

**АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В СФЕРІ ЛАЗЕРНОГО ЗОНДУВАННЯ ПОВІТРЯНОГО БАСЕЙНУ****Н. В. Рашкевич**Національний університет цивільного захисту України  
вул. Чернишевська, 94, м. Харків, 61023, Україна. E-mail: nine291085@gmail.com

Розглянуто методи та практичну сферу застосування лазерного зондування повітряного середовища. Встановлено перспективи практичного застосування лазерів не тільки для оцінки стану забруднення атмосфери, але й своєчасного виявлення початкової стадії виникнення надзвичайних ситуацій (пожеж) від об'єктів зі скритою небезпекою. Оптичні прилади за своїми можливостями перевершують традиційні (контактні) методи моніторингу фізико-хімічних параметрів атмосфери: вимірюють метеорологічні показники, вміст газових компонентів, аерозольних частинок, біогенних речовин з високими часовими, просторовими можливостями. Об'єкт діагностики диктує основні характеристики приладів, які залежать від технічної складової, програмного та математичного апарату аналізу променя (вирішення прямої та зворотної задачі оптики атмосфери). Результати роботи представляють практичний інтерес для проведення якісних досліджень тенденцій утворення, накопичення і поширення хімічних речовин, високих температур над територією об'єкта з прихованою техногенно-екологічною небезпекою, таким чином, для попередження надзвичайних ситуацій.

**Ключові слова:** атмосфера, забруднення, дистанційне зондування, лідар.**АНАЛИЗ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СФЕРЕ ЛАЗЕРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО БАСЕЙНА****Н. В. Рашкевич**Национальный университет гражданской защиты Украины  
ул. Чернышевская, 94, г. Харьков, 61023, Украина. E-mail: nine291085@gmail.com

Рассмотрены методы и практическая сфера использования лазерного зондирования воздушной среды. Установлены перспективы практического применения лазеров не только для оценки состояния загрязнения атмосферы, но и своевременного выявления начальной стадии возникновения чрезвычайных ситуаций (пожаров) от объектов со скрытой опасностью. Оптические приборы по своим возможностям превосходят традиционные (контактные) методы мониторинга физико-химических параметров атмосферы: измеряют метеорологические показатели, содержание газовых компонентов, аерозольных частиц, биогенных веществ с высокими временными, пространственными возможностями. Объект диагностики диктует основные характеристики приборов, которые зависят от технической составляющей, программного и математического аппарата анализа луча (решение прямой и обратной задачи оптики атмосферы). Результаты работы представляют практический интерес для проведения качественных исследований тенденций образования, накопления и распространения химических веществ, высоких температур над территорией объекта со скрытой техногенно-экологической опасностью, таким образом, для предупреждения чрезвычайных ситуаций.

**Ключевые слова:** атмосфера, загрязнение, дистанционное зондирование, лидар.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Проблема своєчасного та якісного моніторингу навколишнього середовища стає все більш актуальною з ростом техногенного навантаження на елементи екосистеми. Стан атмосферного повітря як середовища, в якому накопичуються й розповсюджуються небезпечні речовини, потребує постійного та якісного контролю. Серед факторів забруднення виступають надзвичайні ситуації, які, як правило, супроводжуються високим виділенням тепла та інтенсивним утворенням забруднювачів.

Контактні методи моніторингу рівня забруднення повітряного басейну мають свої недоліки та труднощі: відсутня можливість отримання повної та реальної картини розподілу забруднювачів, низька оперативність, надійність, чутливість, безпека при застосуванні складної обслуговування виміральної апаратури. Тому дослідження та забезпечення техногенно-екологічної безпеки з використанням дистанційних методів на основі оптичних властивостей є актуальними. Однак, повністю відмовитись від прямих вимірів не можливо: вони потрібні для калібрування безконтактних приладів.

Основи застосування лідарів для дослідження стану атмосферного повітря викладені у роботі Хінклі Є.Д., Межериса Р., Зуєва В.Є., Зуєва В.В., Смирнов С.В, Банах В.А. та ін. Лазерне зондування базується на фізичних процесах, що описуються законами взаємодії лазерного випромінювання з речовиною, основні з яких: розсіяння Мі; молекулярне релєвське розсіяння; комбінаційне розсіяння (КР); флуоресценція; резонансне поглинання; диференціальне поглинання і розсіяння (ДПР).

За даними Міжнародної координаційної групи з лазерних досліджень атмосфери (ICLAS) ряд країн проводять регулярні спостереження або цілеспрямовані вимірювання за допомогою лідарних установок, станцій, що об'єднують в цілі мережі (Європейська – EARLINET, Азіатська – AD NET, СНД – CIS-LiNet, Латиноамериканська – LALINET, Південна Америка – SAVER-Net), таким чином, вивчають рівень якості повітряного середовища, отримують інформацію в реальному часі про можливу небезпеку.

