

УДК 502.51:504.5

Oleksandr Shevchuk, postgraduate
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3287-8216>
e-mail: oleksandrshevchuk17@gmail.com

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

INFORMATION TECHNOLOGIES FOR ENVIRONMENTAL MONITORING OF LANDFILLS USING REMOTELY PILOTED AIRCRAFT

***Abstract.** The paper proposes an analytical model for assessing the quality of performance of tasks of environmental monitoring of landfills by means of remotely piloted aircraft, the feature of which is taking into account the nature of anthropogenic impact on the state of the environment by improving the environmental monitoring equipment by optimizing the structure and parameters of the aircraft's onboard equipment.*

An algorithm for controlling an environmental monitoring UAV has been developed, which, unlike existing ones, provides stabilization of the object on the research trajectory and provides increased accuracy in assessing the environmental safety of observation objects by using a communication channel with a remotely piloted aircraft. The purpose of this study is to increase the level of environmental safety of territories affected by landfills by improving technological processes and modernizing the onboard equipment of remotely piloted aircraft.

The object of the study is the process of using remotely piloted aircraft in systems for environmental monitoring of landfills. The object of the study is the process of using remotely piloted aircraft in systems for environmental monitoring of landfills.

The practical significance of the results obtained is that on the basis of the improved scientific and methodological apparatus of using remotely piloted aircraft in the system of environmental monitoring of landfills, it is possible to build ecological maps of a technogenic nature.

This will increase the reliability of the obtained data, determine the nature and properties of anthropogenic zones of influence. The use of remotely piloted aircraft for environmental monitoring allows you to quickly obtain data on the state of the environment, which is critically important for timely detection and response to environmental threats.

Keywords: *information technology, mathematical model, control algorithms, remotely piloted aircraft, modeling accuracy, control system, satellite communication channels.*

© O.B. Шевчук, 2025

О.В. Шевчук

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

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ СМІТТЄЗВАЛИЩ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ДИСТАНЦІЙНО ПІЛОТОВАНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

***Анотація.** В роботі запропонована аналітична модель оцінювання якості виконання завдань екологічного моніторингу сміттєзвалищ засобами дистанційно пілотованих літальних апаратів, особливістю якої є урахування характеру антропогенного впливу на стан довкілля за допомогою удосконалення апаратури екологічного спостереження шляхом оптимізації структури та параметрів бортового обладнання літального апарату. Розроблено алгоритм керування ДПЛА екологічного спостереження, який, на відміну від існуючих, забезпечує стабілізацію об'єкта на досліджуваній траєкторії, підвищення точності оцінювання екологічної безпеки об'єктів спостереження за допомогою використання каналу зв'язку з дистанційно пілотованим літальним апаратом. Метою даного дослідження є підвищення рівня екологічної безпеки територій, що зазнають впливу сміттєзвалищ, шляхом вдосконалення технологічних процесів та модернізації бортового обладнання дистанційно пілотованих літальних апаратів. Об'єктом дослідження виступає процес використання дистанційно пілотованих літальних апаратів в системах екологічного моніторингу сміттєзвалищ.*

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що на основі вдосконаленого науково-методичного апарату використання дистанційно пілотованих літальних апаратів в системі екологічного моніторингу сміттєзвалищ можна побудувати екологічні карти техногенного характеру. Це дозволить підвищити достовірність отриманих даних, визначити характер і властивості антропогенних зон впливу. Використання дистанційно пілотованих літальних апаратів для екологічного моніторингу дозволяє оперативно отримувати дані про стан навколишнього середовища, що є критично важливим для своєчасного виявлення та реагування на екологічні загрози.

***Ключові слова:** інформаційні технології, математична модель, алгоритми керування, дистанційно пілотований літальний апарат, точність моделювання, система керування, супутникові канали зв'язку.*

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2025.1.164-172>

Вступ

Одним із перспективних підходів до здійснення екологічного моніторингу є дистанційний метод, який ґрунтується на комплексному застосуванні космічних, авіаційних та мобільних наземних систем спостереження. Зокрема, в ролі авіаційних платформ використовуються безпілотні літальні апарати (БПЛА) та дистанційно керовані літальні апарати (ДКЛА).

