

УДК 574.502.7

В.І. ЯРЦЕВ, старший науковий співробітник, **В.С. БОБОШКО**, старший науковий співробітник

Інститут голографії академії наук прикладної радіоелектроніки, м.Харків

М.М. ПЕЛИХАТИЙ, докт. фіз.-мат. наук, професор,**В.М. РЯБИХ**, науковий співробітник, **В.П. ТИТАРЬ**, канд. фіз.-мат. наук, с.н.с., завідувач лабораторії,**О.В. ТРЕТЯКОВ**, канд. техн. наук, старший науковий співробітник

Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна (ХНУ ім. В.Н. Каразіна)

Л.Д. ФЕСЕНКО, канд. фіз.-мат. наук, доцент

Українська інженерно-педагогічна академія (УІПА), м. Харків

СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ У ПРОМИСЛОВО НАВАНТАЖЕНИХ РАЙОНАХ МІСТА

Розроблено принципи побудови та систему організації екологічного моніторингу атмосферного повітря промислово навантажених районів міста із застосуванням лазерних методів контролю забруднення атмосфери.

Ключові слова: лазерні аналізатори, забруднення атмосфери, оптико-акустична спектроскопія, пересувний автоматизований лазерний комплекс, стаціонарний автоматизований лазерний комплекс.

Стан атмосферного повітря в сучасних умовах визначається значною мірою складом і кількістю шкідливих та небезпечних речовин, що викидаються з різноманітних джерел промислових підприємств. Діюча в Україні система нормування викидів забруднюючих речовин від промислових об'єктів забезпечує встановлення граничної кількості викидів за кожним інгредієнтом із застосуванням контролюючими органами економічних, адміністративних і навіть кримінальних чинників покарання за перебільшення встановлених лімітів викидів. Однак відсутність постійного оперативного контролю викидів за кожним джерелом дозволяє виникнути відповідальності або здійснювати збільшені викиди у той час, коли не працюють контролюючі лабораторії санітарно-епідеміологічного та екологічного нагляду.

Наприклад, за даними управління статистики Запорізької області, викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря зі стаціонарних джерел підприємств м. Запоріжжя за перший квартал 2011 р. становили 28,7 тис. т, що на 1,5 тис. т більше, ніж за 1 квартал 2010 р. (27,2 тис. т).

Найбільша кількість перевищення рівня гранично допустимих концентрацій (ГДК) забруднюючих речовин у атмосферному повітрі спостерігається у Заводському районі, забруднення атмосферного повітря вище середнього міського рівня – в Орджонікідзевському і Шевченківському районах м. Запоріжжя.

За даними обласної СЕС, максимальні перебільшення ГДК в атмосферному повітрі відзначені за трьома інгредієнтами: сірководень – в 1,6 раза; фенол – в 1,7 раза; сірковуглець – у 2 рази.

За загальною оцінкою Запорізького управління з питань екологічної безпеки, тільки з організованих промислових джерел викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря на одного мешканця м. Запоріжжя на рік припадає 250 кг забруднюючих речовин, а на 1 км² території міста – 330 т. Таке становище обумовлює канцерогенний ризик для мешканців міста на рівні $1,3 \cdot 10^{-3}$, що за міжнародною класифікацією ризиків відноситься до неприпустимо високого.

Саме стан забруднення атмосферного повітря в м. Запоріжжі здебільшого обумовлює і рівень захворюваності населення міста. За період від 1992 до 2002 р. захворюваннями верхніх дихальних шляхів страждало на 45 % більше дітей Запоріжжя, ніж в середньому в Україні, що є наслідком забруднення атмосферного повітря фенолом. Легеневих захворювань серед дітей у Запоріжжі більше, ніж загалом у країні, на 91 %, хвороб рота – на 35 %, хвороб крові та кровотворних органів, як і кишкових захворювань, – на 45 %.

Стосовно злоякісних новоутворень – у Запоріжжі серед дорослого населення захворюваність на 40 % вища, ніж середній показник розповсюдження цих захворювань у містах України. Хвороби органів дихання у дорослих на 27 % частіші, ніж у середньому в Україні.



Щорічно в Україні захворюють на рак більш ніж 160 тис. осіб. За даними головного онколога країни І. Щепотіна, щоденно в країні виявляються 442 нових випадки на рак, або 18 – щогодини. Найбільш високі показники захворюваності на рак порівняно із загальноукраїнськими (331,5 на 100 тис. населення) спостерігаються у Запорізькій області – 475,8 на 100 тис. населення. Слід також зазначити, що найвищий рівень смертності від раку спостерігається також у Запорізькій області.