Викладена робота має за мету на основі аналізу наукових досліджень з розвитку бази лазерних засобів контролю за станом атмосферного повітря вста-

новити перспективи практичного застосування лідарів для своєчасного виявлення початкової стадії виникнення надзвичайних ситуацій (пожеж) від об'єктів зі скритою небезпекою. Об'єкт дослідження – методи та сфера застосування лазерного зондування атмосферного повітря. Предмет дослідження – встановлення можливості застосування лідарів для попередження виникнення надзвичайних ситуацій.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Серед широкого спектру представлених лідарів, важко виділити найбільш досконалий спосіб або метод реалізації дослідження повітряного середовища. Це пов'язано з поставленими завданнями перед приладом – на якому об'єкті та який параметр, компонент або речовину (-ни) потрібно діагностувати. Тому, з урахуванням законів оптики, спектрального діапазону (від ультрафіолетових до інфрачервоних областей), поставлених завдань з практичного застосування проводяться розробки приладів та методів діагностування.

Правдивість результатів лазерного зондування залежить від точного рішення прямих задач атмосферної оптики (вивчення впливу атмосфери на лазерний промінь з заданими характеристиками) та однозначність розв'язання зворотних задач, що дозволяють відновити за даними лазерного зондування параметри атмосфери [1].

До принципової схеми більшості лідарів належать блоки [2–5]:

- передачі (лазерне джерело, оптична система передачі);
- прийому (фотодетектор, спектроаналізатор, оптична система прийому);
- система управління (елементи обробки, контролю вихідного випромінювання, система відображення інформації).

За своєю будовою, в залежності від розміщення джерела випромінювання по відношенню до приймального пристрою, розрізняють моностатичні (однопозиційні) та бістатичні (двопозиційні або трасові) монітори. Головною з переваг під час випромінювання сигналу та його подальшого прийому в одному місці є можливості створення мобільної системи. Як відбивач енергії, що поступає від лазера, виступають топографічні об'єкти або об'єм газу, що піддається опромінюванню, внаслідок зворотного розсіювання. Такий підхід дає змогу визначити відстань, швидкість, склад шкідливих та небезпечних речовин по часовій затримці імпульсів [5].

Діагностування можливе не тільки з поверхні Землі, але з повітря та космосу. Системи наземного базування є простими та зручними в роботі, хоча не проводять моніторингу великих районів, як це роблять супутникові системи, але при цьому забезпечують високу точність вимірювань на обраній ділянці.

Лазер виступає інструментом висвітлення ряду основних закономірностей атмосферних процесів і явищ, формування та зміни клімату про що свідчать результати доповідей 28-ї Міжнародної лазерної радіолокаційної конференції, яка відбулась в Університеті «Політехніка», м. Бухарест 25–30 червня 2017 року. Таким чином, предметом дослідження висту-

пають основні екологічні чинники: склад, будова, тепловий режим, вологообмін, фізичні, хімічні процеси в атмосфері.

Одними з перших питань, які постають при проектуванні лазерних систем є:

- чутливість, що залежить від відношення сигнал/шум, часу обробки сигналу, довжини траси та характеризується мінімальним значенням концентрації речовин, що забруднюють атмосферне середовище;

- потенційна дальність роботи, що оцінюється з умови рівності енергетичних характеристик корисного лазерного сигналу (що приходить на приймач) та граничних енергетичних характеристик приймача системи.

Також слід пам'ятати про джерела похибок, які пов'язані з вимірювальною апаратурою та самим середовищем, що підлягає дослідженню.

Під час дослідження стану атмосфери розсіювання Мі (аерозольне) та Релея (молекулярне) виступають носіями додаткової інформації.

Розсіювання Мі використовується для аналізу частинок, діаметр яких трохи більше довжини хвилі випромінювання, забезпечує високу чутливість до частинок пилу, туману, крапель дощу, ефективний для встановлення розмірів та швидкостей, але не дозволяє проводити кількісний аналіз атомного та молекулярного складу.

Коли довжина хвилі випромінювання більше розміру частинок, має місце розсіювання Релея.

Забруднення атмосфери формується не тільки з урахуванням газоподібних речовин, але й аерозольних частин. Аерозолі є складними слабоселективними компонентами, що характеризуються різними розмірами, формами, хімічним складом, часовою і просторовою неоднорідністю.

Тому дослідження аерозольного забруднення атмосфери, наприклад, в Таджикистані [6] в рамках Німецько-Таджицького спільного проекту Центрально-Азіатського пилового експерименту (CADEX) в м. Душанбе актуальні та важливі для розуміння проблем транскордонного переносу мінерального пилу, його впливу на зміну клімату, екологічну безпеку, радіаційний баланс. Результати хвильового лідару PollyXT (створений Інститутом тропосферних досліджень ім. Лейбніца (TROPOS)) дали всебічну характеристику забруднення мінеральним пилом.

