів.

Отже, адаптивні методи є потужним інструментом для оптимізації функціонування системи шляхом автоматичного налаштування і адаптації до змінних умов роботи. Вони дозволяють системі досягати близького до оптимального режиму роботи і покращувати свою продуктивність та ефективність [7, 8, 74].

Метод заснований на представленні ЗРЗ у виді керованої системи, яка працює за принципом відхилення.

Функціонування програмного модуля.

Програмний модуль моніторингу сміттєзвалищ створено у вигляді проблемно-орієнтованого проекту ArcMap. у вигляді документів для виводу до друку у форматі MS Word та MS Excel. В документ Word входить копія карти території, що оцінювалася, та таблиці результатів розрахунку ризиків. Забезпечується можливість коригування та друку результуючого документу

засобами MS Office. За допомогою програмного забезпечення здійснюється формування картографічного вікна з необхідним переліком картографічних шарів, які відображують розподіл значення ризику по території та необхідне картографічне оточення.

Картографічне оточення формується з елементів базових електронних карт території України масштабів 1:500 000 та 1:200 000, які зберігаються. Елементами картографічного оточення є:

- адміністративний поділ – межі області та районів України, який включає полігональні шари (населені пункти, транспортну мережу, тощо);
- гідрографія (основні водойми та річки), яка складається з двох шарів, які доповнюють один одного – лінійний та полігональний шари водостоків та водойм.

Надійність функціонування модуля повинна забезпечуватися використанням виключно ліцензійних програмних продуктів ГІС, серед яких першочерговими є ArcView, SpatialAnalyst, NetWorkAnalyst, а також низки прикладних моделюючих програм, які забезпечують взаємодію з інформаційними ресурсами та підсистемами надзвичайних ситуацій.

Система контролю за сміттєзвалищами передбачає виконання таких функцій:

- забезпечення інформаційного зв'язку зі складовими (класифікатором надзвичайних ситуацій, даними електронного картографічного фонду, базою даних оперативної інформації про надзвичайні ситуації, тощо);
- комплексне оцінювання ризиків життєдіяльності з урахуванням просторового оточення НС та метеорологічних умов засобами просторового аналізу ГІС;
- формування результатів комплексного оцінювання та надання інформації для звітів щодо визначених НС.

Математичне забезпечення програмного модуля повинно представляти результати математичних моделей, методів і алгоритмів, які є основою для

вирішення задач комплексного оцінювання екологічної безпеки території. До складу базового математичного забезпечення мають входити формалізовані методи опису стану та динаміки перебігу процесів формування хімічно небезпечних ситуацій; методи математичного моделювання в умовах невизначеності стосовно процесів формування непередбачених ситуацій; методи просторового аналізу.

Програмне забезпечення програмного модуля має включати наступні компоненти:

- геоінформаційну систему ArcGis 8.3. або вище;
- додаток до ArcGis 8.3 Network Analyst, який забезпечує реалізацію методів мережного аналізу;
- програмний інтерфейс користувача, що є продовженням стандартного інтерфейсу ArcGis 8.3;
- програмні інтерфейси обміну даними між ГІС та інформаційними ресурсами, що забезпечують формування просторового оточення;
- програмне середовище програмного модуля повинно використовувати операційну систему Windows XP.

Для забезпечення ефективної інформаційної взаємодії необхідно забезпечити надійний зв'язок комп'ютерної мережі з наступними інформаційними елементами системи територіального управління:

- базові електронні карти території масштабу 1:200 000 та 1:500 000;
- база даних ПНО, в якій розміщено електронні шари розташування потенційно небезпечних об'єктів по території дослідження.

Програмні засоби ПМОП реалізуються у вигляді комплексу програмних компонентів в середовищі ArcView 8.3, які викликаються з основного програмного меню ArcView 8.3. ArcView 8.3 та функціонує в системному середовищі Windows XP. Програмний модуль створено в системі програмування Visual Basic Application for Arcview 8.3 з використанням бібліотек компонентів ArcObject, які входять до

складу ArcView 8.3 та ряду інших бібліотек та підтримують стандарт Microsoft COM.

Програмний модуль забезпечує підвищену оперативність і надійність комп'ютерної реалізації аналітичних розрахунків та електронного картографування результатів комплексного оцінювання стану сміттєзвалищ.

### **4.3. Технології забезпечення передачі екологічної інформації**

Автоматизована система раннього виявлення екологічних загроз відіграє важливу роль у забезпеченні оперативної та достовірної екологічної інформації для відомчих структур. Ця система здатна контролювати різні речовини, що потенційно можуть негативно впливати на навколишнє природне середовище.

Серед контрольованих речовин в системі можуть бути азот амонійний, мідь, нікель, хром<sup>3+</sup>, БСК5 (біохімічне споживання кисню за 5 днів), завислі речовини, нафтопродукти, нітрати, нітроти, сульфати, фосфати, хлориди, СПАР (суспендовані речовини), залізо загальне, цинк, алюміній, мінералізація, ХПК (хімічне споживання кисню), хлор активний (пов'язаний) та хлор активний (вільний).

Ця система реалізує моніторинг та аналіз великої кількості показників, що дозволяє оперативно виявляти небезпечні екологічні ситуації. Наприклад, збільшення концентрації шкідливих речовин або перевищення нормативних значень може бути індикатором потенційної загрози для навколишнього середовища.

Автоматизована система раннього виявлення екологічних загроз використовує сучасні технології та методи аналізу даних для надання оперативної інформації та підтримки в процесі прийняття рішень щодо виявлення та попередження екологічних загроз. Це дозволяє відомчим структурам реагувати швидко та ефективно на негативні впливи на довкілля. Також контролюються

промислові викиди забруднюючих речовин ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ) в атмосферне повітря, рівень  $\text{O}_2$  та рН вимірюються автоматично [16, 19, 34, 42, 72, 91].

Структурна схема системи виявлення та попередження екологічних загроз сміттєхвалищ вказана на рис. 4.3.

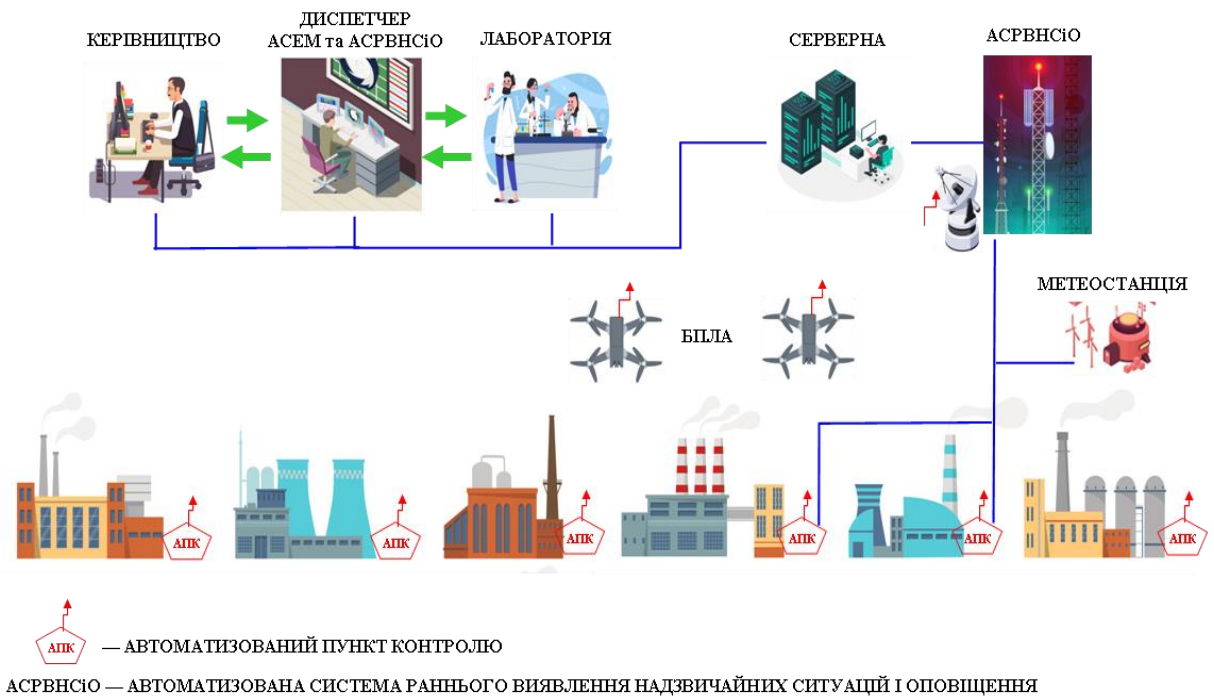


Рисунок 4.3. Схема виявлення та попередження екологічних загроз.

Головними завданнями цього напрямку є ключові аспекти розробки та функціонування системи моніторингу довкілля. Для успішного виконання цих завдань необхідно забезпечити:

1.Інвентаризацію складових інфраструктури: це означає збір та аналіз існуючих компонентів системи моніторингу, включаючи обладнання, мережі зв'язку, датчики, лабораторії та інші елементи.

2.Створення єдиної структури: це передбачає об'єднання різних складових системи моніторингу в одну цілісну систему, яка забезпечує єдиний інформаційний простір та взаємодію між компонентами.

3. Інформаційну взаємодію на різних рівнях: це включає обмін даними та інформацією між різними рівнями системи моніторингу, такими як територіальні, регіональні та національні рівні.