З наведеного витікає, що створення системи постійного оперативного моніторингу стану атмосферного повітря у таких промислово навантажених містах, як Запоріжжя, є вкрай необхідним.

Моніторинг викидів з техногенних джерел і забруднення атмосфери займає центральне місце у системі охорони навколишнього середовища. Репрезентативність екологічного моніторингу визначається вимогами до повноти даних, достовірністю результатів вимірів, оперативністю обробки, аналізу, оцінки й адекватності прогнозу стану атмосферного повітря, який дозволяє попереджувати критичні ситуації, що впливають на стан здоров'я людини, шляхом розробки і реалізації ефективних заходів [1].

ДСТУ 17.23.01-86 визначає кількість стаціонарних постів спостереження за забрудненням атмосфери залежно від чисельності жителів міста: 1 пост – до 50 тис., 2 пости – 100 тис., 2–3 пости – 100–200 тис., 3–5 постів – 200–500 тис., 5–10 постів – більше 500 тис., 10–20 постів – більше 1 млн [2].

Існуючі методи періодичного контролю за станом викидів забруднюючих речовин, що застосовуються лабораторіями різноманітних контролюючих органів, не надають оперативних результатів, оскільки потребують обов'язкового відбору проб з подальшим аналізом і обробкою результатів і не повною мірою можуть вважатися показовими через те, що сам відбір проби є втручанням у стан об'єкта аналізу і містить у собі невизначену за кожним разом похибку визначення концентрації [3].

Останнім часом для аналізу газового складу атмосфери розроблено безпробовідбірні та безреагентні методи контролю, що засновані на фізичних ефектах диференційного резонансного поглинання (ДРП) [4] і спонтанного комбінаційного розсіювання (СКР) [5]. У цих методах застосовуються лазерні пристрої різноманітної конструкції, які дозволяють визначати наявність різних газових домішок з досить великою точністю – від одиниці до декількох десятків молекул на мільйон сторонніх [6].

Лазерні методи контролю забруднення атмосфери мають такі переваги:

- висока чутливість, точність і вибірковість методу;
- значна відстань зондування атмосфери – до 5 км;

- автоматизоване комплексне дослідження джерел викидів;
- великий перелік інгредієнтів, що контролюються;
- малий час виміру концентрацій до 10 с на одну речовину;
- відсутність відбору проб викидів;
- можливість формування комп'ютерної бази даних щодо забруднювачів та інгредієнтів;
- можливість організації стаціонарного пункту спостереження.

Автори даної роботи ставили за мету розроблення принципів побудови та системи організації екологічного моніторингу атмосферного повітря промислово навантажених районів міста із застосуванням лазерних методів контролю забруднення атмосфери.

До основних принципів екологічного моніторингу атмосферного повітря слід віднести:

- безперервний і систематичний контроль хімічного складу і концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі;
- надійність безперервних вимірів багатокомпонентних газоаерозольних сумішей з постійно змінними концентраціями компонентів в атмосферному повітрі;
- комплексний контроль з поєднанням спостережень як за складом і інтенсивністю викидів забруднюючих речовин із технологічних джерел, так і за рівнем забруднення атмосферного повітря у приземних шарах санітарно-захисних зон підприємств, у районах житлової забудови міста, у підфакельній зоні окремих промислових джерел викидів тощо.

Разом з цим необхідно також вести спостереження за реакціями трансформування вихідних забруднюючих речовин в атмосферному повітрі, оскільки:

- більшість забруднюючих газоподібних речовин, які надходять в атмосферне повітря з техногенними викидами, знаходяться у відновлювальній формі або у вигляді оксидів з низьким ступенем окислення (H_2S , CH_4 , N_2O , NO , C_nH_m , CO тощо);
- приземна атмосфера – це великий резервуар з окислювачем, в якому роль окисників відіграють молекули кисню, озону і вільні радикали, насамперед радикал $\bullet OH$.

Ця інформація набуває особливого змісту за інтенсивного техногенного навантаження і відповідних метеорологічних умов, що більш чітко відслідковується у разі виникнення фотохімічного смогу. В умовах температурної інверсії, коли на деякій висоті атмосферного простору утворюється нерухомий шар з високим рівнем концентрації оксидів азоту і сірки, CO , озону, вуглеводнів та аерозолів, під дією ультрафіолетового випромінювання сонця у цьому шарі запускається механізм фотохімічних реакцій.