З огляду на антропогенний вплив на природу, постійні зміни навколишнього середовища під впливом промислових об'єктів, а також змінні параметри атмосфери Землі, виникає потреба у надійному виконанні завдань екологічного прогнозування та забезпечення екологічної безпеки через

застосування екологічного моніторингу. Тому розширення можливостей екологічного моніторингу може бути досягнуто шляхом використання мобільних екологічних комплексів, дистанційно керованих літальних апаратів та космічних систем спостереження, із застосуванням дистанційних методів контролю параметрів довкілля. Удосконалення науково-методичних підходів до оцінки стану зон екологічного ризику сприятиме підвищенню ефективності моніторингу та забезпеченню екологічної безпеки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз сучасних наукових досліджень та публікацій свідчить про розробку різноманітних методів, механізмів, принципів і методик оцінки стану навколишнього середовища при здійсненні екологічного моніторингу із застосуванням аерокосмічних технологій. Це підтверджується роботами науковців В.П. Горбуліна, О.М. Трофимчука, Г.Я. Красовського, В.І. Лялько, О.А. Машкова, В.Б. Мокіна, Г.І. Рудька, В.М. Триснюка, К.В. Сметаніна, В.О. Шумейка та інших [1, 2, 3].

Для забезпечення якісного та оперативного екологічного моніторингу за допомогою дистанційно пілотованих літальних апаратів (ДПЛА) пропонується застосування комбінованого підходу, що складається з декількох етапів. На першому етапі визначається область спостереження та її характерні особливості. На другому етапі обирається бортове обладнання ДПЛА, яке дозволяє детально ідентифікувати та визначити розміри зон ураження з урахуванням вертикального профілю атмосферного шару. Третій етап передбачає передачу зібраної інформації з ДПЛА до наземних центрів обробки даних. Проте, варто зазначити, що такий підхід має певні обмеження, пов'язані з технічними можливостями бортового обладнання, що може впливати на точність екологічного моніторингу.

Структурно система моніторингу навколишнього середовища та екологічно небезпечних техногенних об'єктів повинна виконувати низку функцій. Серед них: збір даних про об'єкт моніторингу; обробка, узагальнення, класифікація та збереження інформації; моделювання фізико-хімічних процесів у різних типах геоекосистем; оцінка поточного стану геоекосистем; прогнозування їхнього майбутнього стану; забезпечення зворотного зв'язку; оцінка інформаційних прогалів та оптимізація інформаційних потоків.

Використання аерокосмічних технологій, зокрема безпілотних літальних апаратів, у поєднанні з наземними дослідженнями та геоінформаційними системами, дозволяє підвищити ефективність екологічного моніторингу. Це забезпечує своєчасне виявлення та реагування на екологічні загрози, сприяє збереженню та відновленню природних екосистем, а також підтримує сталий розвиток та екологічну безпеку регіонів.

Особливістю системи керування дистанційно пілотованими літальними апаратами (ДПЛА) є необхідність оперативного коригування алгоритмів управління у відповідь на зміну польотних завдань екологічного моніторингу сміттєзвалищ. Це вимагає розробки алгоритмів, здатних адаптуватися в реальному часі під час польоту ДПЛА [4]. Однак, сучасні підходи до оптимального керування часто включають обчислювальні процедури, які складно реалізувати на борту ДПЛА в режимі реального часу через обмежені обчислювальні ресурси. Тому розробка та впровадження ефективних систем оптимального керування для ДПЛА є актуальною проблемою.

Метою даного дослідження є підвищення рівня екологічної безпеки територій, що зазнають впливу сміттєзвалищ, шляхом вдосконалення технологічних процесів та модернізації бортового обладнання дистанційно пілотованих літальних апаратів.