4. Створення центрів моніторингу різних рівнів: це організація спеціалізованих центрів для збору, обробки, аналізу та інтерпретації даних моніторингу на різних рівнях.

5. Ведення баз даних: створення та підтримка баз даних, які містять інформацію про різні аспекти моніторингу довкілля, забезпечуючи доступ до даних для аналізу та прийняття рішень.

6. Правову та нормативну базу: створення відповідних нормативних документів та правових актів, які регулюють функціонування системи моніторингу довкілля та використання отриманих даних.

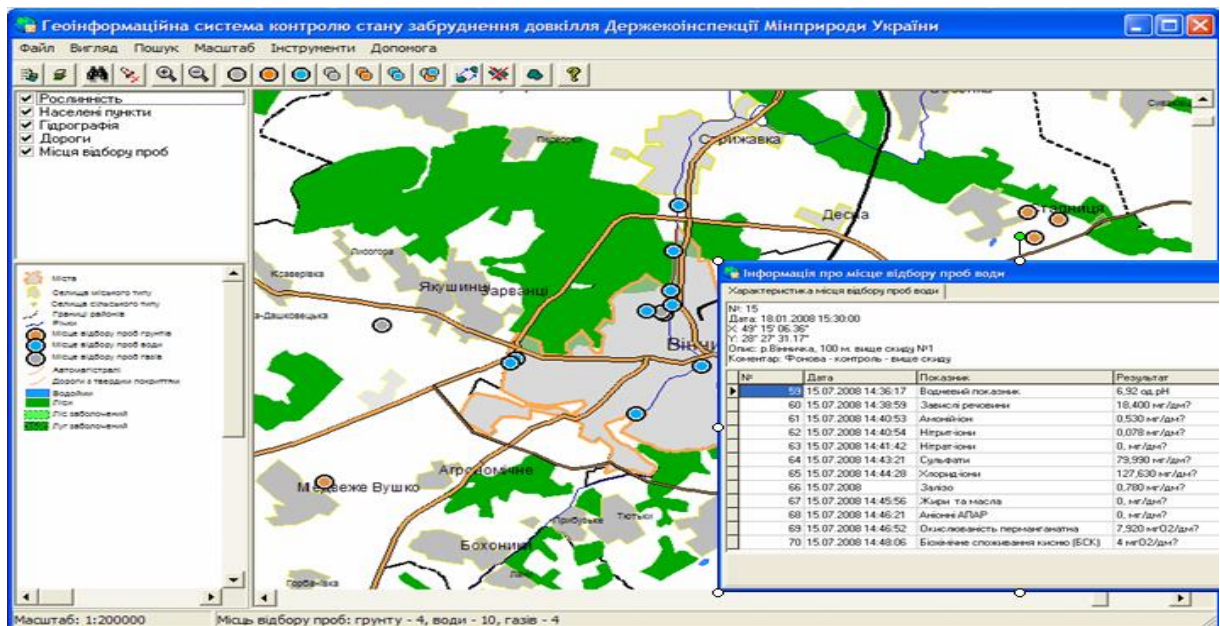


Рисунок 4.4. Робоче вікно ГІС-модуля моніторингу та контролю за станом сміттєзвалищ, скидах та відходах

Для реалізації вищезазначених завдань розроблено систему заходів про стан довкілля. На основі комплексної оцінки моделювання та прогнозування змiну

стану екологічної ситуації удосконалено систему інформаційно-аналітичної підтримки прийняття управлінських рішень. (

В результаті проведення моніторингу Малашівського сміттєзвалища Тернопільської області за допомогою квадрокоптера AUTEL EVO II Dual Rugged Bundle 64 OT V2 отримано ортофотоплан 10 см на піксель в режимі реального часу (рис. 4.5).



Рисунок 4.5. Ортофотоплан Малашівського сміттєзвалища Тернопільської області – 10 см на піксель

Наукові дослідження та обробка даних дозволили створити цифрову модель Малашівського сміттєзвалища Тернопільської області. Координати: 49,672781, 25,250718. Дане сміттєзвалище несанкціоноване, не паспортизоване (рис. 4.6)

Розроблено комплекс програмних і технічних засобів та отримано результати прогнозування довгострокових ризиків надзвичайних ситуацій гідрологічного та гідрометеорологічного характеру сміттєзвалищ на основі даних фізико-математичного моделювання, використання супутникових спостережень та



застосування безпілотних літальних апаратів, побудовано прогнозні карти стану сміттєзвалищ, оцінено ризики забруднень повітря і поверхневих вод.

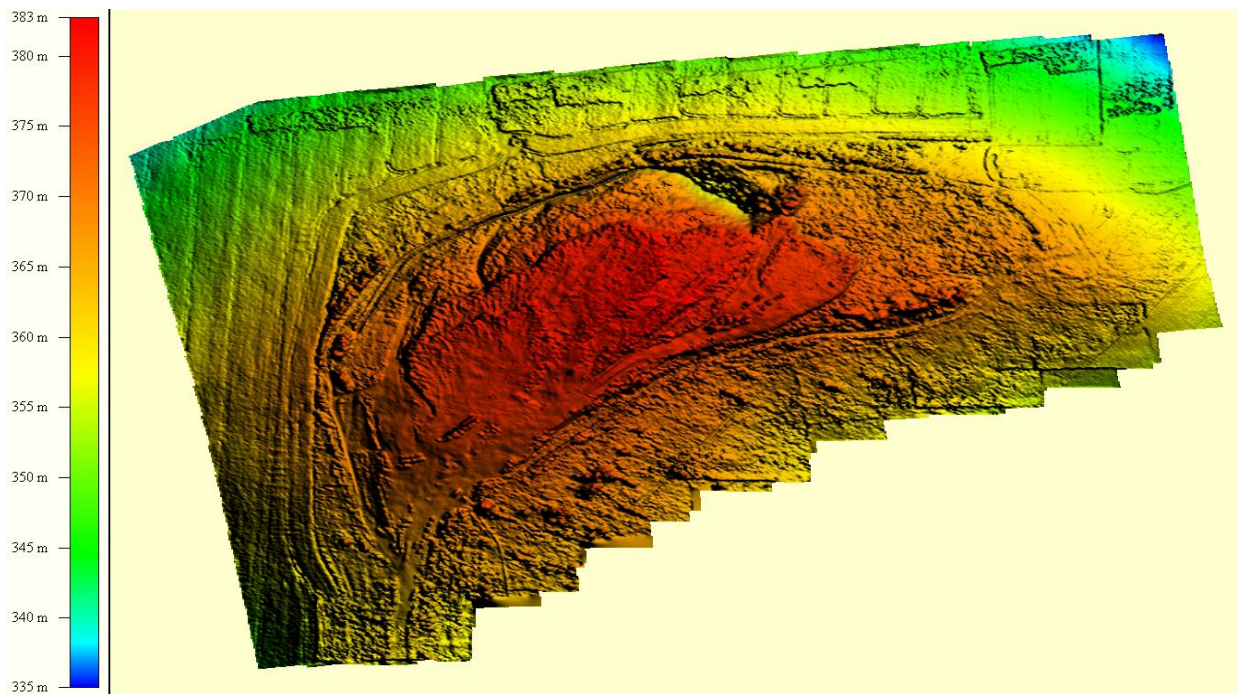


Рисунок 4.6. Цифрова модель Малашівського сміттєзвалища Тернопільської області.

#### **4.4. Створення регіональної системи комплексного моніторингу сміттєзвалищ**

Тернопільська область є одним із розвинених регіонів, де виробляється до 8% сільськогосподарської продукції в структурі країни. Створення регіональної Системи екологічного моніторингу (СЕМ) в Тернопільській області є важливим чинником виявлення критичних загроз антропогенного впливу на довкілля та стан здоров'я населення, а також для поліпшення оперативності та достовірності інформаційного обслуговування органів управління та громадськості. Ця система допоможе забезпечити більш якісне обґрунтування природоохоронних заходів в області.

Створення СЕМ передбачає впровадження комплексу моніторингових методів та технологій, які дозволять зібрати, аналізувати та інтерпретувати інформацію про стан навколишнього середовища. Це включає в себе спостереження за різними параметрами, такими як якість повітря, води, ґрунту, рівень шуму, викиди шкідливих речовин та інші аспекти, що впливають на екологічну ситуацію.

Основною метою створення СЕМ є забезпечення оперативного та надійного моніторингу стану довкілля, а також забезпечення доступу до інформації про екологічну ситуацію для органів управління та громадськості. Це дозволить вчасно виявляти екологічні загрози та приймати ефективні заходи для їх попередження або зменшення впливу. Створення СЕМ передбачає розробку та впровадження необхідних технічних засобів, встановлення мережі спостереження, організацію збору та аналізу даних, створення баз даних та інформаційних систем, а також навчання та підготовку фахівців з моніторингу довкілля.

Цільове створення регіональної Системи екологічного моніторингу є важливим етапом у забезпеченні сталого розвитку та збереженні навколишнього середовища в Тернопільській області.