У результаті проведених досліджень було встановлено, що CO₂-лазер, який переналагоджується за частотою, забезпечує можливість послідовного встановлення резонансної частоти поглинання випромінювання в інфрачервоній області практично всіх інгредієнтів, що містяться у промислових викидах, і дозволяє визначити концентрацію аерозольних часток в зоні контролю за рахунок реалізації методу СКР. Принципова схема та апаратурне виконання напрацьованого методу зображено на рис. 1 [7].

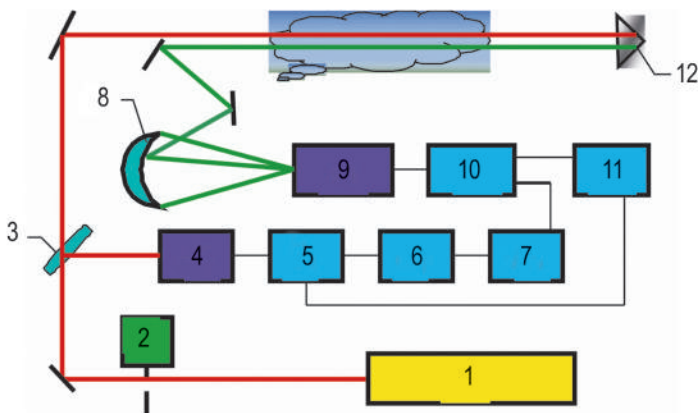


Рисунок 1 – Принципова схема трасового зондування атмосфери:

- 1 – частотно-переналагоджуваний CO₂-лазер; 2 – модулятор переривач; 3 – розщеплювач проміня; 4 – піроелектричний детектор; 5 – підсилювач; 6 – потенціометр; 7 – синхронний детектор; 8 – сферичне дзеркало; 9 – піроелектричний приймач; 10 – підсилювач; 11 – двоканальний осцилограф; 12 – кутовий відбивач

Для вимірювання концентрації забруднюючих речовин у приземному шарі атмосферного повітря останнім часом набувають все більшого застосування лазерні аналізатори з оптико-акустичним детектуванням молекул газів – забруднювачів. Ці прилади характеризуються високою чутливістю, великим динамічним діапазоном, високою швидкістю дії, малими габаритами та є найбільш перспективними для визначення концентрації забруднюючих газів в атмосферному повітрі.

Вимірювальна апаратура (рис. 2) містить у своєму складі частотно-переналагоджувальний CO₂-лазер низького тиску, який працює на одній з 80 ліній випромінювання у діапазоні 9,2–10,8 мкм, оптико-акустичну комірку невеликої довжини, що містить один або два чутливих мікрофони та реєструє обладнання на основі портативного комп'ютера.

Потужність випромінювання лазера для різних переходів знаходиться у межах від 5 до 50 Вт, а інтервал між сусідніми лініями становить 1–2 мкм. Перестроювання лазера здійснюється за допомогою калібрувального відлікового пристрою.

Лазерне випромінювання модулюється механічним переривником з частотою, що відповідає резонансній частоті оптико-акустичної комірки, яка подібна описаній у роботі [8].

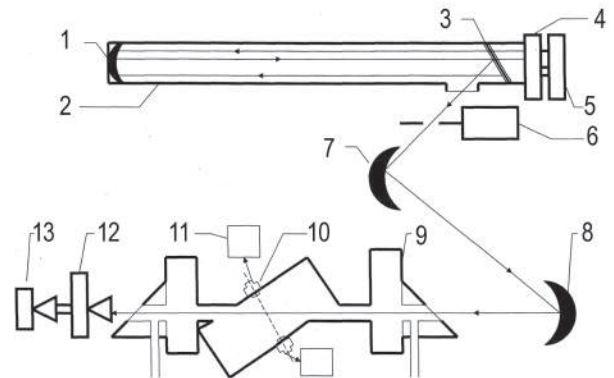


Рисунок 2 – Схема вимірювальної установки:

- 1 – глухе дзеркало; 2 – комірка CO₂-лазера; 3 – дифракційна решітка; 4, 5 – механічний та електронний пристрій повороту решітки; 6 – механічний переривник; 7, 8 – поворотні фокусуєчі дзеркала; 9 – оптико-акустична комірка; 10 – мікрофони; 11 – вимірювальна апаратура; 12 – детектор інфрачервоного випромінювання; 13 – пристрій контролю потужності

Техногенні джерела з їх потужністю і різноманіттям створюють гранично високу інтенсивність викидів забруднюючих речовин в атмосферу, різноманітність токсичних властивостей яких у своїй сукупності помітно підсилює негативний вплив на якість повітря і здоров'я людини. Сьогодні екологічні нормативи враховують 39 комбінаційних поєднань забруднюючих речовин, що мають ефект результатної токсичності при їх одночасному вмісті в атмосферному повітрі. Згідно з установленими нормами сума концентрацій забруднюючих речовин, що утворюють комбінаційні сполуки, не повинна перевищувати одиниці при розрахунку за формулою

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ГДК_n} \leq 1,$$

де C₁, C₂, ... C_n – фактичні концентрації забруднюючих речовин, що знаходяться у повітрі, мг/м³; ГДК₁, ГДК₂, ..., ГДК_n – гранично допустимі концентрації тих самих речовин, мг/м³.