Об'єктом дослідження виступає процес використання ДПЛА в системах екологічного моніторингу сміттєзвалищ.

Використання ДПЛА для екологічного моніторингу дозволяє оперативно отримувати дані про стан навколишнього середовища, що є критично важливим для своєчасного виявлення та реагування на екологічні загрози. Проте, ефективність таких операцій залежить від здатності систем керування ДПЛА швидко адаптуватися до змінних умов та завдань. Це вимагає впровадження адаптивних алгоритмів керування, які можуть працювати в реальному часі з урахуванням обмежених обчислювальних можливостей бортових систем.

Сучасні дослідження в цій галузі зосереджені на розробці методів оптимізації алгоритмів керування, які забезпечують координацію дій ДПЛА в реальному часі. Зокрема, розглядається застосування генеративних алгоритмів для підвищення точності роботи датчиків та використання згорткових нейронних мереж для розпізнавання об'єктів і навігації [5]. Також акцентується увага на важливості оптимізації алгоритмів управління роєм ДПЛА, що забезпечує координацію дій у реальному часі.

Удосконалення систем керування та бортового обладнання ДПЛА є ключовим фактором для забезпечення ефективного екологічного моніторингу. Це дозволить не лише підвищити точність та оперативність збору даних, але й сприятиме загальному підвищенню рівня екологічної безпеки.

Виклад основного матеріалу дослідження

Запропонована методика екологічного моніторингу з використанням дистанційно пілотованих літальних апаратів (ДПЛА) включає нові структурні елементи, що дозволяють визначити склад бортового обладнання, кількість необхідних ДПЛА та оптимальні маршрути їх руху відповідно до поставлених екологічних завдань.

Визначення складу бортового комплексу ДПЛА

Ефективне застосування ДПЛА в екологічному моніторингу сміттєзвалищ вимагає ретельного вибору бортового обладнання, яке забезпечить максимальну ефективність у заданих умовах експлуатації. При цьому необхідно враховувати не лише технічні характеристики обладнання, але й специфіку екологічних завдань та особливості маршруту польоту [6, 7].

Вибір бортового обладнання повинен базуватися на аналізі параметрів, що підлягають моніторингу, та умов експлуатації. Наприклад, для виявлення забруднення водних об'єктів доцільно використовувати спектрометри, здатні визначати хімічний склад води, тоді як для моніторингу лісових масивів можуть бути корисними тепловізори для виявлення осередків пожеж. Крім того, врахування особливостей маршруту польоту, таких як рельєф місцевості та наявність перешкод, дозволяє оптимізувати вибір обладнання та забезпечити його безперебійну роботу протягом усього польоту.

Визначення кількості ДПЛА та оптимальних маршрутів

Кількість необхідних ДПЛА та їх маршрути повинні визначатися на основі масштабів та специфіки моніторингової зони. Використання математичних та імітаційних моделей дозволяє створити функціональні та інформаційні моделі, що допомагають встановити структурні зв'язки між елементами складних систем та оптимізувати процес моніторингу [8]. Це сприяє ефективному розподілу ресурсів та забезпечує повне охоплення території спостереження.

Оптимізація маршрутів руху ДПЛА є критичною для забезпечення ефективного збору даних та мінімізації витрат ресурсів. Використання генетичних та ройових алгоритмів дозволяє обчислювати оптимальні траєкторії руху з урахуванням динаміки літальних апаратів та особливостей місцевості. Інтеграція цих алгоритмів у системи керування ДПЛА забезпечує адаптивність та гнучкість у плануванні польотів, що особливо важливо в умовах змінних екологічних параметрів [9, 10].

Таким чином, впровадження запропонованої методики дозволяє підвищити ефективність екологічного моніторингу за рахунок оптимального вибору бортового обладнання, раціонального визначення кількості ДПЛА та розробки оптимальних маршрутів їх руху, що в сукупності сприяє своєчасному виявленню та реагуванню на екологічні загрози (рис. 1).



