

# Формування методики лазерного моніторингу надзвичайної ситуації техногенного характеру на території, що зазнала ракетно-артилерійського ураження

## The formation of methodology laser monitoring of an emergency of technogenic character in the territory affected by rocketly and artillery damage

**Олександр Рашкевич<sup>A</sup>**

начальник сектору діловодства та архівної роботи, e-mail: 37asrras@gmail.com, ORCID: 0009-0005-4374-4602

**Ніна Рашкевич<sup>B</sup>**

**Corresponding author:** Доктор філософії, Доцент кафедри пожежної профілактики в населених пунктах, e-mail: [nine291085@gmail.com](mailto:nine291085@gmail.com), ORCID: 0000-0001-5124-6068

**Роман Шевченко<sup>B</sup>**

д. тех. наук, професор, начальник кафедри автоматичних систем безпеки та інформаційних технологій, e-mail: [shevchenko605@i.ua](mailto:shevchenko605@i.ua), ORCID: 0000-0001-9634-6943

**Анастасія Хмирова<sup>B</sup>**

кандидат наук з державного управління, викладач-методист факультету оперативно-рятувальних сил, e-mail: [khmyrova.anast@gmail.com](mailto:khmyrova.anast@gmail.com), ORCID: 0000-0002-0680-7505

**Olexandr Rashkevich<sup>A</sup>**

Head of the Department of Record Keeping and Archival Work, e-mail: 37asrras@gmail.com, ORCID: 0009-0005-4374-4602

**Nina Rashkevich<sup>B</sup>**

**Corresponding author:** PhD, Associate Professor of the Department of Fire Prevention in Settlements, e-mail: [nine291085@gmail.com](mailto:nine291085@gmail.com), ORCID: 0000-0001-5124-6068

**Roman Shevchenko<sup>B</sup>**

Dr of Technical Sciences, Professor, Department of Automatic Security Systems and Information Technologies, e-mail: [shevchenko605@i.ua](mailto:shevchenko605@i.ua), ORCID: 0000-0001-9634-6943

**Anastasia Khmyrova<sup>B</sup>**

Candidate of sciences in public administration, Teacher-methodologist of the faculty of operational and rescue forces, e-mail: [khmyrova.anast@gmail.com](mailto:khmyrova.anast@gmail.com), ORCID: 0000-0002-0680-7505

<sup>A</sup> Головне управління Державної служби України з надзвичайних ситуацій у Харківській області, м. Харків, Україна

<sup>B</sup> Національний університет цивільного захисту України, м. Харків, Україна

<sup>A</sup> Main Department of the State Service of Ukraine for Emergency Situations in the Kharkiv region, Kharkiv, Ukraine

<sup>B</sup> National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Received: August 4, 2024 | Revised: August 22, 2024 | Accepted: August 31, 2024

DOI: 10.33445/sds.2024.14.4.14

**Мета роботи:** формування методики проведення лазерного моніторингу надзвичайної ситуації техногенного характеру на території, що зазнала ракетно-артилерійського ураження.

**Метод:** застосовувались методи системного аналізу, теорії ймовірностей, теорії прийняття рішень, математичного та імітаційного моделювання.

**Результати дослідження:** трасовий вимір методом диференціального поглинання, що в основі методики, полягає у виключенні з аналізу частку сигналу, зумовлену розсіюванням випромінювання на неоднорідності середовища та нерезонансним поглинанням його.

**Теоретична цінність дослідження:** набули подальшого розвитку теоретичні основи методу диференціального поглинання лазерного випромінювання.

**Практична цінність дослідження:** результати сприяють своєчасному реагуванню на перевищення гранично-допустимих концентрацій шкідливих (забруднюючих) речовин, а також обмеження негативних наслідків для життя та здоров'я населення, навколишнього середовища.

**Цінність дослідження:** створення унікального підходу до оцінки та аналізу наслідків надзвичайної ситуації унаслідок наявності в атмосферному повітрі шкідливих (забруднюючих) речовин понад гранично-допустимі концентрації на території, що зазнала ракетно-артилерійського ураження.

**Purpose:** formation of a methodology for conducting laser monitoring of an emergency of technogenic character in the territory that has suffered missile and artillery damage.

**Method:** methods of system analysis, probability theory, decision-making theory, mathematical and simulation modeling.

**Results:** trace measurement by the method of differential absorption, which is the basis of the technique, is the part of the signal excluded from the analysis, due to the scattering of radiation on the inhomogeneity of the medium and its non-resonant absorption.

**Theoretical implications:** theoretical foundations of the method of differential absorption of laser radiation have gained further development.