В системі екологічного моніторингу важливими функціями є:

- спостереження за об'єктами сміттєзвалищ;
- оцінка екологічної ситуації сміттєзвалищ, аналіз та порівняння;
- застосування геоінформаційних технологій, аерокосмічних методів та технологій, для ідентифікації сміттєзвалищ, та виявлення стихійних;
- прогноз змін екологічної ситуації під впливом ареалів забруднення;
- вплив небезпечних екологічних чинників на здоров'я населення;
- управління екологічною ситуацією шляхом підготовки пропозицій по оперативним та перспективним реагуванням;
- надання рекомендацій органам державного управління та органам місцевого самоврядування.

Регіональна Система екологічного моніторингу (СЕМ) має наступні основні функції:

1. Спостереження за об'єктами сміттєзвалищ та їх змінами: СЕМ включає системи спостереження, які відстежують стан сміттєзвалищ, джерел забруднення та їх вплив на навколишнє середовище. Це допомагає виявляти потенційно небезпечні ситуації та реагувати на них.
2. Оцінка і зберігання інформації: СЕМ забезпечує збір, оцінку та зберігання ретроспективної та нової інформації про екологічну ситуацію. Це дозволяє порівнювати дані, аналізувати їх та зберігати для подальшого використання.
3. Прогнозування змін екологічної ситуації та здоров'я населення: СЕМ допомагає прогнозувати можливі зміни в екологічній ситуації та впливі на здоров'я населення. Це дозволяє вживати запобіжні заходи та планувати відповідні заходи для зменшення ризиків.
4. Надання даних державним органам: СЕМ забезпечує передачу отриманих даних та інформації державним органам управління на місцевому та регіональному рівнях. Це допомагає виробляти ефективні політики та приймати рішення з питань охорони навколишнього природного середовища.

Створення регіональної Системи екологічного моніторингу регулюється законодавчими актами, такими як Закони "Про охорону навколишнього природного середовища", "Про охорону атмосферного повітря", "Про охорону земель", водного, земельного та лісового кодекси України. Також існують нормативні документи, що регламентують організацію та проведення моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря, Державна цільова екологічна програма проведення моніторингу навколишнього природного середовища та інші відповідні акти, що забезпечують правову базу функціонування СЕМ. Результати прогнозування стану сміттєзвалищ дозволяють оцінити екологічні перспективи розвитку населених пунктів, визначити перелік впливу негативних факторів. Це дає можливість розробити комплекс заходів по зменшенню їх, негативного впливу, оздоровленню

техногенно-забрудненої території. Запропонований підхід може використовуватись для створення прогностичних моделей урбанізованих ландшафтів і адаптивних цифрових карт (рис. 4.7).

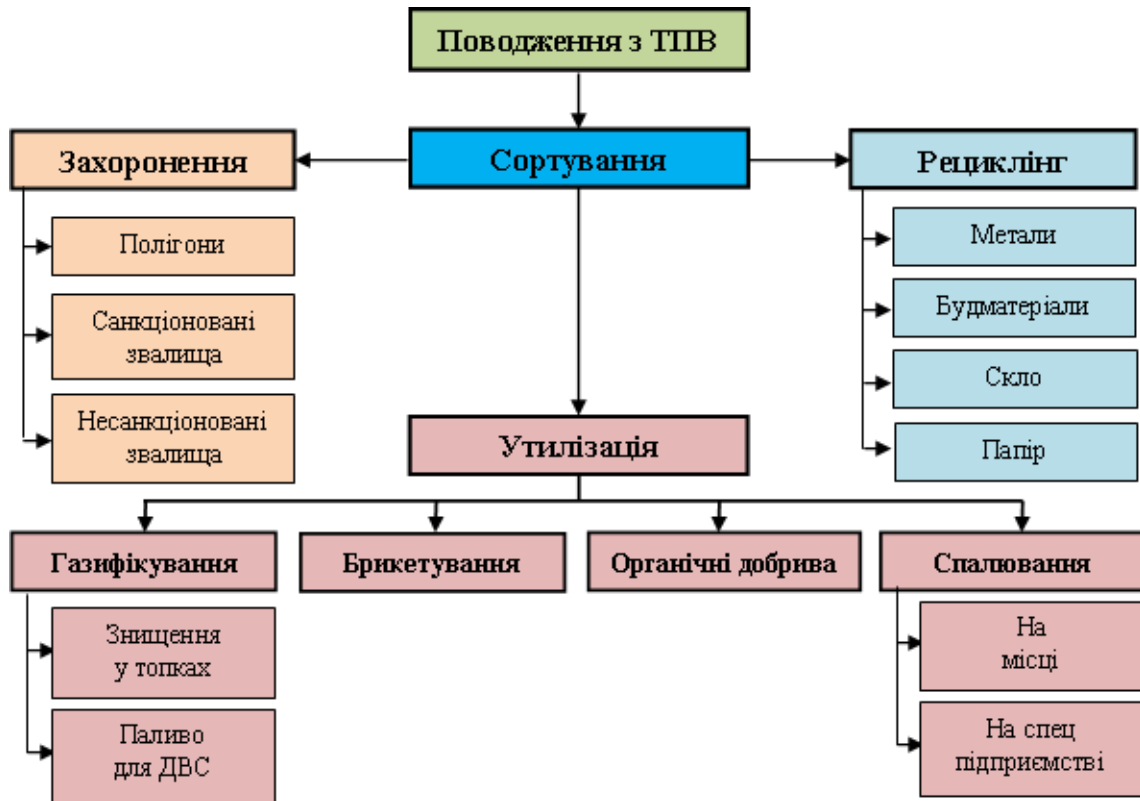


Рисунок 4.7. Схема поводження з твердими побутовими відходами

У процесі досліджень використовується наступна інформація:

- про види, діапазони та час зйомок;
- зібрані дані щодо ландшафтних дешифрувальних ознак території;
- визначені індикатори геоecологічного стану ГЕТС (геоіндикатори);
- проведена автоматизована обробка багатозонального зображення;
- проаналізовано розвиток екзогенних геологічних процесів, дешифровано лінеаментні зони.

У результаті досліджень будуються карти розміщення техногенних об'єктів і тематичні карти на основі космічних даних, виконується порівняльний аналіз ситуаційних дистанційних зображень, отримується оперативна інформація про

зміни стану навколишнього середовища, а за допомогою математичного апарату, класифікацій і моделювання оцінюється геоecологічний стан ГЕТС. Схема вивчення геоекотехнічних систем за допомогою ДЗЗ, коли головним предметом досліджень є геозображення, представлена на рис. 4.8.

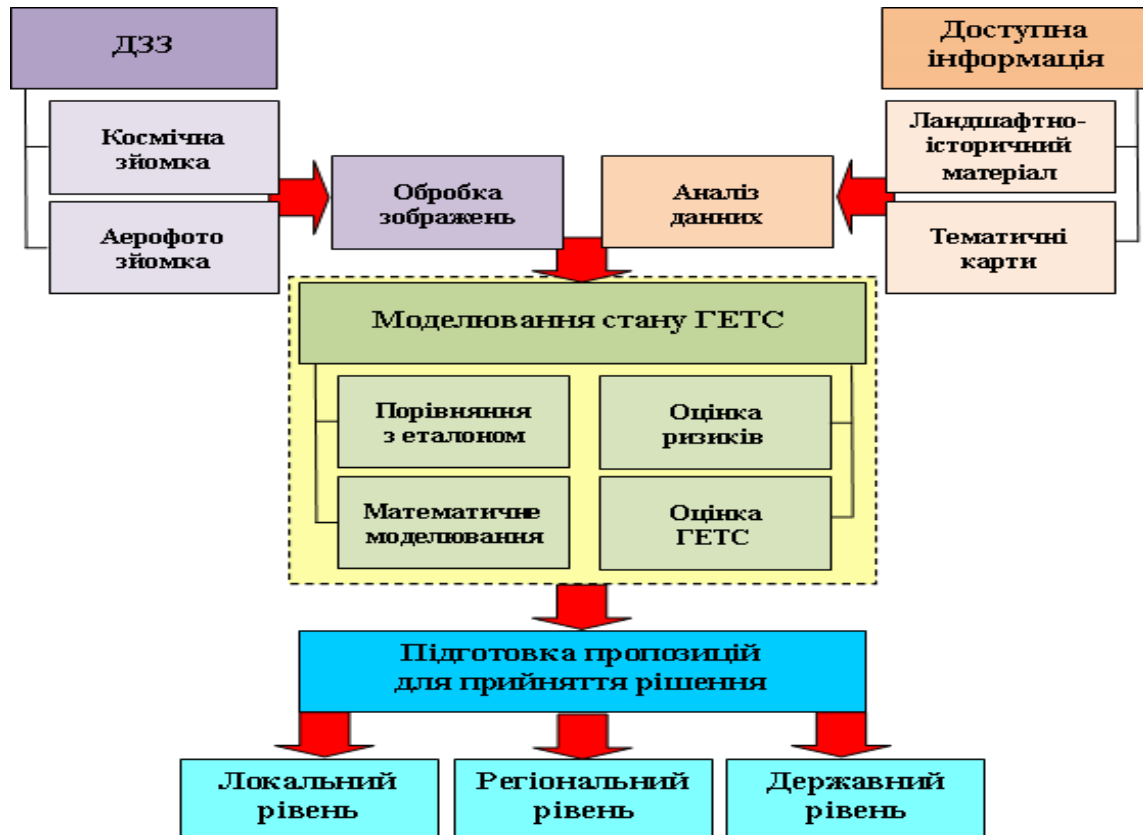


Рисунок 4.8. Схема вивчення ГЕТС за матеріалами ДЗЗ

## Висновки до розділу 4

1. У екологічних дослідженнях групування первинних інформативних даних є узагальнюючим способом встановлення правил віднесення об'єкта до однієї або декількох груп (категорій, класів) на основі вимірювання його характеристик і побудови опису класів.