Рис. 1. Структурна схема проведення екологічного моніторингу з використанням ДПЛА

Таким чином, для визначення ефективного варіанта щодо рішення виконання завдання екологічного моніторингу слід скористатися виразом:

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

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

$W_2(A_2)$ – показник ефективності застосування необхідного бортового обладнання для виконання завдання спостереження ДПЛА (залежно від кількості та якості завдання спостереження);

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

p_i – ймовірність виконання поставленого завдання.

Одним з основних завдань є визначення координат об'єктів спостереження, що раптово з'являються. При цьому положення цих об'єктів може характеризуватися відповідними статистичними характеристиками невизначеності [11].

У такому випадку ймовірність виконання завдання бортовими системами ДПЛА можна визначити за виразом:

$$W_2 = \sum_{i=1}^m W_i P_{em}, \quad (2)$$

де W_i – ймовірність виконання завдання моніторингу бортовими системами ДПЛА по здобуттю і обробці відповідної інформації.

Час проведення екологічного моніторингу ДПЛА і передачі даних можна визначити за виразом

$$T = T_c + T_{об} + T_{np}, \quad (3)$$

де T_c – час зйомки бортовими системами ДПЛА;

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

T_{np} – час передачі даних з ДПЛА на НПУ.

При цьому, ймовірність виконання проведення ЕМ із застосуванням ДПЛА буде залежати від ймовірності виявлення (визначення) антропогенного впливу під час зйомки

$$P_{em} = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} \frac{1}{\langle t_{ос} \rangle} e^{-\frac{t}{\langle t_{ос} \rangle}} \left[\Phi \left(\frac{t - m_T}{\sqrt{2D_T}} \right) + \Phi \left(\frac{m_T}{\sqrt{2D_T}} \right) \right] dt, \quad (4)$$

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

m_T – математичні очікування зйомки;

D_T – дисперсії випадкових величин зйомки;

$t_{ос}$ – середній час поширення отруйної речовини в середовищі.

Функціонування бортових систем дистанційно пілотованих літальних апаратів (ДПЛА) характеризується значною випадковістю, обумовленою неповною визначеністю умов експлуатації та наявністю різноманітних випадкових відхилень і помилок під час збору інформації, формування

керуючих дій та їх реалізації [12]. Це призводить до того, що результати роботи бортових систем ДПЛА мають стохастичний характер і описуються законами розподілу відповідних параметрів.

На початкових етапах досліджень важливо оцінити здатність ДПЛА виконувати поставлені екологічні завдання в умовах екологічного моніторингу. Для цього необхідно врахувати функціональні умови, такі як час виконання завдання, ймовірність успішного виконання, кількість необхідних апаратів та вартість операції. Ці параметри взаємопов'язані та впливають на загальну ефективність моніторингу.

Зокрема, час виконання завдання (τ) залежить від кількості залучених ДПЛА та їх технічних характеристик. Ймовірність успішного виконання завдання (P) визначається надійністю бортових систем та умовами навколишнього середовища. Кількість необхідних ДПЛА (N) обумовлюється площею моніторингової зони та специфікою завдання. Вартість операції (C) включає витрати на підготовку, експлуатацію та обслуговування апаратів.

$$f = \{\tau, P, N, C\}, \quad (5)$$

де τ – час виконання ДПЛА 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 ДПЛА в ході проведення ЕМ ($P = \prod_{i=1}^n P(N_i) \rightarrow \max$);

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

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

Розуміння та аналіз цих параметрів дозволяє оптимізувати процес екологічного моніторингу за допомогою ДПЛА, забезпечуючи баланс між ефективністю, надійністю та економічною доцільністю проведених операцій.

Висновки

Розроблено аналітичну модель оцінювання ефективності виконання екологічних завдань моніторингу за допомогою ДПЛА, яка передбачає оптимізацію параметрів бортового обладнання відповідно до специфіки визначення антропогенного впливу на довкілля.