Ці додаткові нормативні вимоги обумовлюють створення системи екологічного моніторингу атмосферного повітря. Можливість розширення переліку речовин, концентрація яких контролюється традиційними методами, край обмежена, але з легкістю реалізується за допомогою лазерних дистанційних методів. Саме швидкість вимірювання концентрацій цими методами дозволяє оці-



нювати індекси токсичності за всіма 39 комбінаційними поєднаннями забруднюючих речовин, що потребує охоплення контролем концентрацій близько 100 забруднюючих речовин.

Застосування розробленого автоматизованого лазерного комплексу для контролю забруднення атмосферного повітря у густонаселених районах проживання мешканців міста в режимі реального часу є край важливою складовою системи моніторингу, однак цього недостатньо. Виявлення перебільшення вмісту в повітрі понад ГДК будь-якого інгредієнту не дозволяє точно встановити з отриманої інформації, яке саме промислове підприємство і з яких саме джерел викидало в цей час забруднюючу речовину понад встановлених лімітів на викиди. Більш того, виявлення зони надмірного забруднення атмосфери в районах міста без визначення конкретних джерел не дозволяє застосувати контролюючими органами економічних, адміністративних і навіть кримінальних чинників покарання винних за перебільшення встановлених лімітів на викиди.

Виходячи з вищенаведеного, для створення дієвої системи моніторингу атмосферного повітря, окрім організації постійного контролю за рівнем забруднення приземних шарів атмосфери в зоні проживання мешканців, необхідне створення стаціонарних постів спостереження у реальному часі за викидами з організованих джерел промислових підприємств на рівні виходу з джерел із застосуванням лазерних комплексів.

Щоб запобігти впливу речовин з інших поряд розташованих джерел на показники концентрації речовин, що визначаються на одному джерелі, та з метою застосування запропонованої схеми для створення стаціонарного оперативного автоматизованого комплексу в промислових умовах, було розроблено оригінальну схему (рис. 3).

Застосування двох кутових відбивачів на кожному з джерел викидів дозволяє повністю уникнути загального впливу сусідніх джерел на значення концентрації речовини, що вимірюється на виході з визначеного джерела. Експериментальна перевірка працездатності такого комплексу підтвердила його вищеназвані переваги і дозволила встановити, що метод практично не втрачає чутливості навіть при віддаленості джерела викидів від телескопу до 5 км. Таким чином, реалізація запропонованої схеми дозволяє створити стаціонарний пункт спостереження за викидами забруднюючих речовин в районах з великою кількістю промислових об'єктів за використання одного лазера і обертального механізму, що забезпечить послідовну орієнтацію променя на відповідне джерело за визначеною програмою.

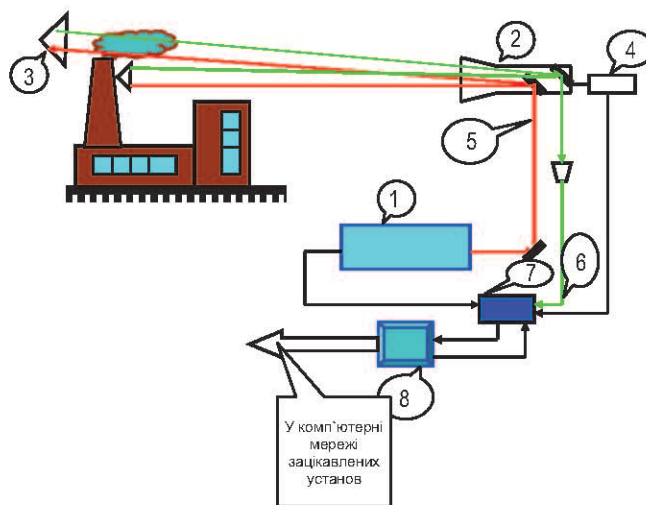


Рисунок 3 – Принципова схема лазерного комплексу контролю викидів забруднюючих речовин у повітря від промислових підприємств:

- 1 – лазер; 2 – телескоп; 3 – кутові відбивачі; 4 – блок управління телескопом; 5 – прямий промінь лазера;
- 6 – відбитий промінь лазера; 7 – інтерфейс; 8 – базова ЕОМ зі спеціальним програмним забезпеченням

Такий стаціонарний автоматизований лазерний комплекс, що розташований у промисловій зоні, дозволяє здійснювати постійний контроль за дотриманням встановлених лімітів на викиди з усіх стаціонарних джерел промислових підприємств у режимі реального часу, накопичувати дані й формувати бази даних спостереження як за джерелами, так і за інгредієнтами.