2. Математичне моделювання визначення впливу чинників на рівень екологічної безпеки території може включати кілька етапів для перетворення початкових даних та відображення важливих властивостей стану екологічної

безпеки, зберігаючи при цьому початкову інформацію. Один із підходів до оцінки впливу чинників на рівень екологічної безпеки є факторний аналіз, який може бути реалізований у два етапи:

Перший етап полягає у використанні методу головних компонент (PCA - Principal Component Analysis). Цей метод дозволяє зменшити розмірність факторного поля шляхом узагальнення значень елементарних ознак. В результаті аналізу визначаються головні компоненти, які максимально пояснюють дисперсію вихідних даних. Головні компоненти представляють собою нові незалежні ознаки, які можуть бути використані для подальшого аналізу.

На другому етапі використовуються отримані головні компоненти для оцінки впливу чинників на рівень екологічної безпеки. Зазвичай це здійснюється за допомогою статистичних методів, таких як регресійний аналіз або кореляційний аналіз. Ці методи дозволяють встановити залежності між головними компонентами та рівнем екологічної безпеки, оцінити вплив кожного чинника та визначити їх вагомість.

3. Запропонований оригінальний метод встановлення рівня екологічної безпеки території, який базується на факторному аналізі та методі головних компонент, є досить перспективним підходом. Цей метод дозволяє узагальнити значення елементарних ознак і знизити розмірність факторного поля, що визначає рівень екологічної безпеки. Факторний аналіз дозволяє виявити головні компоненти, які найбільше впливають на рівень екологічної безпеки території. Ці головні компоненти відображають суттєві залежності та взаємозв'язки між різними факторами. Застосування методу головних компонент дозволяє знизити складність аналізу та узагальнити інформацію до більш зрозумілого та доступного вигляду.

4. Наукові дослідження та обробка даних дозволили створити цифрову модель Малашівського сміттєзвалища Тернопільської області.

5. Запропонована оптимізація методики Байєса прогнозування змін стану показників екологічної безпеки територій.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні вирішено актуальне наукове завдання, яке спрямоване на розроблення теоретичних і прикладних засад побудови інформаційних технологій комплексної оцінки природно-техногенної системи, в якій джерелом впливу є сміттєзвалище та оцінку достовірності передачі інформації з БПЛА в умовах впливу промислових перешкод для управління та моніторингу сміттєзвалищами територіальних громад.

1. Розроблено комплекс програмних і технічних засобів для вирішення задач моніторингу та управління сміттєзвалищ із застосуванням безпілотних літальних апаратів, передачу інформації в інформаційно-керуючу систему в умовах апріорної невизначеності на регіональному та локальному рівнях, як поєднання інформаційно- керуючої та вимірювальної підсистем.

2. Вдосконалення математичної моделі оцінки достовірності передачі інформації по системах безпроводової передачі даних за умов впливу промислових перешкод, незалежно від їх походження, є важливим кроком у забезпеченні екологічної безпеки території та забезпечує зменшення значення відношення сигнал/шум на 0,4дБ. Це дозволяє врахувати різноманітність можливих джерел впливу на безпроводові системи і забезпечити адекватність оцінки їхньої достовірності передачі інформації.

3 Розроблено методологію дослідження еколого-картографічних моделей сміттєзвалищ, яка підвищує ефективність адаптації алгоритмів аналізу зображень територіально-розосереджених мереж, та своєчасно забезпечує інформаційну підтримку управлінських рішень.

4. Розроблено математичну модель оцінки достовірності передачі інформації, що включає поетапне перетворення матриці початкових даних в моделі та дозволяє відображати найбільш суттєві властивості стану екологічної безпеки території,

враховуючи рівень шуму, інтерференції, ефективності передавача та приймача, амплітуди сигналу та інших параметрів.

5. Розроблено картографічну модель моніторингу сміттєзвалищ та місць несанкціонованого складування відходів територіальних громад з використання БПЛА, що враховують склад бортового обладнання, сукупність умов їх використання залежно від маршрутизації руху.

6. Розроблено математичні моделі та побудовано моделі прогнозу оцінок впливу сміттєзвалищ територіальних громад на компоненти навколишнього середовища (грунти, водні ресурси, рослинність). Запропонована методика обробки даних моніторингу на основі методу лінійної оптимальної інтерполяції дозволяє:

- накопичувати в розрахункових вузлових точках поля моніторингу інформацію за наданими даними;
- враховувати апріорну інформацію про структуру поля, тобто джерелах забруднення і метеообстановці у момент його формування;
- не робити перерахунку по усій вибірці вимірів при вступі нової інформації, а тільки в межах полігону;
- проводити обробку даних при середній щільності точок виміру не менше 0, 1 точки на кв. км.

7. Розроблено концептуальну схему системи контролю поведження з відходами територіально розсереджених мереж на основі методу головних компонент, що дозволяє узагальнювати значення елементарних ознак та знижувати розмірність факторного поля.

8. Вдосконалено існуючі методичні підходи та методи контролю за станом природно-техногенної системи із структурним елементом сміттєзвалище в результаті чого, використання мобільних комплексів для оцінки екологічного стану зони впливу сміттєзвалищ із застосуванням геоінформаційних та аерокосмічних технологій дозволило підвищення достовірності результатів на 14-18%.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про відходи» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-вр#Text>.
2. Державний класифікатор України. Класифікатор відходів ДК 005–96 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0089-217-96#Text>.
3. Закон України «Про землеустрій» від 22 травня 2003 р. № 858-IV [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/858-15/ed20141203#Text>.
4. Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» № 2697-VIII. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>.
5. Закон України «Про державний контроль за використанням та охороною земель» від 19 березня 2003 р. № 963-IV [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/sh-ow/963-15#Text>.
6. Закон України «Про охорону земель» від 19 червня 2003 р. №3962-IV [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/sh-ow/962-15#Text>.
7. Hanzo L. L. Adaptive Wireless Transceivers: Turbo-Coded, Turbo Equalized and Space-Time Coded TDMA, CDMA and OFDM Systems / Hanzo L. L., Wong C. H., Yee M. S. – New York: John Wiley & Sons, 2002. – 738 p.
8. Vishwanath S. Adaptive turbo-coded modulation for flat-fading channels / Vishwanath S., Goldsmith A. // IEEE Transactions on Communications. – 2003. – Vol. 51. – P. 964–972.
9. Зайцев С. В. Методи та моделі забезпечення сталої достовірності інформації у безпроводових системах передачі даних /Зайцев С. В. – Чернігів, 2016. – 397 с.
10. Berrou C. Near optimum error correcting coding and decoding: turbo-codes /

C. Berrou, A. Glavieux // IEEE Trans. On Commun. – 1996. – Vol. 44 (10). – P. 1261 – 1271. DOI: 10.1109/26.539767.

11. Divsalar D. Multiple Turbo Codes for Deep-Space Communications / Divsalar D., F. Pollara // TDA Progress Report. Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology – 1995. – Vol. 34, no. 8. P. 42-121

12. Триснюк В. М., Павлишин А. В., Курило А. В.. Аеро геолокаційний екологічний контроль. Monografia pokonferencyjna science, research, development #32. Zbiór artykułów naukowych recenzowanych. Berlin. С. 46-47.

13. Zaitsev S. V. Method for controlling state channel wireless networks under a priori uncertainty / Zaitsev S. V. // International Journal «Information Models and Analyses». – Sofia: ITHEA, 2014. – Vol. 3 (2). – P. 186 – 194.

14. Zaitsev S. V. Method of estimating reliability of information transmission in wireless networks channels increase in noise and interference / Zaitsev S. V. // International Journal «Information Models and Analyses». – Sofia : ITHEA, 2015. – Vol. 4 (1). – P. 87 – 99.

15. Закон України «Про національну безпеку України» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19#Text>.

16. Адаменко О. М. Комп'ютеризована система екологічної безпеки Центральної та Східної Європи / Адаменко О. М. // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування : науково-технічний журнал. - Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2011. - № 2 (4). - С. 4-10.

17. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2010 році. - К. : Центр екологічної освіти та інформації, 2011. - 254 с. - ISBN 978-966-8670-77-0.

18. Розвиток України в умовах глобалізації та скорочення природно-ресурсного потенціалу / [М. М. Коржнев, Ю. Р. Шеляг-Сосонко, М. М. Курило та ін.]; НАН України, Інститут телекомунікацій і глобал. Інформ. Простору. – К.: ЛОГОС, 2009. – 195 с.

19. Триснюк В. М., Триснюк Т. В., Курило А. В., Голован Ю. М., Пашенко Є. Ю. Системний аналіз інформаційно-аналітичного забезпечення органів адміністративного управління. Сучасні інформаційні системи. Науковий журнал. Том 6, №2. Харків 2022. с. 37-41. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2022.2.07>.

20. Technology for improve cyber security using turbo codes / Kazymyr V., Zaitsev S., Ryndych Y. [and other] // Information Technologies in Innovation Business. – 2015. – N 4. – P85 – 88.