Енергетичні втрати оптичного сигналу через аерозольне та молекулярне розсіювання є одними з головних факторів, що визначають викривлення сигналу.

Аерозольне ослаблення  $\alpha_a$  описується емпіричним відношенням [5]:

$$\alpha_a = \frac{3.912}{R_m} \left( \frac{\lambda}{0.55} \right)^{-q}, \quad (1)$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі випромінювання;  $R_m$  – метеорологічна дальність видимості, що обумовлена ясною або хмарною погодою (наявністю диму);  $q$  – показник ступеня, що залежить від видимості.

Молекулярне ослаблення  $\alpha_m$  розраховується на основі теорії розсіювання Релея [5]:

$$\alpha_m = \pi^2 \frac{(n^2 - 1)^2}{N\lambda^4} \frac{6 + 3\delta}{6 - 7\delta}, \quad (2)$$

де  $n$  – показник переломлення повітря;  $\delta$  – ступень деполяризації розсіювання випромінювання;  $N$  – число молекул в одиницю об'єму;  $\lambda$  – довжина хвилі випромінювання.

Завдання кількісного аналізу багатокомпонентних сумішей, до складу яких входять гази, частинки пилу до кінця не вирішене. Багато теоретичних та практичних питань залишаються невивченими – складність розв'язання зворотної задачі оптики.

Основним рівнянням лазерної локації називають залежність потужності відбитого (розсіяного) об'єктом зондування випромінювання на заданій довжині хвилі від відстані до об'єкта і його параметрів [7].

$$P_S = \frac{PS\eta\beta}{R^2} e^{-2\Gamma}, \quad (3)$$

де  $P_S$  – потужність відбитого (розсіяного) випромінювання;  $P$  – потужність лазера;  $S$  – ефективна площа приймального елемента;  $\eta$  – ефективність приймального елемента;  $\beta$  – об'ємний коефіцієнт зворотного розсіювання;  $\Gamma = \int_0^R \alpha(R) dR$  – інтегральний коефіцієнт поглинання лазерного випромінювання;  $\alpha$  – об'ємний коефіцієнт поглинання ( $\alpha = \alpha_m + \alpha_a$ );  $R$  – відстань до об'єкта зондування.

При імпульсному зондуванні відстань до об'єкта зондування визначається зі співвідношення:

$$R = \frac{c\tau}{2}, \quad (4)$$

де  $c$  – швидкість світла,  $\tau$  – затримка імпульсу.

Якщо в якості відбивача лазерного пучка використовують кутовий відбивач, то рівняння (3) модифікується і має вигляд:

$$P_S = \frac{PS\eta C}{R_0^2} e^{-2\Gamma(R_0)}, \quad (5)$$

де  $C$  – апаратна константа,  $R_0$  – довжина траси,  $\Gamma(R_0)$  – інтегральний коефіцієнт поглинання при проходженні випромінювання всієї траси.

Адаптація основного рівняння дистанційного лазерного зондування до умов моніторингу атмосфери зони техногенно-екологічної безпеки реалізує умови зниження ризику виникнення та розвитку надзвичайних ситуацій.

Метод комбінаційного розсіювання базується на спектральному аналізі розсіяного назад випроміню-

вання, в якому спостерігаються додаткові ліній-спутники. Застосовується при миттєвому визначенні концентрацій речовин, що перевищують гранично допустимі значення з високим просторовим дозволом, без використання режиму тимчасового накопичення сигналу та не потребують використання складних лазерів, які потрібно переналаштувати. Має широкі перспективи при поєднанні з методом диференційного поглинання (ДП). Одним лідаром за допомогою метода КР – точне визначення профілів аерозольного розсіювання та ослаблення [6], а також температури та вологості [8, 9], а метод ДП – надійний вимір концентрацій газу [5].

Для визначення небезпечних речовин у нижчих шарах атмосфери активно застосовують метод ДП в інфрачервоній області (2,5–14 мкм), до якої потрапляють лінії поглинання практично всіх газів атмосфери та знаходиться шість вікон прозорості з множиною мікрівікон [2]. На практиці метод реалізується двома способами: лідарний, в якості відбивача атмосферний аерозоль; трасовий – відбивання від топографічних об'єктів (дзеркала). Метод заснований на поглинанні світлової енергії молекулами газу що досліджуються при збігу частоти випромінювання лазера з частотою електронного або коливально-обертального переходу даних молекул. Для технічної реалізації необхідно здійснювати зондування на двох частотах, одна з яких точно збігається з резонансною частотою досліджуваних молекул, а друга – від неї відрізняється, таким чином враховується вплив аерозольного і молекулярного розсіювання та поглинання. Дозволяє визначати концентрацію вздовж променя лазера біля сотні інгредієнтів серед яких: оксиди карбону, оксиди нітрогену, оксиди сульфору, озон, аміак, гідросульфід, флуор, хлор, фторид сульфору, метан та його похідні, етан та його похідні, карбогідрогени дієнового ряду, флуор- і хлор- похідні карбогідрогенів (в тому числі фреони), гідразин і його похідні, бензол і його похідні, бенз(а)пірен, аерозольні частки та інші речовини із забезпеченням точності визначення концентрації до 0,01 гранично допустимої концентрації [5].