**Practical implications:** results contribute to a timely response to exceeding the maximum permissible concentrations of harmful (polluting) substances, as well as limiting the negative consequences for the life and health of the population and the environment.

**Value:** creation of a unique approach to the assessment and analysis of the consequences of an emergency due to the presence of harmful (polluting) substances in the atmospheric air in excess of the maximum allowable concentrations in the territory that was hit by missile and artillery.

**Research limitations:** limitations of the application of the mentioned methodology are mainly related to the influence of physical

**Обмеження дослідження:** обмеження, в основному, пов'язані з впливом фізичних факторів, умов середовища, що виникають на території, що зазнала ракетно-артилерійського ураження.

factors, environmental conditions occurring in the territory that has suffered rocket and artillery damage.

**Paper type:** theoretical.

**Тип статті:** теоретичний.

**Ключові слова:** атмосферне повітря, забруднення, моніторинг, лазерний комплекс, надзвичайна ситуація.

**Key words:** atmospheric air, pollution, monitoring, laser complex, emergency.

## Вступ

Ракетно-артилерійські обстріли характеризуються великою руйнівною силою та можливістю завдавати шкоди на значних відстанях [1, 2], що робить їх важливим елементом сучасних військових стратегій. Вони здатні спричинити значні руйнування інфраструктури, виникнення пожеж, забруднення довкілля та створювати серйозні загрози для цивільного населення, створюючи умови для виникнення та поширення надзвичайних ситуацій (НС) техногенного характеру.

В умовах військових конфліктів питання оперативного та точного моніторингу НС на уражених територіях набуває особливої актуальності [3, 4]. Одним із перспективних методів є лазерний моніторинг, який дозволяє проводити високоточні вимірювання і аналіз ситуації на значних безпечних відстанях. Цей метод може забезпечити швидке виявлення та оцінку наслідків ракетно-артилерійських обстрілів, що є важливим для обмеження наслідків НС.

## Теоретичні основи дослідження

На сьогодні можна відмітити неналежність матеріально-технічної бази для проведення моніторингу та прогнозуванню НС [5]. Недостатня оснащеність системами дистанційного зондування, а також недостатня інтеграція новітніх технологій, створює перешкоди для ефективного збору та аналізу даних в складних і небезпечних умовах. Перспективи щодо матеріально-технічного переоснащення підкріплені на законодавчому рівні [6].

Мобільний лазерний комплекс – є ефективним інструментом моніторингу НС [7]. Цей комплекс дозволяє проводити високоточні вимірювання на значних відстанях, забезпечуючи детальну інформацію про стан території. Важливе значення має оперативність в отриманні даних контролю, можливість аналізу представницької проби, що особливо важливо в умовах НС [8]. Традиційні (контактні) методи моніторингу призводить до додаткового ризику для персоналу, можливості прийняття невірних рішень.

Ряд країн світу проводять регулярні спостереження або цілеспрямовані вимірювання за допомогою лідарних установок, що об'єднують в цілі мережі. Ці мережі забезпечують точні дані про різні аспекти якості атмосферного повітря, включаючи концентрації забруднюючих речовин, аерозолі та інші атмосферні компоненти.

До принципової схеми більшості лідарів належать блоки, що забезпечують ключові функції для ефективного вимірювання та обробки даних [9, 10]. Першим є лазерне джерело, яке генерує лазерне випромінювання, необхідне для зондування середовища. Другим є оптична система, що включає лінзи, дзеркала та інші оптичні елементи, які фокусують лазерний промінь і направляють його до об'єкта спостереження, а також приймають відбиті сигнали для подальшої обробки. Третім блоком є детектор, який виявляє відбитий лазерний сигнал. Системи синхронізації забезпечують координацію між лазерним випромінюванням і детекцією відбитого сигналу, включаючи точний контроль часу для визначення відстані до об'єкта на основі затримки сигналу. Блок обробки даних відповідає за обробку сигналів, отриманих детектором, і аналізує їх для визначення відстаней, інтенсивності, розподілу часток та інших параметрів, що залежать від типу лідарної системи. Система управління координує роботу всіх компонентів лідарної системи, забезпечуючи налаштування параметрів, моніторинг стану системи та управління процесом збору даних. Інтерфейси і комунікації забезпечують зв'язок між лідарною системою і зовнішніми пристроями або комп'ютерами,

включаючи передачу даних для подальшого аналізу та візуалізації. Для мобільних лідарних систем важливою є система позиціонування і орієнтації, яка забезпечує точне визначення позиції і орієнтації приладу, що дозволить коригувати дані на основі руху або зміщення системи.