21. Vucetic B. Turbo Codes. Principles and Applications / Vucetic B., Yuan J. – Springer Science, 2000. – 307 p.

22. Chaitanya V. K. T. HARQ Systems: Resource Allocation, Feedback Error Protection, and Bits-to-Symbol Mappings / V. K. T. Chaitanya // Linköping Studies in Science and Technology, Dissertations, No. 1526.

23. Yakovenko M. B., Hvozdevych O. V., Kulchyska–Zhygaylo L. Z. Butin O. Z., Voytsykhovska A. S. (2007). Lviv sanitary waste landfill filtrates: impact and neutralization/ Yakovenko M. B., Hvozdevych O. V., Kulchyska–Zhygaylo L. Z.

24. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25 червня 1991 року, N 1264-XII [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>

25. Закон України «Про відходи» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-вр#Text>

26. Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4004-12#Text>

27. Водний кодекс України, введений в дію Постановою Верховної Ради України від 06 червня 1995 року, № 214/95-ВР [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-вр#Text>

28. Земельний кодекс України, введений в дію Постановою Верховної Ради України від 18 грудня 1990 року, № 562-XII [Електронний ресурс]. Режим доступу:

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text>

29. Лісовий кодекс України, введений в дію Постановою Верховної Ради України від 21 січня 1994 року, № 3853-ХІ [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3852-12#Text>

30. Кодекс України про надра, введений в дію Постановою Верховної Ради України від 27.07.1994 року № 133/94-ВР [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/132/94-вр#Text>

31. Закон України "Про поводження з радіоактивними відходами" введений в дію Постановою Верховної Ради України від 30 червня 1995 року, № 255/95-ВР [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/255/95-вр#Text>

32. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» від 23.05.2017. Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 29, ст.315 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text>

33. Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України "Про затвердження інструкції про зміст і складання паспортів МВВ" від 14.01.1999 р. № 12 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0060-99#Text>

34. Постанова Кабінету Міністрів України "Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля" від 30 березня 1998 року, № 391 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-п#Text>

35. Butin O. Z., Voytykhovska A. S. // Natural Water Resources of the Carpathian region (problems of protection and rational use), May 29–30, 2007, Lviv. P.169–174.

36. Шевченко О. А. Еколого–гігієнічна оцінка ступеня небезпеки території муніципальних звалищ та заходи щодо їх оздоровлення / Шевченко О. А.

37. Деркачов Е. А. // Проблеми збору, переробки та утилізації відходів: сб. наук. ст. ІV Міжнар. наук.–практ. конф.–Одеса, 2002. – С.224–227.

38. Рибак С. Стан та ступінь деградації природних комплексів під впливом існування Львівського міського сміттєзвалища та еколого–економічна оцінка наслідків його діяльності на перспективу / Рибак С., Томашівський О. // Проблеми та перспективи розвитку Української науки на початку третього тисячоліття: зб. наук. Праць III Всеукраїнської науково–практичної Інтернет–конференції. Переяслав–Хмельницький, 14–16 грудня 2011р. – С.9–12.

39. Pohrebennyk V., Podolchak I. The efficiency of waste water treatment landfill // Pohrebennyk V., Podolchak I. // International scientific conference “New Trends in Ecological and Biological Research”, September 9<sup>th</sup>–11<sup>th</sup>, 2015, University of Prešov in Prešov, Slovak Republic. –Prešov, 2015.–P.103.

40. Батищев В. В., Кияшкин В. И., Довгань С. А. О составе вод фильтрата на полигонах твердых бытовых отходов. /В.В. Батищев, В.И. Кияшкин//

41. Довгань С. А. // Материалы 2–го Международного Конгресса по управлению отходами. 2001г.– С.139.

42. Триснюк В. М. та Триснюк Т. В. Інформаційні технології та просторово-часові методи регіональної системи моніторингу / Триснюк В. М., Триснюк Т. В. // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: науково-технічний журнал. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (ІФНТУНГ); Івано-Франківськ: Симфонія форте. – 2014, №2 (10) – С. 120-128.

43. Rebecca J. Slack, Jan R. Gronow, David H. Hall, Nikolaos Voulvoulis, Household hazardous waste disposal to landfill: Using LandSim to model leachate migration / J. Rebecca, R. Slack Jan Gronow, David H. Hall, Nikolaos Voulvoulis //Sci.TotalEnviron.2007.–P.501–509.

44. Gronow J. R., Slack R. J., Voulvoulis N. Household hazardous waste in municipal landfills: contaminants in leachate. Sci. Total Environ. 2005, 337, 119–137.

45. Khavkin K. Landslide hazard and stress-strain state of landslide protection structures in seismically hazardous regions of Ukraine (for example, Bukovina): thesis for Technical degree by specialty 05.23.02 - "Fundamentals and foundations" /Khavkin. K.

— К.: SRIBK, 2015. — 188 p.

46. Ушаков С. В. Результаты мониторинга технического состояния металлического покрытия и железобетонного каркаса стадиона «Донбасс Арена» / Ушаков С. В. // *Вестник Южноукраинского государственного университета*. – 2015. – № 1. – С. 172 с.

47. Experimental monitoring and dynamic certification of building structures / Marienkov M. H., Dunin V. A., Margvelashvili N., Farenjuk G. G., Berchun Ya. O. // *Наука та будівництво*. – 2019. – № 22(4). – С. 33-44.

48. Калюх Ю. И. Четырехмодовая модель динамики распределенных систем / Калюх Ю. И., Берчун Я. А. // *Проблемы управления и информатики*, № 1, 2020. – С. 5-15.

49. Про можливість багатохвильової ідентифікації дефектів у палях / Трофимчук О. М., Калюх Ю. І., Дунін В. А., Берчун Я. О. // *Кибернетика и системный анализ*, № 4, 2018. – С. 98-108.

50. Identification of defects of the piles with reflected waves / Lebid O., Kaliukh I., Berchun Ya., Chernyshev D. // *Екологічна безпека*. – 2018. – № 1 (25). – С. 64-76.

51. Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд: ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 / Бабік К., Калюх Ю., Мар'єнков М. Берчун Я. та ін. // [Чинні від 01 квітня 2017 року]. – К. : Мінрегіонбуд, 2017. – 42 с. – (Державні будівельні норми України).

52. Експериментально-аналітичні дослідження технічного стану залізничних протизсувних споруд під дією динамічних навантажень / Калюх Ю. І., Дунін В. А., Берчун Я. О., Самойленко С. М. // *Екологічна безпека*. – 2017. – № 3-4 (24). – С. 148-155.

53. ДБН В.1.2-12-2008 «Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки» - К.: Укрбудархінформ, 2007. – 34 с. в 2012 г. / Ушаков С. В. // *Світ геотехніки*. – 2013. – №1. – С.16-21.

54. Proceedings of the fib Symposium Tel Aviv 2013, Avraham N. Dancygier: Tel Aviv, Israel, - 722 p.

55. Aizhong Ding, Zonghu Zhang, Jiamo Fu and Lirong Cheng, Biological control of leachate from municipal landfills /Aizhong Ding, Zonghu Zhang, Jiamo Fu and Lirong Cheng //Chemosphere, 2001, V.44, Issue 1 – P. 1–8.

56. Клименков О. А. Теоретико-методологические и практические аспекты мониторинга зданий и оползнеопасных территорий / Клименков О. А., Берчун Я. О. // 15 Міжнародна науково – практична конференція «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях», Матеріали 15-й Міжнародної науково-практичної конф. (м. Київ, Пуща-Водиця, 3-6 жовтня 2016 р.).- К.:ТОВ «Видавництво Юстон», 2016. - С. 152-154.

57. Dynamic response of a pile embedded into a layered soil / Martinelli M., Burghignoli A., Callisto L.// Soil Dynamics and Earthquake Engineering. — 87, 2016. — P. 16-28.

58. Impact of Sequential Ground Motion Pairing on Mainshock-Aftershock Structural Response and Collapse Performance Assessment / M. Shokrabadi, H. V. Burton, J. P. Stewart // Structural Engineering. — 144 (10), 2018. — 04018177.

59. Гурник А.В. Застосування інтелектуальної сенсорної техніки для моніторингу та пошуково-рятувальних робіт /А.В. Гурник, С.В. Валуйський // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Вып. 46. – 236 с.

60. Глотов В., Церклевич А. Аналіз і перспективи аерознімання з безпілотного літального апарата // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2014. – Вип. I (27). –С. 131-136.

61. Sadasivan S. Acoustic nature of an unmanned air vehicle exploitation for aircraft localisation and parameter estimation / S. Sadasivan, M. Gurubasavaraj, S.R. Sekar // Eronautical DEF SCI J. 2001. Vol. 51, № 3. P. 279-283.

62. Харченко О.В. Розвідувальні безпілотні авіаційні комплекси у єдиній системі повітряно го спостереження в Україні /О.В. Харченко, С.О. Богославец //

Збірник наукових праць державного науково-дослідного ін-ту авіації. – 2013. – Вип. 16. – С. 6-12.

63. Kartashov V.M., Oleynikov V.N., Sheiko S.A., Korytsev I.V., Babkin S.I., Zubkov O.V., Anokhin M.A. Information characteristics of sound radiation of small unmanned aerial vehicles // Telecommunications and RadioEngineering.2018. Vol. 77, №10.-P.915-924.

64. Moses A. Radar-based detection and identification for miniature air vehicles / A. Moses, M. J. Rutherford, K. P. Valavanis // IEEE International Conference on Control Applications. 2011. September 28-30.

