

*Удосконалено методи лазерної діагностики для забезпечення контролю переліку інгредієнтів, що викидаються в атмосферу промисловими підприємствами, із забезпеченням визначення концентрації речовин у реальному часі безпосередньо на виході з джерела викидів. Розроблено автоматизований лазерний комплекс оперативного високоточного, високочутливого контролю концентрації шкідливих і небезпечних речовин на рівні виходу з промислового джерела в атмосферу на основі частотно-перенастроюваного CO<sub>2</sub>-лазера*

*Ключові слова: шкідливі речовини, лазерна діагностика, диференціальне резонансне поглинання, трасове зондування атмосфери*

*Усовершенствованы методы лазерной диагностики для обеспечения контроля перечня ингредиентов, выбрасываемых в атмосферу промышленными предприятиями, с обеспечением определения концентрации веществ в реальном времени непосредственно на выходе из источника выбросов. Разработан автоматизированный лазерный комплекс оперативного высокоточного, высокочувствительного контроля концентрации вредных и опасных веществ на уровне выхода из промышленного источника в атмосферу на основе частотно-перенастраиваемого CO<sub>2</sub>-лазера*

*Ключевые слова: вредные вещества, лазерная диагностика, дифференциальное резонансное поглощение, трассовое зондирование атмосферы*

# АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЛАЗЕРНИЙ КОМПЛЕКС ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРІ

**Л. Ф. Черногор**

Доктор фізико-математичних наук, професор  
Факультет радіофізики  
Харківський національний університет ім. В.Н.  
Каразіна

пл. Свободи, 4, м. Харків, 61077

E-mail: Leonid.F.Chernogor@univer.kharkov.ua

**О. С. Рашкевич**

Співробітник Державної служби з надзвичайних  
ситуацій України в Харківській області  
пр. Московський, 275, м. Харків, 61155

E-mail: acmilan\_1899@mail.ru

## 1. Вступ

Стан атмосферного повітря в сучасних умовах визначається в значному ступені 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 економічної, адміністративної і навіть кримінальної 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 контролюючих органів 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 послідуочим 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 та містить в собі невизначену за кожним разом свою похибку виміру 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 та 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 викидами парникових газів у атмосфері від усіх підприємств країни.

## 2. 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 комбінаційно-го розсіяння (СКР) [2], які застосовують лазерні пристрої різноманітної конструкції та дозволяють визначати вміст різних газових домішок з досить високою точністю (від одиниці до декількох десятків молекул на мільйон сторонніх) [3]. Переваги цих методів у порівнянні з традиційними пробовідбірними методами 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 та будь-якої інформації про розподіл аерозольних частинок (пилу) в атмосфері, що аналізується.

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 молекул, що досліджуються, а друга – дещо від неї відрізняється (звичайна різниця у довжинах хвиль становить біля 15 нм), що забезпечує врахування впливу на результати вимірів аерозольного та 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 та дозволяє визначити тільки середню концентрацію речовин на усій трасі проходження лазерного променя, що неприпустимо для оперативного контролю джерел викидів забруднюючих речовин в атмосфері.

### 3. Постановка задачі та її розв’язання

Удосконалення методу 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.

Розробка необхідного обладнання для реалізації методу і створення на його основі автоматизованого комплексу оперативного контролю.

Внаслідок проведених досліджень було встановлено, що частотно-переналагоджуемий CO<sub>2</sub>-лазер забезпечує можливість послідовного встановлення резонансної частоти поглинання світлового випромінювання в інфрачервоній (ІЧ)- області практично усіх інгредієнтів, що містяться у промислових викидах, і дає змогу за рахунок реалізації методу СКР визначити концентрацію аерозольних часток в зоні, яка підлягає аналізу. (рис. 1).

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

Вихідне випромінювання частотно-переналагоджуемого CO<sub>2</sub>-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 та вимірювальному каналах схеми.

Застосування вищенаведеної схеми виміру дозволяє визначити концентрацію вздовж променя лазера біля сотні інгредієнтів серед яких: оксиди карбону (CO, CO<sub>2</sub>), оксиди нітрогену (NO<sub>x</sub>), оксиди сульфуру (SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>), озон (O<sub>3</sub>), аміак (NH<sub>3</sub>), гідросульфід (H<sub>2</sub>S), флуор (F<sub>2</sub>), хлор (Cl<sub>2</sub>), фторид сульфуру (SF<sub>6</sub>), метан (CH<sub>4</sub>) та його похідні, етан (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) та його похідні, карбогідрогени дієнового ряду, флуор- і хлор- похідні карбогідрогенів (в тому числі фреони), гідразин і його похідні, бензол (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) і його похідні, бенз(α)пірен, аерозольні частки та інші речовини із забезпеченням точності визначення концентрації до 0,01 гранично допустимої концентрації.