Діагностування можливе не тільки з поверхні Землі, але й з повітря та космосу [11]. На поверхні Землі лідарні системи можуть бути встановлені на стаціонарних станціях або на мобільних платформах, що дозволяє проводити детальне картографування та моніторинг в межах конкретної території. З повітря – забезпечують можливість огляду великих територій, що робить їх корисними для широкомасштабного моніторингу та досліджень. З космосу супутники з лідарними системами на борту здатні здійснювати глобальний моніторинг. Можливість діагностування з різних висот та відстаней забезпечує комплексний підхід до збору та аналізу даних в зоні НС.

Лазерні технології дозволяють досліджувати і аналізувати атмосферні компоненти, такі як аерозолі, гази, та водяні пари, а також їх взаємодію з лазерним промінням [12].

Аерозольне та молекулярне розсіювання є носіями інформації при дослідженні якісного та кількісного складу атмосфери [13]. Аерозольне розсіювання відбувається, коли лазерний промінь взаємодіє з дрібними частинками аерозолей, присутніми в атмосфері. Аерозолі можуть включати пил, дим, сажу та інші частки, які впливають на розподіл і інтенсивність розсіювання. Молекулярне розсіювання відбувається, коли лазерний промінь взаємодіє з молекулами газів в атмосфері.

Для визначення небезпечних речовин у нижчих шарах атмосфери застосовують метод диференційного поглинання в інфрачервоній області. Даний метод дозволяє визначити концентрацію вздовж променю лазера біля сотні інгредієнтів, що важливо для забезпечення безпеки в промислових зонах, навколишньому середовищі та під час НС [10].

На ринку серед широкого спектру представлених лідарів, важко виділити найбільш досконалий спосіб або метод реалізації моніторингу повітряного середовища [14]. Кожен тип лідарної системи має свої переваги та обмеження, що робить вибір оптимального рішення залежним від конкретних умов і цілей моніторингу. Різні лідари можуть спеціалізуватися на вимірюванні різних типів аерозолів, забруднюючих речовин або часток, що вимагає адаптації системи до специфічних вимог дослідження. Також важливими факторами є точність вимірювань, обсяг даних, які можна отримати, і можливість інтеграції з іншими системами моніторингу. Деякі лідари можуть забезпечувати високий рівень деталізації для коротких дистанцій, тоді як інші ефективніші для широкомасштабних спостережень.

Для забезпечення достовірності і точності результатів лазерного зондування необхідно забезпечити високий рівень точності як у прямому, так і у зворотному розрахунках. Це включає точні моделі атмосферної оптики та ефективні алгоритми для обробки та інтерпретації даних, що дозволяють отримувати надійні результати моніторингу [15].

При побудові та подальшому застосуванні лідарних систем важливим є: забезпечення широкого діапазону переналаштування приладів, що дозволяє адаптувати системи до різних умов моніторингу НС, включаючи зміну атмосферних умов, рівень забруднення тощо; висока стабільність параметрів випромінювання, що забезпечує точність отриманих даних; надійність при тривалій експлуатації [16].

### **Постановка проблеми**

У зоні бойових дій під час військових конфліктів часто виникають НС техногенного характеру, що супроводжуються викидами шкідливих (забруднюючих) речовин в атмосферне повітря. Ці викиди можуть призвести до перевищення гранично-допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих (забруднюючих) речовин, створюючи загрозу для здоров'я та життя людей, а також для навколишнього середовища. Враховуючи складність доступу до таких зон через бойові дії,

невирішеною частиною проблеми у сфері цивільного захисту є складність проведення лазерного моніторингу надзвичайної ситуації техногенного характеру на території, що зазнала ракетно-артилерійського ураження.

### Методологія дослідження

Для формування методики проведення лазерного моніторингу надзвичайної ситуації техногенного характеру на території, що зазнала ракетно-артилерійського ураження, потрібно вирішити наступні завдання:

- описати ідею трасового вимірювання газових домішок та аерозолів в атмосферному повітря зони надзвичайної ситуації техногенного характеру методом диференційного поглинання;

- визначити основні обмеження та похибки щодо застосування лазерного комплексу для моніторингу надзвичайної ситуації техногенного характеру на території, що зазнала ракетно-артилерійського ураження;

- запропонувати рекомендації щодо практичного застосування лазерного комплексу для моніторингу надзвичайної ситуації техногенного характеру на території, що зазнала ракетно-артилерійського ураження з метою своєчасного реагування на перевищення гранично-допустимих концентрацій шкідливих (забруднюючих) речовин, а також обмеження негативних наслідків для життя та здоров'я населення, навколишнього середовища.