65. Kartashov V.M., Tikhonov V.A., Voronin V.V. Features of construction and application of complex systems for the atmosphere remote sounding // Telecommunications and Radio Engineering. 2017. Vol. 76, №8. P.743-749.

66. Semenets V. V., Kartashov V.M., Leonidov V. I. Registration of refraction Phenomenon in the Problem of acoustic Sounding of Atmosphere in Airport Zone // Telecommunications and Radio Engineering. 2018. Vol. 77, №5.P.461-468.

67. Даник Ю.В., Бугайов М.В. Аналіз ефективності виявлення тактичних безпілотних літальних апаратів пасивними та активними засобами спостереження // Зб. наук. праць ЖВІ ДУТ. Інформаційні системи'15. 2015. Вип.10. С.5-20.

68. Application of a Probabilistic Assessment of the Permanent Seismic Displacement of a Slope / Y. Wang, E. M. Rathje // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. — 144 (6), 2018. — 04018034.

69. System identification of tunnel response to ground motion considering a simplified model / R. Fuentes, A. Alonso-Rodriguez, N. Nikitas, J. Knappett, G. Kampas, I. Anastasopoulos // Frontiers in Built Environment. — 4, 2018. — P. 1-50.

70. Design and built of a ground reinforced embankment for the protection of a provincial road (Assisi, Italy) against rockslide / M. Balducci, R. Regni, S. Buttiglia, R. Piccioni, L. D. Venanti, N. Casagli, G. Gigli // Proc. XXIV Conv. Naz. Geotecnica, AGI, Napoli, 22th- 24th June 2011.



71. Машков О. А., Триснюк В. М., Мамчур Ю. В., Жукаускас С. В., Нігородова С. А., Курило А. В. Новий підхід до синтезу відновлювального керування для дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного моніторингу. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. Науково-технічний журнал. №1 (19)., Івано-Франківськ 2019 р. С. 69-75.

72. Триснюк В. М., Шумейко В. О., Триснюк Т. В., Курило А. В., Голован Ю. М., Мирончук В. В. Екологічна безпека Карпатського регіону в умовах техногенного пилового забруднення атмосферного повітря. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Випуск 1(59) 2020. С. 127-131.

73. Rose J. L. Satellite communications in the 30/20 GHz band / J. L. Rose //Satellite Communications– 1985. – P.155 – 162.

74. Otsuki S. Square – QAM adaptive modulation/ TDMA / TDD system using modulation level estimation with Walsh function / S. Otsuki, S. Sampei, N. Morinaga // Electronics Letters. – 1995. – Vol. 31. – P. 169 – 171.

75. Зайцев С. В., Приступа В. В., Василенко В. М. Оцінювання завадозахищеності безпроводних мереж із сигналами OFDM з внутрібітовою псевдовипадковою перебудовою піднесучих частот. Вісник Чернігівського державного технологічного університету, 2013. №. 2(65). С. 192 – 202.

76. Зайцев С. В., Казимир В. В., Василенко В. М., Яриловец А. В. Адаптивний вибор параметров S-случайного перемешителя в беспроводных системах передачи данных с турбокодированием. Радиоэлектроника. Известия высших учебных заведений, 2018. Том 61, №1 (667). С. 22 – 33.

77. Трофимчук О. М., Василенко В. М., Зайцев С. В. Аналіз систем автоматичного запиту на повторну передачу. Математичне моделювання в економіці, 2018. Том. 3 (12). С. 41 – 51.

78. Василенко В. М., Зайцев С. В., Лівенцев С. П., Дунай В. П. Адаптація

s-випадкового перемежувача кодеків турбокоду. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях : зб. наук. праць за матеріалами XV міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, Пуща-Водиця, 3 - 6 жовтня 2016 р.). К. ; Х. : НАН України, Ін-т телекомунікацій і глоб. інформ. простору [та ін.], 2016. С. 189–192.

79. Турбокоды и их применение в телекоммуникационных системах / В. Л. Банкет, С. Д. Прокопов, А. Г. Постовой, Ф. В. Топорков // Зв'язок. – 2004. – № 3. – С. 45 – 47.

80. Алгоритм кодирования декодирования турбокодов / В. Л. Банкет, С. Д. Прокопов, А. Г. Постовой, Ф. В. Топорков // Зв'язок. – 2004. – № 4. – С. 45 – 46.

81. Kamio Y. Performance of modulation-level-control led adaptive-modulation under limited transmission delay time for land mobile communications / Y. Kamio, S. Sampei, H. Sasaoka, and N. Morinaga // Proceedings of the IEEE VTC'95– 1995. – P.221 – 225.

82. Vucetic B. An adaptive coding scheme for time-varying channels / B. Vucetic // IEEE Transactions on Communications. – 1991. – Vol. 39. – P. 653 – 663.

83. Cox R.V. Subband speech coding and matchedconvolutional channel coding for mobile radio channels / R. V. Cox, J. Hagenauer, N. Seshadri, C.-E. W. Sundberg // IEEE Trans. Signal Proces.– 1991. – Vol. 39. – P.1717 – 1731.

84. Yun L. C. Variable Quality of Service in CDMA systems by statistical power control / L. C. Yun, D. G. Messerschmitt // IEEE Intl. Commun. Conf. Rec.– 1995. – P.713 – 719.

85. Василенко В. М. Адаптивный выбор параметров турбокодов в условиях действия мощных шумовых помех. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях : зб. наук. праць за матеріалами XVII міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 25 - 26 вересня 2018 р.). К. ; Х. : НАН України, Інститут телекомунікацій і глобального

інформаційного простору [та ін.], 2018. С. 106–108.

86. Василенко В., Зайцев С. Формирование гибридного запроса повторной передачи в условиях неопределенности. IV Міжнародна науково-практична конференція «Україна – ЄС. Сучасні технології, економіка та право» (м. Кошице, Словаччина, 2018 р.). С. 123–126.

87. Василенко В. М. Аналіз ефективності перемешувачів турбокодів. III Міжнародна науково-практична конференція «Теорія та практика актуальних наукових досліджень» (м. Запоріжжя, 2018 р.). С. 27–31.

88. Trysnyuk V., Prystupa V., Trysnyuk T., Vasylenko V., Kurylo A. Comprehensive environmental monitoring based on aerospace and ground research data Geoinformatics 2020 11-14 May 2020, Kyiv, Ukraine p.1 – 4. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo066>.

89. Trysnyuk V. M., Shumeiko V. O., Trysnyuk T. V., Kurylo A. V., Golovan Y. M., Myronchuk V. V. [2020]. Ecological safety of the Carpathian region in the conditions of technogenic pilot air pollution. Collection of scientific works "Control, navigation and communication systems". Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk. Issue 1 (59) 2020, P. 127-131.

90. Андрущенко Р. Б., Бескостий А. Д., Зайцев С. В., Усов Я. Ю., Письменюк М. А., Василенко В. М.. Методи підвищення цілісності пакетів передачі даних систем публічного управління. Тридцята міжнародна науково-практична конференція «Математичне та імітаційне моделювання систем МОДС 2018» (м. Київ-Чернігів-Жукін, 25 - 29 червня 2018 р.) М-во освіти і науки України, Нац. Акад. наук України, Академія технологічних наук України, Інженерна академія України та ін. – Чернігів : ЧНТУ, 2018. С. 139–141.

91. 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.

92. Goldsmith A. J. Adaptive Coded Modulation for Fading Channels / A. J. Goldsmith, S. G. Chua // IEEE Transactions on Commun. – 1998. – Vol. 46. – P. 595 – 602.

93. Chung S. T. Degrees of Freedom in Adaptive Modulation: A Unified View / S. T. Chung, A. J. Goldsmith // IEEE Transactions on Commun. – 2001. – Vol. 49. – P. 1561 – 1571.

94. Елементи теорії випадкових процесів: Навч. посіб. / Ю. К. Рудавський, П. П. Костробій, О. Ю. Лозинський, Д. В. Уханська; Нац. ун-т «Львів. політехніка». — Л., 2004. — 239 с.

95. Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 12.05.2010 року № 400 «Про затвердження Державних санітарних норм та правил "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною».

96. Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 14.01.2020 № 52 «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць».

97. Балюк С. А. Оцінка забруднення зрошувальної води і ґрунтів важкими металами / С. А. Балюк, В. Я. Ладних, Л. І. Мошник // Вісник аграрної науки. – 2003. – №1. – С. 65 – 68.

98. Патент на корисну модель 145351. Комплекс діагностики іритантних газів  $\text{HCHO}$  та  $\text{CH}_3\text{-CO-CH}_3$  на основі наносенсорів  $\text{NiO-SnO}_2$  і  $\text{BaOFe}_2\text{O}_3$  в місцях зберігання та утилізації відходів. / Павлишин А.В., Триснюк В.М., Курило А.В., Голован Ю.В. // 10.12.2020р.

99. Q.Bao, K.P. Loh Graphene photonics, plasmonics, and broadband optoelectronic devices ACS Nano, 6 (2012), pp. 3677-3694 sensors Anal. Bioanal. Chem., 406 (2014), pp. 6903-6916

100. Chabanis G., Parkin I. P. and Williams D. E. (2003) “A simple equivalent circuit model to represent microstructure effects on the response of semiconducting oxide-based gas sensors”, *Meas. Sci. Technol.*, vol. 14, pp. 76–81.