Метод диференційного поглинання пропонується застосовувати: в галузі озброєння і військової техніки не тільки для локації та розвідки, але й контролю параметрів радіаційної, хімічної і метеорологічної безпеки [3]; для поточного контролю оксидів азоту і діоксиду сірки у відпрацьованих газах дизельних і котельних установок [10].

Лідарний двучастотний метод зондування знайшов застосування для моніторингу стану забруднення підстилаючої поверхні сільськогосподарських земель [11]. Розроблена аналітична модель процесу виявлення шкідливих повітряних домішок на підставі процесу порівняння вимірної концентрації молекул газивої компоненти з її граничним (фоновим) значенням.

Флуоресцентні лідари виявляють та визначають параметри нафтових плівок, що утворились при розливі нафти на земній поверхні [12] або воді [13]. Отримана інформація про об'єм пролитої нафти, її розповсюдження у часі дозволяє спрогнозувати екологічні наслідки, оцінити обсяг і терміни по ліквідації розливу.

Двучастотний флуоресцентно-аерозольний лідар, що поєднує різні технічні та методологічні підходи, здатен ідентифікувати фізіологічно-активні речовини (бактерії, віруси) [14]. Широкі можливості пов'язані з роботою на двох каналах, одночасно спостерігати лідарні сигнали пружного розсіювання і флуоресценції при опроміненні середовища на довжинах хвиль 1064 та 266 нм відповідно. В інфрачервоному каналі сигнал формується аерозолями будь-якої природи до 50 км, а в ультрафіолетовому каналі – аерозолями тільки біогенного походження до 4 км.

Лазерні систем особливо інтенсивно почали розвиватися після появи приладів, що пере налаштовуються, з відкриттям фемтосекундного лазера (на ультракоротких імпульсах до 100 пікосекунд ініціюється пробій, плазма якого є вторинним джерелом випромінювання з широким спектром) [15] створює широкі перспективи з високим потенціалом дистанційного зондування слідів хімічних, біологічних агентів в атмосфері. Таким чином, існує технічна база, яка дозволяє вирішувати ряд принципово важливих завдань оптичної спектроскопії по досягненню високої чутливості, селективності, можливостей у часі та просторі.

Ряд наукових досліджень направлені на контроль та виявлення окремих речовин в атмосферному повітрі. Особливу занепокоєність викликають парникові гази, що вже створили проблеми та загрозу для екосистеми.

Діяльність людини є фактором зміни клімату. Після водяного пару найбільш поширеними довгоживучими парниковими газами в атмосфері є двоокис вуглецю, метан та закис азоту.

Завдання з виявлення метану в глобальному аспекті за допомогою просторового інтегрального диференційного поглинання вирішується між державами Францією та Німеччиною [16]. Також, у Франції створена мережа лазерної спектроскопії GreenLITE™, яка спроможна вимірювати концентрацію вуглекислого газу, метану на ділянці до 25 км<sup>2</sup> [17].

У роботі [18] проведений пошук оптимальних варіантів лідарної системи по забезпеченню безперервного автоматизованого контролю рівня концентрацій молекул вуглеводнів методом комбінаційного розсіювання світла (КРС) в одиночному імпульсі при підрахунку фотонів, так і методом диференціального поглинання та розсіювання (ДПР). Газоаналіз просторового розподілу вуглеводнів відкриває перспективи для пошуку родовищ нафти та газу.

Велика частина антропогенних викидів оксиду азоту належить до активного використання азотних добрив та паливних матеріалів для автотранспорту. Дослідники [19] зупиняють свою увагу на діагностиці оксиду азоту, закису азоту [20].

Контроль складу атмосферного повітря за допомогою безконтактних засобів при регламентних режимах роботи об'єкту, а також аварійних ситуаціях сприяє якісній, своєчасній оцінці рівня безпеки та прийняття високоефективних управлінських рішень з нейтралізації небезпечних речовин, наближення концентрацій до допустимих значень та запобігання поширення небезпеки.