Саме поєднання контролю забруднення приземного шару атмосферного повітря в густонаселених районах проживання за допомогою пересувного автоматизованого лазерного комплексу і постійного спостереження за викидами промислових підприємств району за допомогою стаціонарного автоматизованого лазерного комплексу дозволяє створити дієву систему екологічного моніторингу, яка буде надавати об'єктивну інформацію про стан атмосферного повітря у місті в режимі реального часу.

У разі виявлення перевищення вмісту будь-якого інгредієнту понад ГДК у приземному шарі атмосферного повітря в районах щільного проживання мешканців подається команда на стаціонарний автоматизований лазерний комплекс спостереження за джерелами викидів промислових підприємств про додаткову перевірку тих джерел, які саме викидають у повітря визначену речовину. Таким чином, у режимі реального часу точно встановлюється, яке виробництво (технологічний процес) винне у перебільшенні вмісту забруднювача, що надає змогу встановити причини і розробити необхідну модернізацію технологічних процесів, переглянути ліміти викидів та вжити ефективних природоохоронних заходів.

ВИСНОВКИ

Поєднання контролю забруднення приземного шару атмосферного повітря за допомогою пересувного автоматизованого лазерного комплексу і постійного контролю за викидами промислових підприємств району з використанням стаціонарного автоматизованого лазерного комплексу дозволяє створити дієву оперативну систему екологічного моніторингу атмосферного повітря у промислово навантаженому місті із забезпеченням реалізації основних принципів екологічного моніторингу повітря.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Пашкевич, М.А. Экологический мониторинг : учеб. пособие / М.А. Пашкевич, В.Ф. Шуйский. – СПб. : Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет), 2002. – 89 с.
2. ГОСТ 17.2.3.01–86. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов. – Взамен ГОСТ 17.2.3.01–77 ; введ. 1987–01–01. – М. : Стандартиформ, 2005. – 3 с.
3. Руководство по контролю загрязнения атмосферы : РД 52.04.186-89 : утв. Госкомитетом СССР по гидрометеорологии 01.06.1989 : введ в действие 01.07.1991. – М., 1991. – 288 с.
4. Долгий, С.И. ИК лазерные газоанализаторы дифференциального поглощения «ТРАП – 3» и «ТРАП – 3М» / С.И. Долгий, В.В. Зуев, С.В. Смирнов, С.Ф. Шубин // Оптика атмосферы. – 1991. – Т. 4, № 5. – С. 515–521.
5. Rafi, A.S. Application of Raman scattering in remote sensing / A.S. Rafi // Raman Spectroscopy : Sixty Years on. – Amsterdam, etc., 1989. – P. 391–422.
6. Захаров, В.М. Лазерные методы исследования загрязнений атмосферы / В.М. Захаров, О.К. Костко, В.А. Торговичев, Э.А. Чайнов. – Обнинск : Информац. центр, 1976. – 34 с.
7. Аникеев, А.Я. Измерение содержания загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы с помощью частотно-перестраиваемого CO₂-лазера / А.Я. Аникеев, В.Н. Рябых, Е.В. Мантула, А.А. Харьковская, В.И. Ярцев // Экология и промышленность. – 2009. – № 1. – С. 75–79.
8. Пат. 48788 Украина, МПК G01N21/39. Устройство для анализа выбросов в атмосферу техногенных источников / Валяев А.Ю., Ефанов И.М., Овсиевский А.А. ; заявители и патентообладатели Валяев А.Ю., Ефанов И.М., Овсиевский А.А. – № u201001965 ; заявл. 23.02.10 ; опубл. 25.03.10, Бюл. № 6. – 3 с. : ил.

Поступила в редакцию 02.12.2011

Разработаны принципы построения и система организации экологического мониторинга атмосферного воздуха промышленно нагруженных районов города с применением лазерных методов контроля загрязнения атмосферы.

Principles of construction and organization of the environmental system for monitoring the atmospheric air of industrial loaded areas of cities with using laser methods for monitoring air pollution are developed.