### Результати

**Опис ідеї трасового вимірювання газових домішок та аерозолів в атмосферному повітря зони надзвичайної ситуації техногенного характеру методом диференційного поглинання.**

Трасовий вимір методом диференціального поглинання полягає у визначенні концентрації газових компонентів у атмосфері шляхом аналізу змін інтенсивності лазерного випромінювання після проходження через певний об'єм повітря. Цей метод використовує два лазерні промені, один з яких має довжину хвилі, що відповідає максимуму поглинання певного газу, а інший – поза зоною поглинання. Порівнюючи інтенсивність цих двох променів після їхнього проходження через трасу, можна визначити різницю в поглинанні, що безпосередньо пов'язана з концентрацією газу у повітрі. Завдяки цьому підходу можна отримати високоточні дані про наявність і кількість різних газів, навіть при їхніх низьких концентраціях. Усереднена на трасі концентрація домішки  $C(L)$  обчислюється формулою (1):

$$C(L) = \frac{1}{2L\Delta\sigma(\Delta\nu_1, L)} \ln \left[ \frac{P(\nu_1, L)P_0(\nu_0)}{P_0(\nu_1)P(\nu_0, L)} \right]. \quad (1)$$

$$\overline{\Delta\sigma(\Delta\nu_1, L)} = \overline{\sigma(\nu_0, L)} - \overline{\sigma(\nu_1, L)},$$

- де  $\overline{\sigma(\nu_0, L)}, \overline{\sigma(\nu_1, L)}$  – переріз резонансного поглинання на частотах  $\nu_0$  та  $\nu_1$  відповідно (риски означають усереднення вздовж траси);
- $L$  – довжина вздовж траси,  $P_0(\nu_0), P_0(\nu_1)$  – потужність лазера, що вивчається на частотах  $\nu_0$  та  $\nu_1$ , відповідно;
- $P(\nu_0, L), P(\nu_1, L)$  – реєстрована потужність лазерного випромінювання, що пройшло трасу, на частотах  $\nu_0$  та  $\nu_1$ , відповідно.

У методі диференціального поглинання випромінювання передбачається, що для кожної домішки можна підібрати таку пару частот зондувального випромінювання, на яких поглинання випромінювання суттєво різняться, а вплив інших домішок незначний. Для такої

пари частот  $\overline{\Delta(\Delta\nu, L)} \approx \Delta\sigma$ , де  $\Delta\sigma$  – диференціальний переріз поглинання домішки на цих частотах може бути вимірний в лабораторних умовах.

Як джерело когерентного випромінювання (лазера) обирається CO<sub>2</sub>-лазер, який дає можливість генерувати випромінювання на 100 дискретних лініях в діапазоні 9-11 мкм, в якому існує резонансне поглинання основних шкідливих (забруднюючих) речовин.

У разі зондування атмосфери випромінюванням лазера на різних лініях матимемо:

$$U_{det1} = AP_1 \exp[-2L(\alpha_0 + \alpha_i)], \quad (2)$$

$$U_{opor1} = BP_1 \quad (3)$$

і відповідно:

$$U_{det2} = AP_2 \exp[-2L\alpha_0], \quad (4)$$

$$U_{opor2} = BP_2, \quad (6)$$

- де
- $U_{det1,2}$  – сигнал, що реєструється після проходження траси вимірювання, з відповідною довжиною хвилі;
  - $U_{opor1,2}$  – сигнал в опорному каналі з відповідною довжиною хвилі;
  - $\alpha_i$  – усереднений уздовж траси коефіцієнт резонансного поглинання випромінювання конкретної речовини на частоті генерації ( $\alpha_i = n_i \cdot \sigma_i$ , де  $\sigma_i$  – переріз поглинання лазерного випромінювання даною молекулою домішки);
  - $\alpha_0$  – середній уздовж траси коефіцієнт нерезонансного поглинання;
  - $A$  та  $B$  – коефіцієнти, що враховують апаратні втрати у вимірювальних трактах.