Мобільний лідарний комплекс – універсальний засіб дослідження зони надзвичайної ситуації [21–23]. Традиційні (контактні) методи оцінки зони аварії (катастрофи) призводить до додаткового ризику для персоналу, можливості прийняття невірних рішень. Важливе значення має оперативність в отриманні даних контролю, можливість відбору представницької проби. Авторами [24] проведений аналіз можливості організації дистанційного екологічного моніторингу атмосферного повітря в районах виникнення надзвичайних ситуацій. Однак, питання виявлення індикаторів початкової стадії небезпеки не розглядаються.

У дослідженнях [25] повідомляється про складну пожежу жовтня 2016 року над Мосула в Іраку, де виявлено два джерела небезпеки: темний шлейф з нафтових свердловин і білий – з заводу по виготовленню сірки. На підставі лідарних досліджень була проведена оцінка концентрації оксиду сірки та докладно описана надзвичайна ситуація.

Стан атмосфери визначається не тільки газохімічним складом, але і наявністю джерел турбулентності, які призводять до викривлення вигляду діаграми розсіювання випромінювання, що проявляється в кутових коливаннях локальних максимумів. Ступінь турбулентності повітря зростає зі збільшенням температури, таким чином вирішується питання по виявленню джерел пожежі [26].

При побудові та подальшому застосуванні лідарних систем важливим є забезпечення широкого діапазону переналаштування приладів, високої стабільності параметрів випромінювання та надійності при тривалій експлуатації. Тому моделювання, розробки програмного забезпечення при поєднанні з сучасними технологіями геопросторового аналізу мають суттєве значення для реалізації ефективного діагностування стану атмосфери та виявлення з подальшим контролем початкової стадії небезпеки. Суміщення вимірювальної інформації з електронною картою місцевості, ведення бази даних результатів проведених сеансів, їх аналіз та статистична обробка – основа для розробки та прийняття рішень по зниженню ризику для навколишнього середовища життя та здоров'я населення.

**ВИСНОВКИ.** Технології лазерного дистанційного зондування повітряного середовища усувають недоліки та обмеження традиційних методів контролю, дозволяють дослідити параметри атмосфери, вміст газових компонентів та аерозольних частинок, речовин біогенного походження. Встановлено, що лазерний комплекс – ефективний інструмент дослідження індикаторів скритої небезпеки виникнення надзвичайних ситуацій (розподіл високих температур, аналіз кількості та якості небезпечних речовин тощо).

При діагностиці метеорологічних параметрів, рівня забруднення актуальними є методи диференціального поглинання, що добре працюють в інфрачервоному діапазоні та комбінаційного розсіювання – ультрафіолетовий діапазон. З відкриттям фемтосекундних лазерів підвищується надійність якісного дослідження стану атмосфери.

Перспективи подальших досліджень полягає у науковому обґрунтуванні способу ідентифікації хімічних речовин та високих температур над територією об'єкту зі скритою техногенно-екологічною небезпекою з урахуванням ряду факторів.