101. Q. He, S. Wu, Z. Yin, H. Zhang Graphene-based electronic sensors *Chem. Sci.*, 3 (2012), pp. 1764-1772

102. Yu-Feng Sun, Shao-Bo Liu, Fan-Li Meng, Jin-Yun Liu, Zhen Jin, Ling-Tao Kong and Jin-Huai Liu (2012) “Metal Oxide Nanostructures and Their Gas Sensing Properties: A Review”, *Sensors*, vol. 12, pp. 2610–2631.

103. Ling Zhang, Jifan Hu, Peng Song, Hongwei Qin, Kang An, Xingdong Wang and Minhua Jiang (2006) “CO-sensing properties of perovskite  $\text{La}_{0.68}\text{Pb}_{0.32}\text{FeO}_3$ ”, *Sens. Actuators*, vol. 119, pp. 315–318.

104. Taylor RF, Schultz JS (eds) *Handbook of chemical sensors and biosensors*. IOP Publishing, Bristol (1996)

105. Rothschild A. and Komem Y. (2004) “The effect of grain size on the sensitivity of nanocrystalline metal-oxide gas sensors”, *J. Appl. Phys.*, vol. 95, pp. 6374–6380.

106. Ghenadii Korotcenkov *Handbook of Gas Sensor Materials. Properties, Advantages and Shortcomings for Applications. Volume 1: Conventional Approaches*. Springer Science+Business Media, LLC 2013

107. Yoshiteru Itagaki, Masami Mori, Yuuki Hosoya, Hiromichi Aono and Yoshihiko Sadaoka (2007) “O<sub>3</sub> and NO<sub>2</sub> sensing properties of  $\text{SmFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$ ”, *Sensors and Actuators B*, vol. 122, pp. 315–320.

108. Bukhari S. M. and Giorgi J. B. (2013) “Ni doped  $\text{Sm}_{0.95}\text{Ce}_{0.05}\text{FeO}_3$ -d perovskite based sensors for hydrogen detection”, *Sens. Actuators B*, vol. 181, pp. 153–158.

109. Mulmi S., Hassan A., Pereira-Almao P. and Thangadurai V. (2013) “Detecting CO<sub>2</sub> at ppm level in synthetic air using mixed conducting double perovskite-type metal oxides”, *Sens. Actuators*, vol. 176, pp. 598–605.

110. Ho CK, Itamura MT, Kelley M, Hughes RC Review of chemical sensors for in-situ monitoring of volatile contaminants. Sandia Report SAND2001-0643, Unlimited release, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM (2001).

111. Marikutsa A., Rumyantseva M., Baranchikov A. and Gaskov A. (2015) “Nanocrystalline BaSnO<sub>3</sub> as an Alternative Gas Sensor Material: Surface Reactivity and High Sensitivity to SO<sub>2</sub>”, *Materials*, vol. 8, pp. 6437–6454.

112. C.I.L. Justino, T.A.P. Rocha-Santos, A.C. Duarte Advances in point-of-care technologies with biosensors based on carbon nanotubes *Trends Anal. Chem.*, 45 (2013), pp. 24-36

113. Balamurugan C. and Lee D.-W. (2015) “Perovskite hexagonal YMnO<sub>3</sub> nanopowder as p-type semiconductor gas sensor for H<sub>2</sub>S detection”, *Sens. Actuators B*, vol. 221, pp. 857–866.

114. E.B. Bahadir, M.K. Sezgintürk Applications of graphene in electrochemical sensing and biosensing *Trends Anal. Chem.*, 76 (2015), pp. 1-14

115. Tsuyoshi Arakawa, Ken-Ichi Takada, Yoshikazu Tsunemine and Jiro Shiokawa (1988) “CO gas sensitivities of reduced perovskite oxide LaCoO<sub>3-x</sub>”, *Sens. Actuators*, vol. 14, pp. 215–221.

116. Fort A., Mugnaini M., Pasquini I., Rocchi S., Romualdi L., Vignoli V., Spinicci R. and Gregorkiewitz M. (2011) “Development and characterization of low power perovskite CO gas sensors”, *Proc. of the 2011 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 4 p.

117. Guangzhi Dong, Huiqing Fan, Hailin Tian, Jiawen Fang and Qiang Li (2015) “Gas-sensing and electrical properties of perovskite structure p-type bariumsubstituted bismuth ferrite”, *RSC Advances*, vol. 5, pp. 29618–29623.

118. X.-M. Chen, G.-H. Wu, Y.-Q. Jiang, Y.-R. Wang, X. Chen Graphene and graphene-based nanomaterials: the promising materials for bright future of electroanalytical chemistry *Analyst*, 136 (2011), pp. 46314640

119. J. Chang, G. Zhou, E.R. Christensen, R. Heideman, J. Chen Graphene-based sensors for detection of heavy metals in water: a review *Anal. Bioanal. Chem.*, 406 (2014), pp. 3957-3975

120. Shen Yu-Sheng and Zhang Tian-Shu (1993) "Preparation, structure and gas-sensing properties of ultramicro ZnSnO<sub>3</sub> powder", *Sensors and Actuators B*, vol. 12, pp. 5-9.

121. Xiaohua Jia, Huiqing Fan, Xiangdong Lou and Jiaqiang Xu (2009) "Synthesis and gas sensing properties of perovskite CdSnO<sub>3</sub> nanoparticles", *Appl. Phys. A*, vol. 94, pp. 837-841.

122. Sukharev V. Y. (1993) "Percolation model of adsorption-induced response of the electrical characteristics of polycrystalline semiconductor adsorbents", *J. Chem. Soc. Faraday Trans.*, vol. 89, pp. 559-572.

## ДОДАТОК А

Довідка про впровадження результатів «Державне підприємство «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості».

МІНЕКОНОМІКИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН СТАНДАРТИЗАЦІЇ  
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО  
«УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ  
І НАВЧАЛЬНИЙ ЦЕНТР ПРОБЛЕМ СТАНДАРТИЗАЦІЇ,  
СЕРТИФІКАЦІЇ ТА ЯКОСТІ»  
(ДП «УкрНДНЦ»)

вул. Святошинська, 2, м. Київ, 03115, тел. (044) 452-33-96, факс (044) 452-69-07, код ЄДРПОУ 32595752;  
www.uas.gov.ua; e-mail: ukrndnc@uas.org.ua

---

від \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_ На № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

ДП "УкрНДНЦ"  
Вих. № 4-10/03-18-52 від 24.01.2023

**ДОВІДКА**  
**про впровадження результатів дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеню доктора філософії Курило Анатолія Васильовича за темою: «Інформаційні технології для моніторингу та адаптивного управління сміттєзвалищами»**

Дисертаційна робота Курило А.В. «Інформаційні технології для моніторингу та адаптивного управління сміттєзвалищами» розв'язує актуальне науково-практичне завдання: розробка та вдосконалення методів та моделей для моніторингу та адаптивного управління сміттєзвалищами на основі геоінформаційних технологій. Впровадження отриманих наукових та практичних результатів здобувачем спрямовано на підвищення можливості проведення екологічного моніторингу сміттєзвалищ з використанням безпілотних літальних апаратів для визначення антропогенного впливу на природне середовище.

Запропоновано моделі адаптивної передачі інформації на локальному та регіональному рівнях, як поєднання інформаційно-вимірювальної та інформаційно-управляючої підсистем, які враховують можливість передачі та обробки даних систем спостережень. Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що наведені вище наукові результати у своїй сукупності удосконалюють нові інформаційні технології забезпечення передачі інформації для адаптивного управління і моніторингу сміттєзвалищ та дозволяють- підвищити достовірності інформації при передачі даних в умовах невизначеності.

Дані результати дослідження можуть бути впроваджені в навчальний процес щодо підвищення кваліфікації в інституті підготовки фахівців національного органу стандартизації.

Ректор інституту підготовки фахівців  
національного органу стандартизації, к.т.н.

  
Ольга КОНЕЦЬКА



870000



## ДОДАТОК Б

Довідка про впровадження результатів Національного університету харчових технологій.

**ДОВІДКА**  
**про впровадження результатів дисертаційного дослідження**  
**Курило Анатолія Васильовича**  
**за темою: «Інформаційні технології для моніторингу та адаптивного**  
**управління сміттєзвалищами»**

В наукових дослідженнях Курило А.В. за темою «Інформаційні технології для моніторингу та адаптивного управління сміттєзвалищами», вирішено основну науково-технічну задачу впровадження наукових результатів пов'язаних з якісним проведенням екологічного моніторингу за допомогою БПЛА для визначення антропогенного впливу на природне середовище.

Розроблені дисертантом математичні моделі розподіленої інформаційної мережі за станом навколишнього середовища з використанням БПЛА дають можливість для вирішення екологічних завдань моніторингу та контролю за станом потенційно-небезпечних об'єктів та їх впливу на навколишнє природне середовище. Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що на основі вдосконаленого науково-методичного апарату використання БПЛА в системі екологічного моніторингу можна проводити комплексні спостереження навколишнього середовища заданої території, будувати екологічні карти на основі застосування несучої апаратури на борту БПЛА.

Впровадження результатів дисертаційного дослідження мають важливе значення для науки і технічних розробок та дають змогу створювати і корегувати програми по моніторингу екологічної безпеки отримувати дані для оцінки ризиків впливу техногенного забруднення.

