

*Л. Ф. ЧЕРНОГОР*, докт. физ.-мат. наук, проф., ХНУ им. В.Н. Каразіна,  
Харьков

*О.С. РАШКЕВИЧ*, ад'юнкт, НУ гражданской защиты Украины, Харьков

## **АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЛАЗЕРНИЙ КОМПЛЕКС ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН НА РІВНІ ДЖЕРЕЛА ВИКИДІВ В АТМОСФЕРУ**

Удосконалено методи лазерної діагностики і розроблено на їх основі автоматизований лазерний комплекс оперативного високоточного, чутливого контролю концентрації шкідливих і небезпечних речовин на рівні виходу з промислового джерела в атмосферу.

Ключові слова: атмосфера, шкідливі речовини, автоматизований лазерний комплекс

Усовершенствованы методы лазерной диагностики и разработан на их основе автоматизированный лазерный комплекс оперативного высокоточного, чувствительного контроля концентраций вредных и опасных веществ на уровне выхода их из промышленного источника в атмосферу.

Ключевые слова: атмосфера, вредные вещества, автоматизированный лазерный комплекс

The methods of laser diagnostics are improved and the automated laser complex of operative high-fidelity, sensible control of concentrations of harmful and dangerous matters is developed on their basis at the level of output them from an industrial source in an atmosphere.

Key words: atmosphere, hazardous substances, an automated laser system

### **Постановка проблеми**

Стан атмосферного повітря в сучасних умовах визначається в значному ступеню складом і кількістю шкідливих і 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 по кожному інгредієнту із застосуванням контролюючими органами економічних, адміністративних і навіть кримінальних відповідальності за перебільшення встановлених лімітів викидів. Але відсутність постійного оперативного контролю викидів по кожному джерелу дозволяє винним уникнути таких покарань, або здійснювати збільшені викиди у час, коли відсутній контроль з боку СЕС та екологічного нагляду. Існуючі методи періодичного контролю за станом викидів забруднюючих речовин, що застосовуються лабораторіями різноманітних контролюючих органів, не дають оперативних результатів, тому що потребують обов'язкового відбору проб з послідовним їх аналізом і обробкою результатів, і не в повній мірі можуть вважатися показовими, тому що сам відбір проби є втручанням у стан об'єкту аналізу і містить в собі невизначену за кожним разом свою похибку визначення концентрації. Під факельний контроль концентрацій забруднюючих речовин ще менше достовірний з точки зору контролю лімітів викидів.

Розробка і створення безперервних методів і технічних засобів контролю концентрацій шкідливих і небезпечних речовин, що викидаються з організованих і неорганізованих джерел промислових підприємств, які б були позбавлені

недоліків пробовідбірних методів періодичного контролю і давали змогу організації оперативного постійного контролю без втручання в потік викидів є невідкладною сучасною проблемою для забезпечення безпечних умов праці і життя населення у промислово навантажених районах. Також ця потреба викликана відповідними міжнародними зобов'язаннями, які прийняла на себе Україна, а саме виконання положень Кіотського протоколу потребує проведення постійного безперервного контролю за викидом парникових газів у атмосферу від усіх підприємств країни. Необхідним такий контроль є також для перевірки діяльності ідентифікованих і паспортизованих потенційно небезпечних об'єктів, що є одним з основних завдань цивільного захисту.

### **Аналіз останніх досягнень і публікацій**

В останні роки задля аналізу газового складу атмосфери були розроблені безпробовідбірні та безреагентні методи контролю, що засновані на наступних фізичних ефектах: диференціального резонансного поглинання (ДРП) [1] і спонтанного комбінаційного розсіяння (СКР) [2], які застосовують лазерні пристрої різноманітної конструкції і дозволяють визначати вміст різних газових домішок з досить великою точністю від одиниці до декількох десятків молекул на мільйон сторонніх [3]. Переваги цих методів у порівнянні з традиційними пробовідбірними очевидні, але створення на їх основі вимірювальних комплексів було мало перспективно внаслідок наступних недоліків: невеликий перелік газових речовин, концентрації яких вони вимірюють, неможливість визначення концентрації і будь-якої інформації про розподіл аерозольних часток (пилу) в аналізованій атмосфері.