ЛІТЕРАТУРА

- Зуев В.Е., Белов В.В., Веретенников В.В. Теория систем в оптике дисперсных сред. – Томск: «Спектр» ИОА СО РАН, 1997. – 402 с.
- Васильев Б.И., Маннун У.М. ИК лидары дифференциального поглощения для экологического мониторинга окружающей среды // Квантовая электроника. – 2006. – Т. 36. – № 9. – С. 801–820.
- Буданов П.Ф., Буданов М.П., Демидов Б.О. Лидари. Основні властивості і перспективи застосування в зразках озброєння і військовій техніці // Системи озброєння і військова техніка. – 2008. – № 1(13). – С. 30–37. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/soivt\\_2008\\_1\\_8](http://nbuv.gov.ua/UJRN/soivt_2008_1_8).
- Лазерный измеритель характеристик атмосферных аэрозольных неоднородностей в видимом и ультрафиолетовом диапазонах спектра / С.Е. Иванов, Ю.В. Федотов, П.А. Филимонов и др. // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». – 2016. – № 2. – С. 67–78.
- Черногор Л.Ф., Рашкевич О.С. Автоматизированный лазерный комплекс оперативного контроля концентрации забруднюючих речовини в атмосфері // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Х., 2013. – № 2/10 (62). – С. 39–42. — Режим доступа: <http://journals.uran.ua/eejet/article/download/12752/10625>.
- Дистанционное зондирование атмосферы в рамках проекта CADEX / Б.И. Назаров, Д. Альтхаузен, Дж. Хофер, С.Ф. Абдуллаев // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. Физика атмосферы. – 2016. – Т. 59. – №11-12. – С. 489–497.
- Трассовый ИК анализатор газовых примесей в атмосфере (калибровка по озону и измерения содержания озона в атмосфере) / В.Г. Герасимов, А.Я. Анিকেев, В.Н. Диденко, В.Н. Рябых // Радиофизика и радиоастрономия. – 1998. – Т. 3. – № 4. – С. 387–392.
- Feasibility study of water vapor and temperature retrieval using a combined vibrational rotational Raman and Mie scattering multi-wavelength lidar / Min Lv, Chuanfeng Z., Qianqian W., Zhanqing Li // Remote Sensing of the Atmosphere, Clouds, and Precipitation. – 2014. – Available at: <http://dx.doi.org/10.1117/1.22068632>.
- Bobrovnikov S. Raman lidar for temperature and humidity profiling with high spatial resolution and low blind area // 28th International Laser Radar Conference, 25–30 June 2017. – Bucharest: “Politehnica” University. – Available at: <http://conference.iclas-ilrc.org/event/1/session/59/contribution/341>.
- Шацкова Ю.В., Туркин В.А. Повышение безопасности морских перегрузочных комплексов использованием системы мониторинга экстремальных природных явлений // Транспортное дело России. – 2011. – С. 94–96.
- Романюк В.А., Нестеренко С.В., Черепнев И.А. Применение метода дифференциального поглощения и рассеяния для оценки загрязненности подстилающей поверхности сельскохозяйственных угодий // Инженерия природокористування. – 2017. – №1. – С. 104–109. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Iprk\\_2017\\_1\\_20](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Iprk_2017_1_20).
- Метод обнаружения нефтяных загрязнений на земной поверхности, основанный на регистрации флуоресцентного излучения в трех узких спектральных диапазонах / Ю.В. Федотов, О.А. Матросова, М.Л. Белов, В. А. Городничев // Оптика атмосферы и океана. – 2013. – Т. 26. – № 3. – С. 208–212.
- Ахмедов А.Ф., Абдуллаева С.Н. Обобщенный алгоритм синтеза флуоресцентного и комбинированного методов определения показателей загрязнения морских вод нефтью и нефтепродуктами // Журнал Безопасность в техносфере. – 2014. – Т. 3. – № 2. – С. 18–22.
- Коханенко Г., Макогон М. Флуоресцентно-аэрозольный лидар «ФАРАН-М1» // Журнал Фотоника. – 2010. – № 4. – С. 50–53.
- Huai Liang Xu, See Leang Chin Femtosecond Laser Filamentation for Atmospheric / Sensing Sensors (Basel). – 2011. – № 11(1). – P. 32–53. – Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3274092/>.
- Chomette O. CH<sub>4</sub> IPDA Lidar mission data simulator and processor for MERLIN: prototype development at LMD/CNRS/Ecole Polytechnique // 28th International Laser Radar Conference, 25–30 June 2017. – Bucharest: “Politehnica” University. Available at: <http://conference.iclas-ilrc.org/event/1/session/56/contribution/216/author/0>.
- Dobler, J. GreenLITEm: A year of CO<sub>2</sub> monitoring over Paris, France, and recent progress in monitoring CH<sub>4</sub> // 28th International Laser Radar Conference, 25–30 June 2017. – Bucharest: “Politehnica” University. – Available at: <http://conference.iclas-ilrc.org/event/1/session/45/contribution/263>.
- Аблязов С.К., Шеманин В.Г. Решение лидарного уравнения для контроля углеродов в атмосфере // Научно-технические ведомости. Физика атмосферы. – 2009. – № 2. – С. 117–121.
- Mei L, Guan P. Atmospheric NO<sub>2</sub> monitoring by employing the Scheimpflug lidar technique // 28th International Laser Radar Conference, 25–30 June 2017. – Bucharest: “Politehnica” University. – Available at: <http://conference.iclas-ilrc.org/event/1/session/55/contribution/96.pdf>.
- Ионин А.А. Дистанционное зондирование закиси азота и метана с использованием линий излучения обертонового СО-лазера // Журнал прикладной спектроскопии. – 2014. – С. 313–316.
- Лазерные системы контроля загрязнения атмосферы в районах размещения химически опасных объектов / Т.Г. Габричидзе, В.А. Алексеев, В.В. Батырев, И.М. Яшников // Технологи гражданской безопасности. – 2013. – С. 96–98.
- Черногор Л.Ф., Рашкевич А.С. Результаты трассового лазерного мониторинга загрязняющих

газовых примесей в атмосфере // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – X., 2011. – № 4/9 (52). – С. 57–62. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/eejet/article/download/1483/1381>.

23. Бурков В.Д., Щукин Д.Г., Степанов И.М. Оптические методы контроля утечек газовых выбросов в задачах мониторинга атмосферы // Лесной вестник. – 2012. – № 6. – С. 14–17.

24. 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». – X., 2016. – № 49 (1221). – С. 85–89. – Режим доступа:

<http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/1548/1/85-89.pdf>.

25. Andrei S. Analysis of a complex fire event using the synergy of passive and lidar spaceborne sensors // 28th International Laser Radar Conference, 25–30 June 2017. – Bucharest: “Politehnica” University. – Available at: <http://conference.iclas-ilrc.org/event/1/session/62/contribution/300>.