Мається на увазі, що:

$$\alpha_0(P_1) \cong \alpha_0(P_2). \quad (7)$$

Якщо ввести безрозмірні величини  $X$  та  $Y$ :

$$X = \frac{U_{det1}}{U_{opor1}} = \frac{A}{B} \exp[-2L(\alpha_0 + \alpha_i)], \quad (8)$$

$$Y = \frac{U_{det2}}{U_{opor2}} = \frac{A}{B} \exp[-2L\alpha_0]. \quad (9)$$

Їх співвідношення буде рівним:

$$Z = \frac{X}{Y} = e^{-2L\alpha_i}. \quad (10)$$

Коефіцієнт поглинання даної домішки на трасі:

$$\alpha_i = -\frac{1}{2L} \ln Z, \quad (11)$$

а усереднена по трасі кількість молекул домішки в одиниці об'єму дорівнює:

$$n_i = -\frac{1}{2L\sigma_i} \ln Z. \quad (12)$$

Визначення середніх значень концентрацій забруднюючих речовин в період коли проводиться запис на лініях зондувального лазера, зводиться до простого розрахунку з використанням отриманих із записів відносин амплітуд сигналу лазера з урахуванням потужності

випромінювання лазера на цих лініях. При цьому необхідно знати величину перерізу поглинання на частотах випромінювання CO<sub>2</sub>-лазера. Переріз поглинання визначає, наскільки ефективно газова молекула поглинає випромінювання на певній довжині хвилі. Для різних газів цей переріз буде різним, і точне знання цих значень є критичним для точності вимірювань. Величина перерізу поглинання залежить від багатьох факторів, включаючи температуру, тиск і склад атмосфери, що також потрібно враховувати при проведенні трасових вимірів.

Методика вимірів полягала у наступному. Протягом деякого часу ( $\approx 10$  хвилин) ведеться запис інтенсивності лазерного випромінювання на лініях, що відповідають лініям поглинання домішок, що досліджуються, після дворазового проходження траси. Потім зондуєчий лазер перебудовувався на лінію порівняння і знову здійснювався такий запис. Одночасно обох випадках проводиться запис опорного сигналу, тобто сигналу пропорційного потужності вихідного випромінювання зондувального лазера на цих лініях.

Обчислення концентрації досліджуваних домішок в атмосферному повітрі за результатами вимірювань проводилася шляхом вирішення системи лінійних рівнянь з використанням формули (12).

Основна ідея трасових вимірів методом диференціального поглинання полягає в тому, щоб виключити з аналізу частку сигналу, зумовлену розсіюванням випромінювання на неоднорідності середовища та нерезонансним поглинанням його. Ця ідея реалізується зондуванням атмосфери випромінюванням лазера, що працює в режимі послідовного перемикання між двома лініями випромінювання, на яких ефект резонансного поглинання домішки забруднюючої речовини істотно відрізняється.

**Обмеження та основні похибки щодо застосування лазерного комплексу для моніторингу надзвичайної ситуації техногенного характеру на території, що зазнала ракетно-артилерійського ураження.**

Обмеження застосування лазерного комплексу для моніторингу надзвичайної ситуації техногенного характеру на території, що зазнала ракетно-артилерійського ураження, пов'язані з рядом специфічних факторів, які можуть суттєво вплинути на точність та надійність вимірювань. По-перше, фізичні пошкодження і уламки, що залишилися після ударів, можуть створювати перешкоди для лазерного випромінювання, заважаючи його безперешкодному проходженню. По-друге, підвищений рівень пилу, диму та інших аерозолів у повітрі може призводити до розсіювання або поглинання лазерного випромінювання, що ускладнює аналіз спектру газів та домішок.

Слід зазначити, що при вимірюванні газових домішок та аерозолів в атмосферному повітрі можуть виникати похибки, які пов'язані, окрім фізичних факторів та умов середовища, з:

- атмосферними умовами, а саме, високою вологістю, зміною температури, що можуть впливати на оптичні властивості атмосфери та лазерного комплексу;
- технічними аспектами обладнання, що пов'язані з неправильним або несвоєчасним калібруванням обладнання;
- експлуатаційними умовами, що пов'язані з неналежним розташуванням обладнання, включаючи кутові відбивачі, або перебоями у живленні;
- людським фактором, що проявляється в недостатній кваліфікації персоналу;
- зовнішніми факторами, а саме, дією інших джерел оптичного, електромагнітного випромінювання або фонового світла.

Для забезпечення точності та надійності вимірювань з використанням лазерних комплексів важливо враховувати всі джерела похибок шляхом ретельного калібрування обладнання, контролю і корекції впливу атмосферних умов, а також удосконалення методів аналізу для компенсації можливих спотворень і неточностей.

**Рекомендації щодо практичного застосування лазерного комплексу для моніторингу надзвичайної ситуації техногенного характеру на території, що зазнала ракетно-**

**артилерійського ураження.** Для ефективного дистанційного моніторингу НС техногенного характеру, зокрема виявлення перевищення (ГДК) шкідливих (забруднюючих) речовин в атмосферному повітрі на території, що зазнала ракетно-артилерійського ураження, необхідно використовувати лазерний комплекс встановлений у салоні автомобіля підвищеної прохідності – спеціальної лабораторії. Вибір автомобіля обумовлений здатністю працювати в екстремальних умовах, включаючи нерівні дороги, відсутність доріг та інші перешкоди.