Практична цінність отриманих результатів полягає у створенні вдосконаленого науково-методичного підходу до використання ДПЛА в екологічному моніторингу. Це дозволяє запровадити нові методи комплексного спостереження за станом навколишнього середовища на основі авіаційних сенсорних систем, а також удосконалити процеси оцінювання та контролю екологічних параметрів у межах заданої території.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Trysnyuk, V., Trysnyuk, T., Okhariev, V., Shumeiko, V., & Nikitin, A. (2018). Cartographic Models of Dniester River Basin Probable Flooding. *Centrul Universitar Nord Din Bala Mare UTPRESS ISSN 1582-0548*, 1, 61–67.
2. Grekov, L.D., Krasovsky, G.Y., Trofimchuk, O.M. (2007). Space monitoring of land pollution by man-made dust. *Kiev. Scientific thought*.
3. Триснюк В.М. Моніторинг використання та екологічного стану земель за допомогою безпілотних літальних апаратів / Триснюк В.М., Шумейко В.О., Кащишин О.В., Курило А.В., Сметанін К.В. // *Сучасні інформаційні системи*. – Х.: Т.2. № 4, – 2018. – С. 124-127.
4. Шевчук О.В., Азімов О.Т. Моніторинг Здолбунівського сміттєзвалища ТПВ (Рівненська область, Україна) із застосуванням безпілотного літального апарату / Колективна монограф. за матеріалами 20-ї Міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: виклики 2021 року» (м. Київ, 04-08 жовт. 2021 р.); За заг. ред. С.О. Довгого. Київ: ТОВ «Вид-во «Юстон», 2021. С. 121–126.
5. Триснюк В.М. Особливості побудови мобільної системи екологічного моніторингу оперативного визначення стану довкілля / В.М. Триснюк, К.В. Сметанін // *Матеріали науково-технічної конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління»*, (м. Полтава–Баку–Харків–Жиліна, 26-27 квітня 2018 р.). – Харків: ФОП Петров В.В., 2018. – С. 93.
6. Myrontsov, M.L. [2019] The problem of equivalence in inverse electrometry problems of oil and gas wells. 18th International Conference Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, Extended Abstracts.
7. Trofymchuk, O., Kalyukh, Y., Hlebchuk, H. [2013] Mathematical and GIS-modeling of landslides in kharkiv region of Ukraine. *Landslide Science and Practice: Spatial Analysis and Modelling*. – Springer, Berlin, Heidelberg. 347-352.
8. Trofymchuk, O., Kreta, D., Myrontsov, M., Okhariev, V., Shumeiko, V., Zagorodnia, S. [2015] Information Technology in Environmental Monitoring for Territorial System Ecological Assessment. *Journal of Environmental Science and Engineering*. A4, 79-84.
9. Trysnyuk, V.M., Okhariev, V.O., Trysnyuk, T.V., Zorina, O.V., Kurylo, A.V., Golovan, Y.V., Smetanin, K.V., Radlowska, K.O. [2019] Improving the algorithm of satellite images landscape interpretation. 18th International Conference Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, Extended Abstracts.
10. Trofymchuk O., & Kaliukh I. (2013). Activation of landslides in the south of Ukraine under the action of natural seismic impacts (experimental and analytical studies). *Journal of Environmental Science and Engineering*, 2(2), 68-76.
11. Триснюк В.М. Розробка системи оперативного моніторингу територій з використанням ДПЛА / В.М. Триснюк, К.В. Сметанін // *Матеріали II Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Наука III тисячоліття: пошуки, проблеми, перспективи розвитку»*, (м. Бердянськ, 25-26 квітня 2018 р.). – м. Бердянськ: БДПУ, 2018. – С. 187-189.
12. Триснюк В.М. Створення системи мобільного екологічного моніторингу / В.М. Триснюк, В.О. Охарев, Т.В. Триснюк, К.В. Сметанін, А.В. Курило // *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. Івано-Франківськ: Симфонія форте. – 2018, №2 (18) – С. 120-128.