26. Доля Г.Н. Лазерная система определения очагов пожаров для обеспечения экологической безопасности окружающей среды // Вісник ХНУ ім. В. Н. Каразіна. Сер. «Екологія». – 2009. – № 849. – С. 83–87.

## ANALYSIS OF SCIENTIFIC RESEARCHES IN THE FIELD OF ATMOSPHERE LASER DIAGNOSTIC

**N. Rashkevich**

National University of Civil Defense of Ukraine

vul. Chernyshevskya, 94, Kharkiv, 61023, Ukraine. E-mail: [nine291085@gmail.com](mailto:nine291085@gmail.com)

**Purpose.** To determine the prospects for the practical application of lasers, not only for assessing the state of atmospheric pollution, but also for the timely detection of the initial stage of emergence of emergencies (fires) from objects with hidden danger. **Methodology.** The analysis of scientific investigations that consider methods and practical spheres of using laser sounding of atmospheric air has been carried out. **Results.** Optical instruments are superior in their capabilities to traditional (contact) methods of monitoring the physicochemical parameters of the atmosphere: meteorological indicators, the content of gas components, aerosol particles, biogenic substances with high temporal and spatial capabilities. The diagnostic object dictates the main characteristics of the instruments, which depend on the technical component, the software and the mathematical apparatus analysis of ray (the solution of the direct and inverse problem of the optics of the atmosphere). **Originality.** Basically, for measuring the content of gaseous impurities and aerosols, differential absorption methods have been used - the infrared range, Raman scattering - the ultraviolet range. The laser complex makes it possible to remotely investigate hazard indicators. **Practical value.** The results of the work are of practical interest for conducting qualitative studies of the trends in the formation, accumulation and spread of chemical substances, high temperatures over the territory of the facility with a hidden technogenic-environmental hazard, thus preventing emergencies. References 29.

**Key words:** atmosphere, pollution, remote sensing, lidar.

### REFERENCES

1. Zuev, V.Ye., Belov, V.V., Veretennikov, V.V. (1997), *Teoriya sistem v optike dispersnykh sred* [Theory of systems in the optics of dispersed media], Spektr IOA SO RAN, Tomsk, Russia.

2. Vasilev, B.I., Mannun, U.M. (2006), “IR Lidars differential absorption for environmental monitoring of the environment”, *Kvantovaya elektronika*, vol. 36, no. 9, pp. 801–820.

3. Budanov, P. F., Budanov, M. P., Demidov, B. O. (2008), “Lidari. Basic properties and prospects of application are in standards of armament and military technique”, *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika*, no. 1(13), pp. 30–37, available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/soivt\\_2008\\_1\\_8](http://nbuv.gov.ua/UJRN/soivt_2008_1_8).

4. Ivanov, S.Ye., Fedotov, Yu.V., Filimonov, P.A. et al. (2016), “Laser meter of atmospheric aerosol inhomogeneity properties in visible and ultraviolet spectral bands”, *Vestnik MGТУ im. N. E. Bauman. Ser. “Priborostroenie”*, no. 2, pp. 67–78.

5. Chernogor, L.F., Rashkevich, O.S. (2013), “Automated laser complex of operational control of the concentration of pollutants in the atmosphere”, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Kh., no 2/10 (62), pp. 39–42, available at: <http://journals.uran.ua/eejet/article/download/12752/10625>.

6. Nazarov, B.I., Altkhauzen, D., Khofer, Dzh., Abdullaev, S.F. (2016), “Remote sensing of environment in the framework of CADEX project”, *Doklady Akademii nauk Respubliki Tadzhikistan. Fizika atmosfery*, vol. 59, no. 11-12, pp. 489–497.

7. Gerasimov, V.G., Anikeev, A.Ya., Didenko, V.N., Ryabykh, V.N. (1998), “Tracer IR analyzer of gas impurities in the atmosphere (calibration by ozone and measurement of ozone in the atmosphere)”, *Radiofizika i radioastronomiya*, vol. 3, no. 4, pp. 387–392.

8. Min, Lv., Chuanfeng, Z., Qianqian, W., Zhanqing, Li (2014), “Feasibility study of water vapor and temperature retrieval using a combined vibrational rotational Raman and Mie scattering multi-wavelength lidar”, *Remote Sensing of the Atmosphere, Clouds, and Precipitation*, available at: <http://dx.doi.org/10.1117/12.2068632>

9. Bobrovnikov, S. (2017), “Raman lidar for temperature and humidity profiling with high spatial resolution and low blind area” [28th International Laser Radar Conference], Bucharest, “Politehnica” University, June 25–30, 2017, available at: <http://conference.iclas-ilrc.org/event/1/session/59/contribution/341>.