Для отримання оперативної інформації монітор комплексу слід сполучати з обчислювальним пристроєм – планшетом.

Пропонується наступна схема дій розрахунку аварійно-рятувального підрозділу ДСНС.

1. Попередній аналіз.

На основі апріорної інформації про НС вже в дорозі під час руху спецлабораторії до зони НС попередньо оцінюється окремий газовий склад атмосферного повітря. Вибираються спектральні лінії для аналізу складу домішок. Інформація про спектральні лінії зберігається в пам'яті планшета.

2. Встановлення кутового відбивача. Розрахунок однієї з машин пересувної лабораторії оперативно встановлює на висоті 2–5 м кутовий відбивач. За допомогою системи «навігатор» (або іншої рівноцінної) визначаються географічні координати розташування кутового відбивача. Ці координати за допомогою мобільного (радіо-) зв'язку повідомляються розрахунку на основній машині спецлабораторії.

3. Розташування основної машини. Основна машина спецлабораторії розташовується з протилежного боку стосовно зони НС.

4. Виявлення оптичного сигналу. За відомими географічними координатами основної машини і кутового відбивача оперативно виявляється відбитий від кутового відбивача оптичний сигнал, що двічі пройшов через зону небезпеки.

5. Аналіз оптичного сигналу. Оптичний сигнал аналізується обчислювальним пристроєм, отримана інформація відображається на дисплеї та зберігається в пам'яті планшета.

6. Обробка інших спектральних ліній. Аналогічно проводиться обробка сигналу інших спектральних ліній.

7. Прийняття управлінських рішень. На основі отриманої інформації розрахунок аварійно-рятувального підрозділу приймає рішення щодо попередження НС. Це може включати рішення про евакуацію населення, впровадження заходів для зменшення концентрації шкідливих речовин в повітрі, надання медичної допомоги постраждалим, а також інші дії, спрямовані на мінімізацію впливу НС на здоров'я людей і навколишнє середовище.

## **Висновки**

1. Основна ідея трасових вимірів методом диференціального поглинання полягає в тому, щоб виключити з аналізу частку сигналу, зумовлену розсіюванням випромінювання на неоднорідності середовища та нерезонансним поглинанням його. Ця ідея реалізується зондуванням атмосфери випромінюванням лазера, що працює в режимі послідовного перемикання між двома лініями випромінювання, на яких ефект резонансного поглинання домішки забруднюючої речовини істотно відрізняється.

2. Застосування лазерного комплексу для моніторингу надзвичайної ситуації техногенного характеру на території, що зазнала ракетно-артилерійського ураження, має свої обмеження та основні похибки, які пов'язані з фізичними факторами, умовами середовища, атмосферними умовами, технічними аспектами обладнання, людським й зовнішніми факторами.

3. Впровадження пересувної лабораторії, оснащеної лазерним комплексом, дозволить

оперативно виявляти та оцінювати концентрації шкідливих (забруднюючих) речовин в атмосферному повітрі. Це забезпечить своєчасне реагування на НС, зменшуючи ризики для здоров'я населення та навколишнього середовища. Крім того, система дозволить працювати в умовах обмеженого доступу до території, підвищеної небезпеки та ускладненої логістики, підвищуючи ефективність моніторингу та забезпечуючи збереження життя і здоров'я операторів за рахунок дистанційного вимірювання. Пропонується наступна схема дій розрахунку аварійно-рятувального підрозділу ДСНС: 1. Попередній аналіз. 2. Встановлення кутового відбивача. 3. Розташування основної машини. 4. Виявлення оптичного сигналу. 5. Аналіз оптичного сигналу. 6. Обробка інших спектральних ліній. 7. Прийняття управлінських рішень.