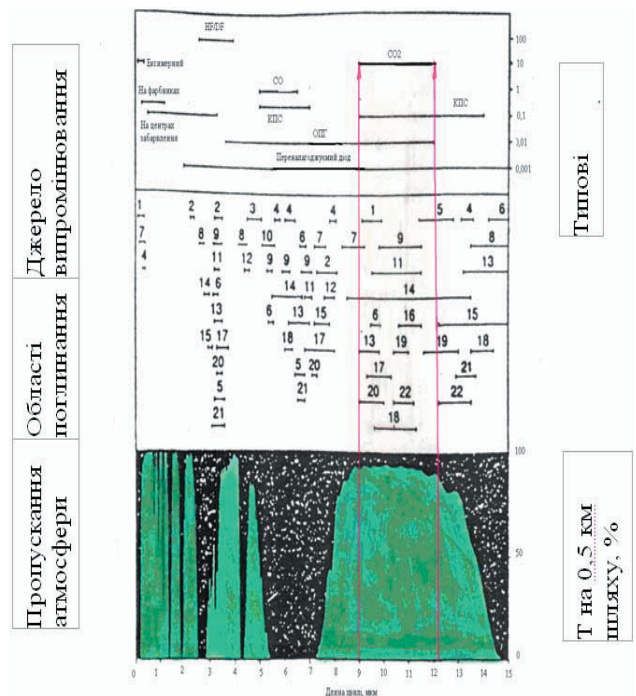


Рис. 1. Діапазони випромінювання існуючих лазерних джерел (з вказанням типових потужностей випромінювання), області поглинання деяких екологічно важливих молекул і спектр пропускання атмосфери в області 0,25... 15 мкм

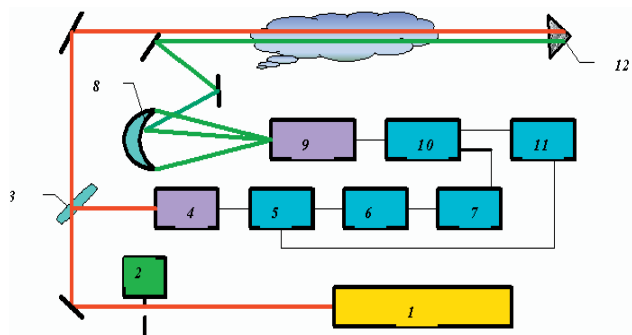


Рис. 2. Принципова схема для трасового зондування атмосфери: 1 – частотно-переналаджуємий CO<sub>2</sub>-лазер; 2 – модулятор переривач; 3 – розщеплювач променя; 4 – піроелектричний детектор; 5 – підсилювач; 6 – потенціометр; 7 – синхронний детектор; 8 – сферичне дзеркало; 9 – піроелектричний приймач; 10 – підсилювач; 11 – двоканальний осцилограф; 12 – кутовий відбивач

Для 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 посту спостереження, було розроблено оригінальне її застосування в умовах великої кількості поряд розташованих джерел викиду (рис. 3).

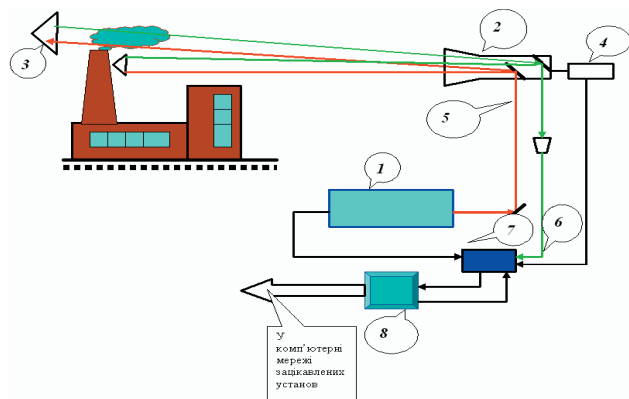


Рис. 3. Принципова схема лазерного комплексу контролю викидів забруднюючих речовин у повітря від промислових підприємств: 1 – лазер; 2 – телескоп; 3 – кутові відбивачі; 4 – блок управління; 5 – прямий промінь лазера; 6 – відбитий промінь лазера; 7 – інтерфейс; 8 – базова ЕОМ зі спеціальним програмним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

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

Проведені дослідження дозволили створити та апробувати 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 секунд на одну речовину;
- відсутність відбору проб викидів;
- можливість формування комп'ютерної бази даних по забруднювачам та інгредієнтах;
- можливість організації стаціонарного пункту спостереження.