10. Shatskova, Yu.V., Turkin, V.A. (2011), “Improving safety of marine transshipment complex monitoring system using extreme weather events”, *Transportnoe delo Rossii*, pp. 94–96.

11. Romanyuk, V.A., Nesterenko, S.V., Cherepnev, I.A. (2017), "Application of differential absorption and scattering method for evaluating pollution of underlying surface of agricultural lands", *Inzheneriya prirodokoristuvannya*, no. 1, pp. 104–109.
12. Fedotov, Yu.V., Matrosova, O.A., Belov, M.L., Gorodnichev, V.A. (2013), "The method for detecting oil contamination on the earth's surface, based on recording fluorescence radiation in three narrow spectral ranges", *Optika atmosfery i okeana*, vol. 26, no. 3, pp. 208–212.
13. Akhmedov, A.F., Abdullaeva, S.N. (2014), "Generalized synthesis algorithm of fluorescent and combined methods related to definitions of indicators of sea waters pollution by oil and oil products", *Zhurnal Bezopasnost v tekhnosfere*, vol. 3, no. 2, pp. 18–22.
14. Kokhanenko, G., Makogon, M. (2010), "Fluorescent-Aerosol Lidar "FARAN-M1"", *Zhurnal Fotonika*, no. 4, pp. 50–53.
15. Huai Liang Xu, See Leang Chin (2011), "Femto-second Laser Filamentation for Atmospheric", *Sensing Sensors (Basel)*, no. 11(1), pp. 32–53, available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3274092/>.
16. Chomette, O. (2017), "CH<sub>4</sub> IPDA Lidar mission data simulator and processor for MERLIN: prototype development at LMD/CNRS/Ecole Polytechnique" [28th International Laser Radar Conference], Bucharest, "Politehnica" University, June 25–30, 2017, available at: <http://conference.iclas-ilrc.org/event/1/session/56/contribution/216/author/0>.
17. Dobler, J. (2017), "GreenLITEtm: A year of CO<sub>2</sub> monitoring over Paris, France, and recent progress in monitoring CH<sub>4</sub>" [28th International Laser Radar Conference], Bucharest, "Politehnica" University, June 25–30, 2017, available at: <http://conference.iclas-ilrc.org/event/1/session/45/contribution/263>.
18. Ablyazov, Ye.K., Shemanin, V.G. (2009), "Solution of the lidar equation for atmospheric carbon monitoring", *Nauchno-tehnicheskie vedomosti. Fizika atmosfery*, no. 2, pp. 117–121.
19. Mei, L., Guan, P. (2017), "Atmospheric NO<sub>2</sub> monitoring by employing the Scheimpflug lidar technique" [28th International Laser Radar Conference], Bucharest, "Politehnica" University, June 25–30, 2017, available at: <http://conference.iclas-ilrc.org/event/1/session/55/contribution/96.pdf>.
20. Ionin, A.A. (2014), "Remote nitrous oxide and methane sensing using emission lines of overtone CO-laser", *Journal of applied spectroscopy*, pp. 313–316.
21. Gabrichidze, T.G., Alekseev, V.A., Batyrev, V.V., Yashnikov, I.M. (2013), "Laser systems for monitoring atmospheric pollution in areas where chemically hazardous facilities are located", *Tekhnologi grazhdanskoj bezopasnosti*, pp. 96–98.
22. Chernogor, L. F. and Rashkevich, A. S. (2011), "Results of the laser tracing of polluting gas admixtures in the atmosphere", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Kh., no. 4/9 (52), pp. 57–62, available at: <http://journals.uran.ua/eejet/article/download/1483/1381>.
23. Burkov, V.D., Shchukin, D.G., Stepanov, I.M. (2012), "Optical methods for monitoring gas leakages in atmospheric monitoring tasks", *Lesnoy vestnik*, no. 6, pp. 14–17.
24. Vambol, V.V. Rashkevich, A.S., Rashkevich, N.V. (2016), "An analysis of features of the ecological monitoring of atmospheric air in the zone of emergencies of technogenic character", *Visnik Natsionalnogo tekhnichnogo universitetu «KhPI»*, Kh., no. 49 (1221), pp. 85–89, available at: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/1548/1/85-89.pdf>.
25. Andrei, S. (2017), "Analysis of a complex fire event using the synergy of passive and lidar spaceborne sensors" // [28th International Laser Radar Conference], Bucharest, "Politehnica" University, June 25–30, 2017, available at: <http://conference.iclas-ilrc.org/event/1/session/62/contribution/300>.
26. Dolya, G. N. (2009), "Laser system for determining of hearths fires for providing of environment ecological safety", *Visnyk KhNU im. V. N. Karazina*, Ser. "Ekolohiia", no. 849, pp. 83–87.

Стаття надійшла 01.12.2017.