У більшому ступені ці недоліки відсутні у газоаерозольного поляризаційного голографічного лідара [4] в основу функціонування якого покладено метод ДРП, що забезпечує поглинання світлової енергії молекулами досліджуемого газу при співпадінні частоти випромінювання лазера з частотою електронного або коливально-обертального переходу цих молекул. Для реалізації цього методу проводиться зондування для кожного інгредієнту на двох частотах, одна з яких точно співпадає з резонансною частотою досліджуємих молекул, а друга – декілько від неї відрізняється (звичайна різниця у довжинах хвиль становить біля 15 нм), що забезпечує врахування впливу на результати вимірів аерозольного і молекулярного розсіяння і поглинання сторонніх речовин. Основним недоліком цього більш перспективного методу є те, що він є ефективним тільки у випадку використання режиму часового накопичення і дозволяє визначити тільки середню концентрацію речовин на усьому протязі проходження лазерного проміння, що неприпустимо для оперативного контролю джерел викидів забруднюючих речовин в атмосфері.

### **Постановка задачі та її розв'язання**

Удосконалити метод ДРП для забезпечення контролю повного переліку інгредієнтів, що викидаються в атмосферу промисловими підприємствами України, із забезпеченням визначення концентрації речовин у реальному часі безпосередньо на виході з джерела викидів. Розробити необхідне обладнання для

реалізації метода і створити на його основі автоматизований комплекс оперативного контролю.

В наслідок проведених досліджень було встановлено, що частотно переналагоджуємий  $\text{CO}_2$  – лазер забезпечує можливість послідовного встановлення резонансної частоти поглинання світлового випромінювання в інфрачервоній (ІЧ) – області практично всіх інгредієнтів, що містяться у промислових викидах, і дає змогу за рахунок реалізації методу СКР визначати концентрацію аерозольних часток в аналізуємій зоні (рис. 1).