#### 4. Висновки

Проведені дослідження з удосконалення методу ДРП, створена на його основі експериментальна установка та 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 та адекватного реагування.

#### Література

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

5. Черногор, Л.Ф. Экология геокосмоса [Текст] / Л.Ф. Черногор – Universitates. 2007 № 3, с 16–18.
6. Gerlach R., Amer N.M. Appl. Phys. – V.23. – 1980. – p.319.
7. P.L. Meyer, M.W. Sigrist. Atmospheris pollution using CO<sub>2</sub>-laser photoacoustic spectroscopy and other technigues. Rov. Sci. Instrum., 1990, v. 61, № 7, pp. 1779–1807.
8. Mehlhorn H., Wellburn A.R. Nature. – V.327. – 1987. – p.417.
9. Васильев, Б.И. ИК лидары дифференциального поглощения для экологического мониторинга окружающей среды [Текст] / Васильев, Б.И., Маннун, У.М. Квантовая электроника – 2006, т. 36, № 9, с. 801–820.
10. Hubert M.H., Ryan I.S., Crane RA. Report №83-715-1, National research Council Canada. – 1983.

*У даній статті запропоновано оцінку різних методів зменшення впливу міжсимвольної інтерференції (МСІ), таких як: захисний інтервал, парціальний відгук, коректувальний код, коректор з вирішуючим зворотнім зв'язком та частотно-ефективні методи модуляції, на основі критерію мінімальної бітової ймовірності помилки. Отримані результати дозволяють дати рекомендації щодо найбільш ефективних методів зменшення впливу міжсимвольної інтерференції у різних умовах*

*Ключові слова: міжсимвольна інтерференція, відношення сигнал/шум, D-критерій, ймовірність помилки біта, коректор з вирішальним зворотнім зв'язком*

*В данной статье предложена оценка различных методов уменьшения влияния МСИ, таких как: защитный интервал, парциальное кодирование, корректирующий код, корректор с решающей обратной связью, частотно-эффективное кодирование, на основе критерия минимальной вероятности битовой ошибки. Полученные результаты позволяют дать рекомендации о наиболее эффективных методах уменьшения влияния межсимвольной интерференции в различных условиях*

*Ключевые слова: межсимвольная интерференция, отношение сигнал/шум, D-критерий, вероятность ошибки бита, корректор с решающей обратной связью*

УДК 621.391

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДОВ УМЕНЬШЕНИЯ ВЛИЯНИЯ МЕЖСИМВОЛЬНОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ

**Д. М. Розенвассер**

Старший преподаватель\*

E-mail: onas\_tes\_roden@mail.ru

**С. В. Коновалов\***

\*Кафедра теории электрической связи

им. А. Г. Зюко

Одесская национальная академия связи

им. А. С. Попова

ул. Кузнечная, 1, г. Одесса, Украина,

65023

### 1. Введение

Практически в любых системах передачи, как при беспроводной связи, так и в проводной и оптической, возникает межсимвольная интерференция (МСИ). МСИ – это искажения сигнала за счет откликов на соседние символы, которые могут проявлять себя как помехи. Существует несколько распространенных методов борьбы с МСИ. В работе [1] предложено использовать защитный интервал. В книге [2] анализируется применение корректора с решающей обратной связью (КРОС). В [3] речь идет о переходе на более частотно-эффективные методы модуляции. Предлагаются и другие методы [4, 5, 6].

Однако на сегодняшний день в литературе нет рекомендаций по выбору оптимального метода борьбы с межсимвольной интерференцией при заданных условиях в системе передачи. Каждый из этих методов имеет ряд преимуществ и недостатков. Например, при

использовании защитного интервала повышается необходимая скорость передачи сигнала, а применение КРОС приводит к задержке, необходимой на обработку поступившего на корректор сигнала.

При сравнении методов борьбы с МСИ будем использовать критерий минимума вероятности ошибки бита.

### 2. Оценка вероятности ошибки

Вероятность ошибки в системе передачи (СП) с МСИ можно оценить по D-критерию. D-критерий имеет смысл наибольшего относительного прироста отсчета канального символа за счет МСИ. При МСИ в худшем случае все мешающие отсчеты уменьшают отсчет канального символа, который демодулируется, и отсчетное значение вместо амплитуды имеет амплитуду  $a \cdot (1-D)$ , где D – коэффициент, рассчитанный