

УДК 535.33, 528.8

*А.О. Мостопалов, студент гр. ПО-71мп, к.т.н. доц. В. М. Тягур*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ДИСТАНЦІЙНЕ ВИЯВЛЕННЯ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН ОПТИЧНИМ МЕТОДОМ

**Анотація.** У статті приводиться огляд методів виявлення вибухових речовин. Показано, що найбільш чутливим і точним є ІК - лазерний спектроскопічний метод. Виконано розрахунок спектрів поглинання деяких вибухових речовин.

**Ключові слова:** вибухові речовини, інфрачервоний перебудований лазер, диференціальне поглинання і розсіяння.

### ВСТУП

Вибухова речовина (ВР) - хімічна сполука або їх суміш, здатна в результаті певних зовнішніх впливів або внутрішніх процесів вибухати, виділяючи тепло і утворюючи сильно нагріті гази. В даний час відомі і легально застосовуються безліч ВР, найбільш відомі з них наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Основні властивості вибухових речовин

Назва	Склад	Густина	Теплота вибуху, кДж/кг	Швидкість стаціонарної детонації, Км/с	Тиск в точці Чемпена-Жуге, ГПа	Температура плавлення, °С
Гротил (TNT)	Тринітротолуол	1,06-1,64	3570-4330	5,25-6,95	11,0-19,0	80,85
Гексоген (RDX)	Циклотріметілентрінітрамін	1,00-1,80	5000-5530	5,98-8,75	10,8-34,7	204,1
Октоген (HMX)	Циклотріметілентрінітрамін	1,90	5460	9,10	39,3	278,5—280
Нітроглицерин (NM)	Нітрометан	1,128	4640	6,29	14,1	13
ТЕН (PETN)	Пентаеритрит тетранітрат	1,00-1,77	5440-5870	5,48-8,30	8,7-33	140

Зростання числа злочинів із застосуванням вибухових пристроїв становить серйозну загрозу громадській безпеці. Для припинення подібних злочинів необхідно виконання комплексу заходів, одним з яких є оснащення відповідних служб сучасними технічними засобами виявлення вибухових пристроїв і вибухових речовин.

Грамотне застосування технічних засобів, для пошуку вибухових речовин може сприяти зниженню ймовірності проведення терористичних актів із застосуванням вибухових пристроїв.

В наш час можна виділити кілька груп технічних засобів для виявлення ВР:

- рентгенівські установки з можливістю аналізу речовин в багажі; детектори парів ВР методом хімічного аналізу;
- системи виявлення ВР на основі ядерних методів; комплексні системи;
- лазерні методи [1].

## **РЕНТГЕНІВСЬКИЙ МЕТОД**

Для виявлення вибухових речовин існує кілька типів рентгенівських установок.

Звичайні, типу HI-SCAN, LINESCAN дозволяють виявляти зброю і деталі ВП завдяки їх великій щільності. Однак саме ВР через відносно малої щільності може бути непоміченим, а компоненти ВП можуть бути закамурфльовані або затеснені щільними побутовими предметами.

Дворакурсні установки, що дозволяють отримувати два рентгенівських зображення під різними кутами опромінення об'єкта за його один прохід через контрольовану зону. У даних установках використовується принцип дуальної енергії: реєстрація сигналів в двох діапазонах енергії рентгенівського випромінювання і наближене визначення ефективного атомного номера речовини.

Однак роздільна здатність установки за визначення атомного номера речовини недостатня для виявлення конкретної речовини.

Двосканерна установка повинна мати наступні характеристики:

- типи виявляються військових і промислових ВР: тротил, октоген, нітрогліцерин, тен, гексоген, тетрил;
- мінімальна маса виявляються ВР 50-100 г .;
- очікувана ймовірність виявлення ВР - не менше 98%;
- час прийняття рішення про наявність ВР процесором установки, не більше 1 сек.

В установці реалізується метод виявлення ВР за значеннями  $Z_{ef}$  і щільності, що забезпечує практично 100% вірогідність виявлення ВР. При цьому практично не знижується швидкість контролю об'єктів і забезпечується вимога щодо граничної дози опромінення об'єкта, тому що другий сканер дає невеликий внесок в загальну дозу і крім того він включається тільки при необхідності перевірки на наявність ВР [2]

## **ДЕТЕКТОРИ ПАРІВ ВР МЕТОДОМ ХІМІЧНОГО АНАЛІЗУ**

Детектор парів ВР являє собою прилад, призначений для виявлення парів ВР при аналізі проб повітря з поверхні і з внутрішнього об'єму негерметизованих об'єктів.

Детектор оснащений пристроєм вихрового пробовідбіру, який створює закручений потік повітря, що забезпечує стабільний захват проби з відстані 50-80мм. Аналізоване повітря із зони обстеження надходить в аналізуючу головку ручного блоку приладу, іонізується тритієвим джерелом бета - випромінювання і проходить через камеру, де відбувається селекція іонів за рухливістю, після чого вони потрапляють на колектор. Сигнал, отриманий з колектора іонів, посилюється і реєструється електронною схемою приладу. При наявності в досліджуваному об'єкті парів ВР прилад реагує світловим і звуковим сигналом тривоги. У табл. 2 наведені основні технічні характеристики детектора парів.