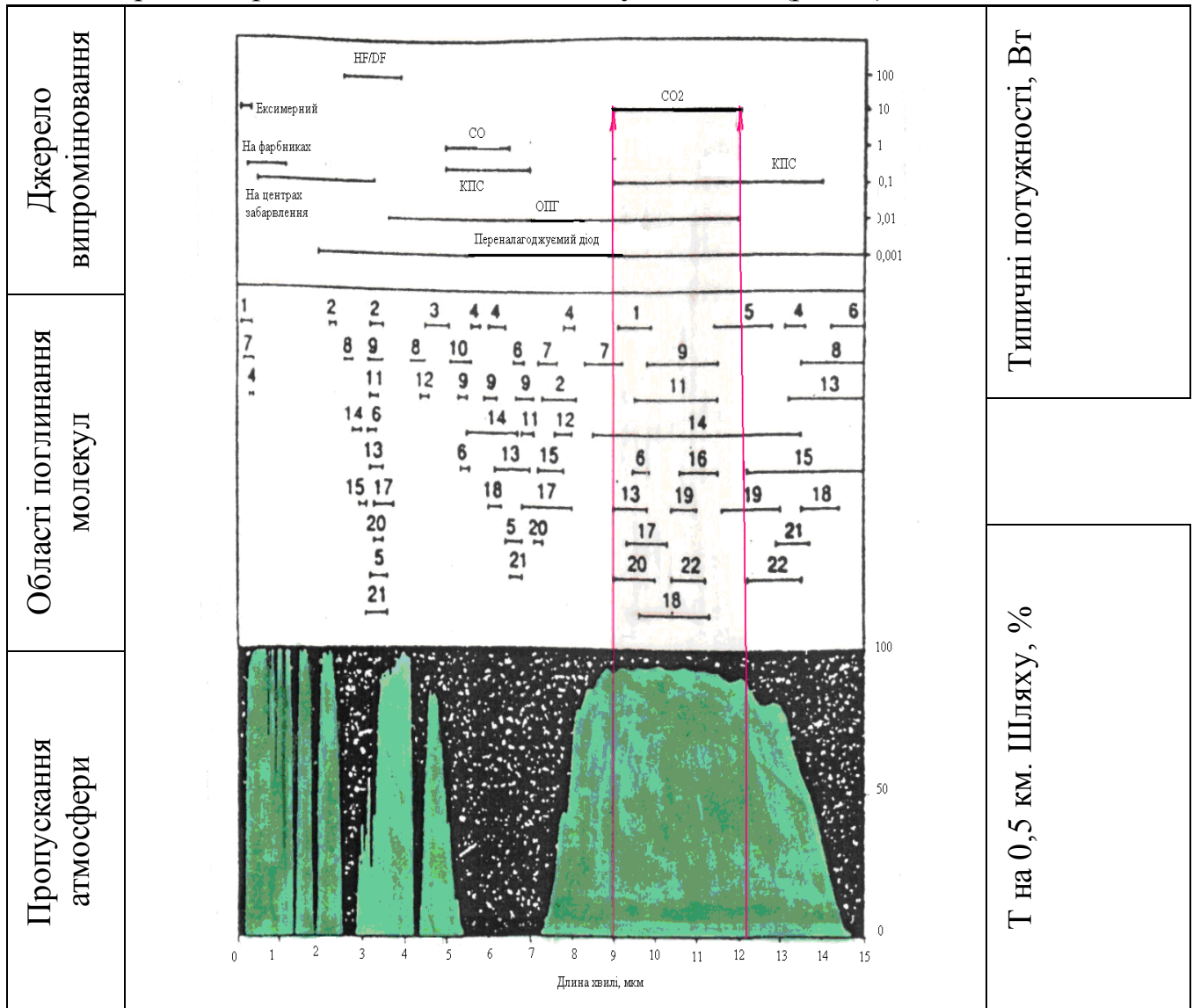


Рис.1 Діапазони випромінювання існуючих лазерних джерел (з вказанням типових потужностей випромінювання), області поглинання деяких екологічно важливих молекул та спектр пропускання атмосфери в області 0,25...15 мкм

Принципова схема та апаратне оформлення використання відпрацьованого методу зображено на рис.2.

Вихідне випромінювання частотно – переналагоджуємого  $\text{CO}_2$ -лазера 1, після проходження модулятора переривача 2 розщеплюється за допомогою плоско-паралельної пластини 3 на дві частини. Відбита частина випромінювання (~ 5% інтенсивності падаючого) реєструється в опорному каналі схеми, що складається з піроелектричного детектору 4, підсилювача 5 і потенціометра 6.

Частина випромінювання лазера, яка пройшла крізь розщеплювач, спрямовується вздовж траси, після відбиття кутовим відбивачем 12 повертається, збирається і спрямовується у вимірювальний канал за допомогою сферичного дзеркала 8 з великою апертурою (400 мм). Вимірюючий канал схожий з опорним каналом і містить піроелектричний приймач 9, підсилювач 10 і загальний з опорним каналом потенціометр 6. Додатково для підвищення чутливості вимірюючого каналу в ньому розташовано синхронний детектор 7. Двоканальний осцилограф 11 дозволяє візуально спостерігати сигнали в опорному і вимірювальному каналах схеми.

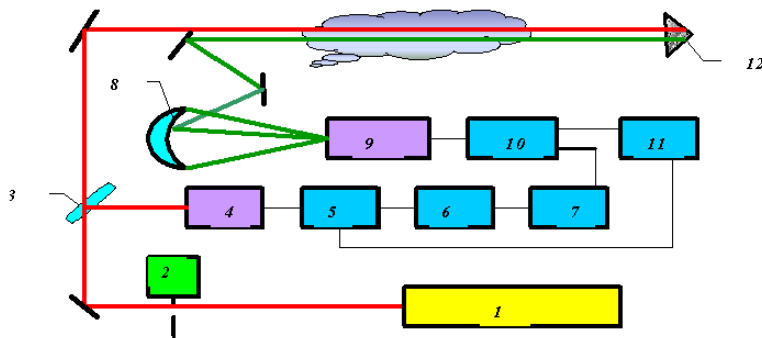


Рис. 2. Принципова схема для трасового зондування атмосфери: 1 – частотно переналагоджуємий  $\text{CO}_2$  – лазер; 2 – модулятор переривач; 3 – розщеплювач проміні; 4 – піроелектричний детектор; 5 – підсилювач; 6 – потенціометр; 7 – синхронний детектор; 8 – сферичне дзеркало; 9 – піроелектричний приймач; 10 – підсилювач; 11 – двоканальний осцилограф; 12 – кутовий відбивач

карбогідрогени дієнового ряду, фтор- і хлор- похідні карбогідрогенів (в т.ч. фреони), гідразин і його похідні, бензол ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) і його похідні, бенз-а-пірен, аерозольні частки та інші речовини із забезпеченням точності визначення концентрації до 0,01 ГДК.