Стаття надійшла до редакції 16.01.2025 і прийнята до друку після рецензування 07.03.2025

REFERENCES

1. Trysnyuk, V., Trysnyuk, T., Okhariev, V., Shumeiko, V., & Nikitin, A. (2018). Cartographic Models of Dniester River Basin Probable Flooding. *Centrul Universitar Nord Din Bala Mare UTPRESS ISSN 1582-0548*, 1, 61–67.
2. Grekov, L.D., Krasovsky, G.Y., & Trofimchuk, O.M. (2007). Space monitoring of land pollution by man-made dust. *Kiev. Scientific thought*.
3. Trysnyuk, V.M., Shumeiko, V.O., Kashchyshyn, O.V., Kurylo, A.V., & Smetanin, K.V. (2018). Monitoring the use and ecological condition of land using unmanned aerial vehicles. *Modern information systems*, 2 (4), 124-127 [in Ukrainian].
4. Shevchuk, O. V., & Azimov, O. T. (2021). Monitoring of the Zdolbunivka MSW landfill (Rivne region, Ukraine) using an unmanned aerial vehicle. In S. O. Dovhy (Ed.), *Collective monograph based on the materials of the 20th International Scientific and Practical Conference "Modern information technologies for managing environmental safety, environmental management, and emergency measures: challenges of 2021" (Kyiv, October 4-8, 2021)* (pp. 121–126). essay, LLC "Publishing House "Yuston" [in Ukrainian].
5. Trysnyuk, V.M., & Smetanin, K.V. (2018). Features of building a mobile environmental monitoring system for rapid determination of the state of the environment. In *Proceedings of the scientific and technical conference "Modern directions of development of information and communication technologies and management tools"*, (Poltava-Baku-Kharkiv-Zhilina, April 26-27, 2018) (p. 93). Kharkiv: FOP Petrov V.V. [in Ukrainian].
6. Myrontsov, M.L. (2019). The problem of equivalence in inverse electrometry problems of oil and gas wells. In *18th International Conference Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, Extended Abstracts*.
7. Trofymchuk, O., Kalyukh, Y., & Hlebchuk, H. (2013). Mathematical and GIS-modeling of landslides in Kharkiv region of Ukraine. In *Landslide Science and Practice: Spatial Analysis and Modelling* (pp. 347-352). Springer, Berlin, Heidelberg.
8. Trofymchuk, O., Kreta, D., Myrontsov, M., Okhariev, V., Shumeiko, V., & Zagorodnia, S. (2015). Information Technology in Environmental Monitoring for Territorial System Ecological Assessment. *Journal of Environmental Science and Engineering*, A4, 79-84.
9. Trysnyuk, V.M., Okhariev, V.O., Trysnyuk, T.V., Zorina, O.V., Kurylo, A.V., Golovan, Y.V., Smetanin, K.V., & Radlowska, K.O. (2019). Improving the algorithm of satellite images landscape interpretation. In *18th International Conference Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, Extended Abstracts*.
10. Trofymchuk O., & Kaliukh I. (2013). Activation of landslides in the south of Ukraine under the action of natural seismic impacts (experimental and analytical studies). *Journal of Environmental Science and Engineering*, 2(2), 68-76.
11. Trysnyuk, V.M., & Smetanin, K.V. (2018). Development of a system of operational monitoring of territories using drones. In *Materials of the II International Scientific and Practical Internet Conference "Science of the III Millennium: Searches, Problems, Development Prospects"*, (Berdyansk, April 25-26, 2018) (pp. 187-189). Berdyansk: BDPU [in Ukrainian].
12. Trysnyuk V.M., Oharev, V.O., Trysnyuk, T.V., Smetanin, K.V., & Kurylo, A.V. (2018). Creation of a mobile environmental monitoring system. *Environmental safety and balanced resource use*, 2 (18), 120-128 [in Ukrainian].

The article was received 16.01.2025 and was accepted after revision 07.03.2025

Шевчук Олександр Вікторович

аспірант Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України

Адреса робоча: Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3287-8216> **e-mail:** oleksandrshvchuk17@gmail.com