Таблиця 2. Технічні характеристики детектора парів

Технічні характеристики	
<i>Типи виявляємих ВР</i>	<i>Нітрогліцерин, ТЕН, тринітротолуол, гексоген</i>
Мінімальна маса виявленої закладки ВР, г	30
Ймовірність виявлення ВР, %	95
Продуктивність контролю, Дм <sup>3</sup> /год	50
Максимальні розміри контролюваного об'єкта, мм	355х225х12,5

Основною проблемою даного методу є те, що рухливість іонів є складною і недостатньо специфічною характеристикою. Помилкові спрацьовування детектора викликають парфумерні препарати, пари оліфи, оцтової кислоти і деяких інших речовин побутової хімії [3].

### ЛАЗЕРНИЙ МЕТОД

Одним з високочутливих і оперативних методів дистанційної діагностики органічних речовин в даний час є лазерне зондування, засноване на принципі диференціального поглинання і розсіяння (ДПР).

Результати досліджень свідчать, що основні коливально-обертальні смуги поглинання випромінювання легально застосовуваними ВР припадають на ближній і середній інфрачервоний (ІЧ) діапазон довжин хвиль (від 1 до 8 мкм). У зв'язку з цим роль плавно лаштованного ІЧ-параметричного лазера в даному діапазоні довжин хвиль неocenенно зростає. Крім того, спектри поглинання вибуховими речовинами, такими як тріацетонатріпероксид (ТАТР), динітротолуол (DNT) представляють собою вузькі смуги складної форми з напівшириною, рівній декільком одиницям см-1. Тому дистанційне дослідження спектрів поглинання потрібно проводити високомонохроматичним параметричним лазером із плавним та (або) дискретною перебудовою частоти випромінювання, спектральна ширина якої ( $\Delta\nu_{\text{вип}}$ ) повинна бути менше спектральної ширини смуги поглинання шуканої молекули ( $\Delta\nu_{\text{погл}}$ ).

Розробка методу детектування ВР за допомогою ІК - параметричного лазера є комплексним завданням, що включає:

- 1) теоретичні дослідження і аналіз експериментально вимірних параметрів спектральних смуг поглинання ( $\lambda = 1 \div 8$  мкм) молекулами речовин, отриманих різними прямими способами, в тому числі біологічними і оптичними;

- 2) розробку і створення перебудованного ІЧ - параметричного генератора світла (ПГС) в діапазоні довжин хвиль від 1,41 до 8,8 мкм, подальші дослідження і поліпшення просторово-часових і енергетичних характеристик ПГС.

Дослідження спектрів поглинання вибуховими речовинами можна проводити також непрямым способом. Практично всі молекули ВР мають слабкі СН (вуглецеві) зв'язки, які при нормальних умовах атмосфери руйнуються, а при збільшенні температури від 30 до 60 С° концентрація парів з деяких вибухових речовин збільшується майже на порядок. Обертальні спектри парів

мають досить інтенсивні ізольовані лінії в діапазоні довжин хвиль від 1,4 до 4,2 мкм, отже, їх можна ідентифікувати за допомогою ІЧ - ПГС, що працює в такому ж діапазоні.

У публікаціях наведено повідомлення про розробку, створення і випробуванні автоматизованого диференціального лазерного комплексу (рис.1) на основі параметричного генератора світла, перебудованого в ближній і середній інфрачервоній області спектра, для вимірювання малих концентрацій атмосферних газів [4].

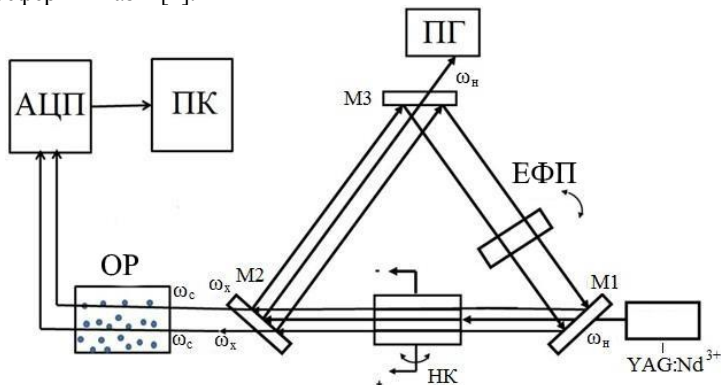


Рис.1. Оптична схема експериментальної установки для дослідження структури, складу і концентрації вибухових речовин

На рис. 1 YAG: Nd<sup>3+</sup>- лазер накачки; НК – нелінійний кристал із LiNbO<sub>3</sub>; M1, M2, M3 – дзеркала; ЕФП – еталон Фабрі-Перо; ПГ – поглинач основного випромінювання;  $\omega_c$ ,  $\omega_x$ ,  $\omega_n$  – сигнальна, холоста і основна частоти лазерного випромінювання; ОР – органічна речовина; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач; ПК - персональний комп'ютер.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Горовой С.А. Физические основы функционирования стрелково- пушечного, артиллерийского и ракетного оружия. Баллистика: учеб. пособие / С.А. Горовой. – Новосибирск: СГГА, 2007. – 140 с.
2. Легкий В.Н., Минин И.В., Минин О.В. Физические методы и устройства поиска и обнаружения взрывчатых веществ и взрывных устройств под ред. В.Ф. Минина: учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 132 с.
3. Аксёнов В.А., Кихтенко А.В., Ковригина В.С. Обнаружение взрывчатых веществ с использованием аппаратуры газового анализа, под ред. д.т.н. В.А. Химичева. – Новосибирск, 2001. – 56 с.
4. Айрапетян В.С. Внерезонаторная параметрическая генерация с плавной и (или) дискретной перестройкой частоты излучения // Вестник НГУ. Сер. Физика. – 2009, № 3. – С. 20–24.