Результати дисертаційного дослідження Курило Анатолія Васильовича за темою: «Інформаційні технології для моніторингу та адаптивного управління сміттєзвалищами» будуть використані у навчальному процесі при викладенні дисципліни «Еколого-інформаційні системи прийняття рішень», що викладається здобувачам освітнього ступеня магістр спеціальності 122 Комп'ютерні науки освітньо-професійної програми «Комп'ютерний еколого-економічний моніторинг».

Завідувач кафедри інформаційних технологій,  
штучного інтелекту і кібербезпеки

Національного університету харчових технологій

Сергій ГРИБКОВ



## ДОДАТОК В

Довідка про впровадження результатів Науково-дослідної лабораторії «Науки про Землю» Національного університету «Києво-Могилянська академія».

## ДОВІДКА

**про впровадження результатів дисертаційного дослідження на здобуття наукового ступеню доктора філософії Курило Анатолія Васильовича за темою: «Інформаційні технології для моніторингу та адаптивного управління сміттєзвалищами»**

Наукові дослідження Курило А.В. за темою «Інформаційні технології для моніторингу та адаптивного управління сміттєзвалищами» дають змогу отримати сучасні засоби для моніторингу та управління сміттєзвалищами та забезпечують становлення принципів і методів цифрового моделювання об'єктів у формі геопросторових даних.

Заслужують на увагу створення інструментів та моделей оцінка та прогнозу впливу сміттєзвалищ на основі інформаційних технологій територіально розосереджених мереж

Розроблено дисертантом аналітичну модель моніторингу сміттєзвалищ територіальних громад засобами ДПЛА та адаптивну передачу інформації в інформаційно-управляючу підсистему, які враховують можливість одночасної обробки та передачі даних автоматичних систем спостережень.

Практичне значення роботи полягає в удосконаленні інформаційних технологій забезпечення передачі інформації для адаптивного управління і моніторингу за рахунок багаторівневої параметричної адаптації кодових конструкцій.

Впровадження результатів дисертаційного дослідження мають важливе значення для науки та дають змогу оцінити екологічні загрози і підвищити екологічну безпеку території дослідження.

Результати дисертаційного дослідження Курило Анатолія Васильовича за темою: «Інформаційні технології для моніторингу та адаптивного управління сміттєзвалищами» будуть використані в навчальному процесі при викладанні дисципліни «Інформаційні технології в екології», для спеціальності

Керівник Науково-дослідної лабораторії «Науки про Землю»  
Національного університету «Києво-Могилянська академія»

д-р екон. наук, професор

Л.А. Горошкова



## ДОДАТОК Г

Протоколи випробувань поверхневих водойм та ґрунту від 01.06.2021 р.  
ТОВ «Центральна біохімічна лабораторія»



(044) 358-08-08  
(067) 358-08-08  
(099) 358-08-08  
centralbiolab@gmail.com  
м. Київ, вул. Антона Цедіка 14А



## ПРОТОКОЛ № 0528

випробувань поверхневих водойм від 01.06.2021 року.

**Замовник, адреса:** Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

**Найменування об'єкту випробувань:** поверхневі водойми

**Джерело водопостачання, місце відбирання проби:** Проба №1, р. Дністер

**Дата (число, година) взяття проби:** 24.05.2021р., 11.00

**Час надходження проби до ВЛ:** 25.05.2021р. 10.00

**Дата виконання випробувань:** початок: 25.05.2021. закінчення: 01.06.2021.

## Результати випробувань:

| Назва показника                             | Одиниці вимірювання | Результати вимірювання | Оцінка невизначеності вимірювань, δ | Гранично допустима концентрація за НД* | НД на методи випробувань |
|---|---------------------|------------------------|-------------------------------------|--|--------------------------|
| 1   | 2                   | 3                      | 4                                   | 5                                      | 6                        |
| Водневий показник, рН                       | од. рН              | 7,88                   | ±0,05рН                             | 6,5-9,0                                | ДСТУ 4077-2001           |
| Завислі речовини                            | мг/дм <sup>3</sup>  | <10                    | ±10%                                | 25                                     | КНД 211.1.4.039-95       |
| Сухий залишок                               | мг/дм <sup>3</sup>  | 364                    | ±10%                                | 1000                                   | МВВ 081/12-0109-03       |
| Фосфати (за PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ) | мг/дм <sup>3</sup>  | <b>1,25</b>            | ±10%                                | 0,7                                    | ДСТУ ISO 6878:2008       |
| Сульфати (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )   | мг/дм <sup>3</sup>  | 76                     | ±10%                                | 100                                    | МВВ 081/12-0007-05       |
| Сульфідиди (S <sup>2-</sup> )               | мг/дм <sup>3</sup>  | <0,01                  | ±22%                                | -                                      | МВВ 081/12-0315-06       |
| Хлориди (Cl <sup>-</sup> )                  | мг/дм <sup>3</sup>  | 30                     | ±15%                                | 300                                    | МВВ 081/12-0004-01       |
| Амоній (за NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )   | мг/дм <sup>3</sup>  | 0,47                   | ±9%                                 | 1,0                                    | ДСТУ ISO 7150-1:2003     |
| Нітриди (за NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )  | мг/дм <sup>3</sup>  | <0,01                  | ±25%                                | 0,08                                   | КНД 211.1.4.023-95       |
| Нітрати (за NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )  | мг/дм <sup>3</sup>  | 15                     | ±25%                                | 40,0                                   | ДСТУ ISO 7890-1:2003     |
| Залізо загальне (Fe)                        | мг/дм <sup>3</sup>  | <b>0,16</b>            | ±10%                                | 0,1                                    | ДСТУ ISO 11885:2005      |
| ХСК   | мгО/дм <sup>3</sup> | 14                     | ±15%                                | 50                                     | ДСТУ ISO 6060:2003       |
| БСК <sub>5</sub>                            | мгО/дм <sup>3</sup> | <3                     | ±25%                                | 3,0                                    | МВВ 081/12-0014-03       |
| АПАР  | мг/дм <sup>3</sup>  | <0,1                   | ±25%                                | 20,0                                   | ДСТУ ISO 7875-2008       |
| Нафтопродукти                               | мг/дм <sup>3</sup>  | <0,1                   | ±25%                                | 0,05                                   | МВВ 081/12-0645-09       |
| Магній (Mg)                                 | мг/дм <sup>3</sup>  | 16                     | ±15%                                | 40                                     | ДСТУ ISO 6059:2003       |
| Кальцій (Ca)                                | мг/дм <sup>3</sup>  | 105                    | ±10%                                | 180                                    | ДСТУ ISO 6059:2003       |
| Калій (K)                                   | мг/дм <sup>3</sup>  | 1,4                    | ±15%                                | 50,0                                   | ДСТУ ISO 9964-3:2015     |



(044) 358-08-08  
 (067) 358-08-08  
 (099) 358-08-08  
 centralbiolab@gmail.com  
 м. Київ, вул. Антона Цедіка 14А



|                |                    |        |      |       |                     |
|----------------|--------------------|--------|------|-------|---------------------|
| Натрій (Na)    | мг/дм <sup>3</sup> | 5,3    | ±15% | 120   | ДСТУ ISO 6061:2003  |
| Марганець (Mn) | мг/дм <sup>3</sup> | 0,009  | ±10% | 0,01  | ДСТУ ISO 11885:2005 |
| Мідь (Cu)      | мг/дм <sup>3</sup> | <0,001 | ±10% | 0,001 | ДСТУ ISO 11885:2005 |
| Нікель (Ni)    | мг/дм <sup>3</sup> | <0,001 | ±10% | 0,01  | ДСТУ ISO 11885:2005 |
| Цинк (Zn)      | мг/дм <sup>3</sup> | <0,001 | ±10% | 0,01  | ДСТУ ISO 11885:2005 |
| Кадмій (Cd)    | мг/дм <sup>3</sup> | <0,001 | ±10% | 0,005 | ДСТУ ISO 11885:2005 |
| Свинець (Pb)   | мг/дм <sup>3</sup> | <0,001 | ±10% | 0,1   | ДСТУ ISO 11885:2005 |

**Примітка:** \*Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 30.07.12 № 471 та «Загального переліку гранично допустимої концентрації (ГДК) і орієнтовано безпечних рівнів впливу (ОБРВ) шкідливих речовин для води рибогосподарських водойм»

Думки та тлумачення про відповідність якості води критеріям нормативного документу:

В досліджуваній пробі води, окремі показники за якими проводились випробування, перевищують гранично допустимі концентрації нормативів екологічної безпеки водних об'єктів, згідно Наказу Міністерства аграрної політики та продовольства України від 30.07.12р. № 471 та «Загального переліку гранично допустимої концентрації (ГДК) і орієнтовано безпечних рівнів впливу (ОБРВ) шкідливих речовин для води рибогосподарських водойм».

Виконавець

хімік-аналітик

к.х.н.

Л.М. Чубов

Директор випробувальної лабораторії  
об'єктів довкілля:

М.П.



А.А. Петровський

Результати викладені в протоколі поширюються тільки на зразки піддані випробуванню  
 Протокол випробувань може бути повністю або частково відтворений лише з дозволу  
 ТОВ «Центральна біохімічна лабораторія»

## ДОДАТОК Д

Патент на корисну модель № 145351 від 10.12.2020 р.