### **Фінансування**

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

### **Конкуруючі інтереси**

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

### **Список використаних джерел**

1. Рашкевич Н. В. Аналіз сучасного стану попередження надзвичайних ситуацій на територіях України, які зазнали ракетно-артилерійських уражень. *Комунальне господарство міст*. 2023. Том 4. Вип. 178. С. 232–251. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-4-178-232-251>.
2. Рашкевич Н. В., Мирошник О. М., Шевченко Р. І. Аналіз сучасного стану попередження надзвичайних ситуацій пов'язаних з небезпекою ґрунтових вод. *Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація*. 2023. Том 7. № 2. С. 193–216. URL: <http://fire-journal.ck.ua/index.php/fire/article/view/174/172>.
3. Рашкевич Н. В., Шевченко Р. І., Нешпор О. В. Формування алгоритму інформаційно-технічного методу попередження надзвичайної ситуації на територіях, що зазнали ракетно-артилерійських уражень. *Комунальне господарство міст*. 2024. Том 3. Вип. 184. С. 223–228. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-3-184-223-228>.
4. Рашкевич Н. В., Лобойченко В. М., Шевченко Р. І. Мінімізація наслідків екологічної небезпеки території, внаслідок їх вогневого ураження боєприпасами. Матеріали І Міжнародна науково-практична конференція «Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій - 2022», 26 – 27 травня 2022 р., м. Полтава. С. 113–116. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/15263>.
5. Про схвалення Стратегії реформування системи Державної служби України з надзвичайних ситуацій: Розпорядження КМУ від 25 січня 2017 р. № 61-р Київ. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/61-2017-%D1%80#Text>.
6. Про Загальнодержавну цільову програму захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру на 2013-2017 роки: Закон України (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2013, № 19-20, ст.173). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4909-17#Text>.
7. Черногор Л. Ф., Рашкевич А. С. Результаты трассового лазерного мониторинга загрязняющих газовых примесей в атмосфере. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2011. № 4/9 (52). С. 57–62. URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/download/1483/1381>.

8. Вамболь В. В., Рашкевич А. С., Рашкевич Н. В. Анализ особенностей экологического мониторинга атмосферного воздуха в зоне чрезвычайных ситуаций техногенного характера. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. 2016. № 49 (1221). С. 85–89. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/1548/1/85-89.pdf>.
9. Yong-Le Pan, Steven C. Hill, Ronald G. Pinnick, Hermes Huang, Jerold R. Bottiger, and Richard K. Chang Fluorescence spectra of atmospheric aerosol particles measured using one or two excitation wavelengths: Comparison of classification schemes employing different emission and scattering results. *Optics Express*. 2010. Vol. 18. Is. 12. P. 12436-12457.
10. Черногор Л. Ф., Рашкевич О. С. Автоматизованний лазерний комплекс оперативного контролю концентрації забруднюючих речовини в атмосфері. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2013. № 2/10 (62). С. 39–42. URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/download/12752/10625>.
11. Микитенко В. І., Котовський В. Й., Богатирьова Г. В. Багатоканальні іконічні системи дистанційного моніторингу. *Вісті академії інженерних наук України*. 2007. № 2(32). С. 21–26. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/27034>.
12. Mensah E. M. F. E. *Lidar Techniques and Remote Sensing in the Atmosphere: Understanding the use of laser light in the atmosphere*. AuthorHouse. 2009. 144 p.
13. Semeniuk K., Dastoor A. Current state of atmospheric aerosol thermodynamics and mass transfer modeling: A review. *Atmosphere*. 2020. Vol. 11. Is. 2. 156. <https://doi.org/10.3390/atmos11020156>
14. Петрук В. Г., Васильківський І. В., Кватернюк С. М. *Дистанційний спектрополяриметричний контроль полідисперсних аерозольних середовищ в екологічному моніторингу*: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2016. 187 с.
15. Tanré D., Bréon F. M., Deuzé J. L., Dubovik O., Ducos F., François P., ... & Waquet F. Remote sensing of aerosols by using polarized, directional and spectral measurements within the A-Train: the PARASOL mission. *Atmospheric Measurement Techniques*. 2011. Vol. 4. Is. 7. P. 1383-1395.
16. Nicolae D., Talianu C., Nemuc A., Carstea E. Benefits and drawbacks of laser remote sensing in atmospheric research. *Scientific Bulletin Journal of "Politehnica" University of Bucharest, A Series*. 2008. Vol. 70. Is. 4. P. 5-14.

## References

1. Rashkevich, N. (2023). Analysis of the current state of warning of emergency situations in the territories of Ukraine which were suffered by rocket and artillery impacts. *Municipal economy of cities*, 4(178), 232–251. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-4-178-232-251>. [in Ukrainian].
2. Rashkevich, N., Myroshnyk, O., Shevchenko, R. (2023). Analysis of the current state of warning of emergency situations related to the danger of groundwater. *Nadzvychnyi sytuatsiyi: poperedzhennya ta likvidatsiya*, 7(2), 193–216. Available from: <http://fire-journal.ck.ua/index.php/fire/article/view/174/172>. [in Ukrainian].
3. Rashkevych N., Shevchenko R., Neshpor O. (2024). Development of an algorithm of the information and technical method of emergency prevention in the territories affected by rocket and artillery damage. *Municipal economy of cities*, 3 (184), 223–228. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-3-184-223-228>. [in Ukrainian].
4. Ob odobrenii Strategii reformirovaniya sistemy Gosudarstvennoy sluzhby Ukrainy po chrezvychnym situatsiyam: Rasporyazheniye KМУ ot 25 yanvary 2017 g. №61-r Kiyev. Available from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/61-2017-%D1%80#Text>. [in Ukrainian].