Для уникнення впливу на показник концентрації речовин, що визначається на окремому джерелі, цих же речовин з інших можливих, поряд розташованих джерел та можливості застосування цієї схеми для створення стаціонарного оперативного автоматизованого комплексу, була розроблена оригінальна схема її застосування в умовах великої кількості поряд розташованих джерел викиду (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. Проведена експериментальна перевірка працездатності такого комплексу підтвердила всі його раніше згадані переваги і дозволила встановити, що метод практично не втрачає чутливості навіть при віддаленості джерела викидів від телескопу на 5 км. Таким чином, реалізація такої схеми дозволяє створити стаціонарний пункт спостереження за викидами забруднюючих речовин в районах з великою кількістю промислових об'єктів при використанні одного лазера і обертального

Застосування вищенаведеної схеми виміру дозволяє визначати концентрацію вздовж променя лазера біля сотні інгредієнтів серед яких: оксиди карбону ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ), оксиди нітрогену ( $\text{NO}_x$ ), оксиди сульфуру ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ), озон ( $\text{O}_3$ ), аміак ( $\text{NH}_3$ ), гідросульфід ( $\text{H}_2\text{S}$ ), фтор ( $\text{F}_2$ ), хлор ( $\text{Cl}_2$ ), фторид сульфуру ( $\text{SF}_6$ ), метан ( $\text{CH}_4$ ) та його похідні, етан ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) та його похідні,

механізму, що буде забезпечувати послідовну орієнтацію проміні на відповідне джерело за визначеною програмою.

Проведені дослідження дозволили створити універсальний автоматизований лазерний комплекс контролю забруднення атмосфери перевагами якого є наступне:

- 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 сек на одну речовину;
- відсутність відбору проб викидів;
- можливість формування комп'ютерної бази даних по забруднювачах та інгредієнтах;
- можливість організації стаціонарного пункту спостереження.

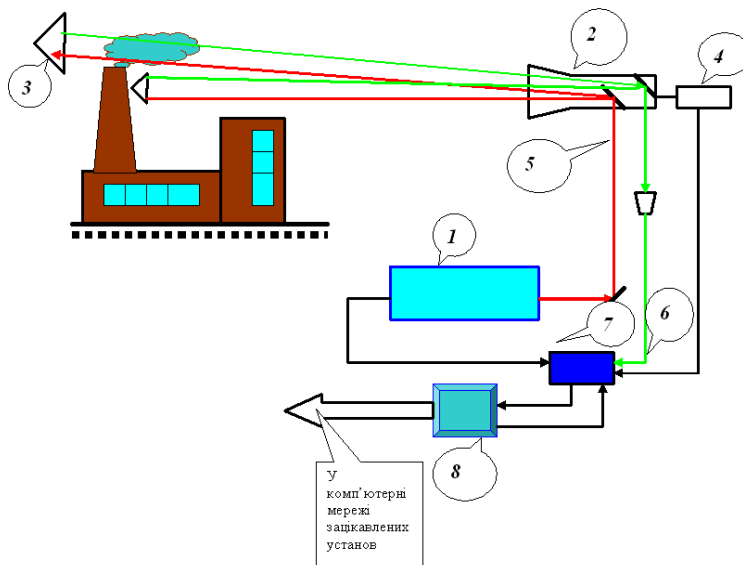


Рис. 3. Принципова схема лазерного комплексу контролю викидів забруднюючих речовин у повітря від промислових підприємств: 1 - лазер; 2 - телескоп; 3 - кутові відбивачі; 4 - блок управління; 5 - прямий промінь лазера; 6 - відбитий промінь лазера; 7 - інтерфейс; 8 - базова ЕОМ зі спеціальним програмним забезпеченням

### Висновки

Проведені теоретичний аналіз і експериментальні дослідження по удосконаленню методу ДРП і створена на його основі експериментальна установка та проведені її випробування дозволили створити автоматизований лазерний комплекс оперативного контролю концентрації забруднюючих речовин на рівні джерела викидів в атмосферу від діючих промислових підприємств.

Використання такого комплексу як у стаціонарному режимі так і в режимі оперативної пересувної установки надасть змогу відповідним контролюючим органам набувати достовірну інформацію у реальному часі для своєчасного і адекватного реагування.

**Список літератури:** 1. Долгий С.И., Зуев В.В., Смирнов С.В., Шубин С.Ф. ИК лазерные газоанализаторы дифференциального поглощения “ТРАЛ – 3” и “ТРАЛ – 3М” // Оптика атмосферы. 1991. Т. 4, № 5. С. 515 – 521. 2. Rafi A.S. Application of Raman scattering in remote sensing // Raman Spectroscopy: Sixty Years on. – Amsterdam, etc., 1989. P. 391 – 422. 3. Захаров В.М., Костко О.К., Торговичев В.А., Чайнов Э.А. Лазерные методы исследования загрязнений атмосферы. Обнинск, Информац. центр, 1976. – 34 с. 4. Титарь В.П., Шпаченко О.В., Некрасов В.И. Голографический лидар для экологического мониторинга атмосферы // Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна. / Радіофізика та електроніка. 2001. № 513, вип. 1. С. 151 – 160.

Поступила в редколлегию 30.08.2011