5. Rashkevych, N. V., Loboychenko, V. M., Shevchenko, R. I. (2022). Minimizatsiya naslidkiv ekolohichnoyi nebezpeky terytoriyi, vnaslidok yikh vohnevoho poshkodzhennya boyeprypasamy. *Materialy I Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiya «Podolannya ekolohichnykh ryzykiv ta zahrozy dlya dovkillya v umovakh nadzvychaynykh sytuatsiy - 2022»*, m. Poltava, 113–116. Available from : <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/15263>. [in Ukrainian].
6. Ob Obshchegosudarstvennoy tselevoy programme zashchity naseleniya i territoriy ot chrezvychaynykh situatsiy tekhnogenogo i prirodnogo kharaktera na 2013-2017 gody: Zakon Ukrainy (Sobraniye zakonodatel'stva Rossiyskoy Federatsii (VVR), 2013, №19-20, st.173). Available from : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4909-17#Text>. [in Ukrainian].
7. Chernogor, L., Rashkevich, O. (2011). Results of trace laser monitoring of polluting gaseous impurities in the atmosphere. *Eastern European journal of advanced technologies*, 4/9 (52), 57–62. Available from : <http://journals.uran.ua/eejet/article/download/1483/1381>. [in Ukrainian].
8. Vamol V., Rashkevich A., Rashkevich N. (2016). An analysis of features of the ecological monitoring of atmospheric air is in the zone of emergencies of technogenic character. *Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes*, 49 (1221), 85–89. Available from : <http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/1548/1/85-89.pdf>. [in Ukrainian].
9. Yong-Le Pan, Steven C. Hill, Ronald G. Pinnick, Hermes Huang, Jerold R. Bottiger, and Richard K. Chang (2010). Fluorescence spectra of atmospheric aerosol particles measured using one or two excitation wavelengths: Comparison of classification schemes employing different emission and scattering results. *Optics Express*, 18 (12), 12436-12457.
10. Chernogor, L., Rashkevich, O. (2013). Automated laser complex for operational monitoring of the concentration of pollutants in the atmosphere. *Eastern European Journal of Advanced Technologies*, 2/10 (62), 39–42. Available from : <http://journals.uran.ua/eejet/article/download/12752/10625>. [in Ukrainian].
11. Mykytenko, V. I., Kotovs'kyi, V. Y., Bohatyr'ova, H. V. (2007). Bahatokanal'ni ikonichni systemy dystantsiynoho monitorynhu. *Visti akademiyi inzhenernykh nauk Ukrayiny*, 2(32), 21–26. Available from : <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/27034>. [in Ukrainian].
12. Mensah, E. M. F. E. (2009). *Lidar Techniques and Remote Sensing in the Atmosphere: Understanding the use of laser light in the atmosphere*. AuthorHouse. 144.
13. Semeniuk, K., Dastoor, A. (2020). Current state of atmospheric aerosol thermodynamics and mass transfer modeling: A review. *Atmosphere*, 11 (2), 156. <https://doi.org/10.3390/atmos11020156>.
14. Petruk, V. H., Vasyl'kivs'kyi, I. V., Kvaternyuk, S. M. (2016). *Dystantsiynyy spektropolyarymetrychnyy kontrol' polidispersnykh aerazol'nykh seredovyshch v ekolohichnomu monitorynhu*: monohrafiya, 187 s. [in Ukrainian].
15. Tanré, D., Bréon, F. M., Deuzé, J. L., Dubovik, O., Ducos, F., François, P., ... & Waquet, F. (2011). Remote sensing of aerosols by using polarized, directional and spectral measurements within the A-Train: the PARASOL mission. *Atmospheric Measurement Techniques*, 4(7), 1383-1395.
16. Nicolae, D., Talianu, C., Nemuc, A., Carstea, E. (2008). Benefits and drawbacks of laser remote sensing in atmospheric research. *Scientific Bulletin Journal of “Politehnica” University of Bucharest, A Series*, 70(4), 5-14.