

УДК 504.064(06):623.618.2

М.П. Буданов¹, Б.О. Демідов², В.І. Шендрик¹¹Національна академія прикордонної служби, Хмельницький²Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИЯВЛЕННЯ СИЛЬНОДІЮЧИХ ОТРУЙНИХ РЕЧОВИН КВАНТОВО-ОПТИЧНИМИ ЗАСОБАМИ ЗА СПЕКТРАМИ ВИПРОМІНЮВАННЯ

Запропонований підхід та розглянуті вимоги до розробки методу дистанційного контролю атмосфери, із застосуванням оптико-електронних пристроїв, для виявлення і контролю сильнодіючих отруйних речовин, для отримання повної і об'єктивної оцінки РХБ обстановки з урахуванням впливу метеоданих у режимі реального часу

дистанційний контроль атмосфери, оптико-електронні пристрої, метеодані

Вступ

Постановка завдання і аналіз літератури.

Останніми роками значно виросла кількість вживаних в промисловості, сільському господарстві і побуті хімічних речовин. Деякі з них токсичні і шкідливі. Внаслідок аварій на хімічних підприємствах, на продуктопроводах, на транспорті, у разі порушення правил зберігання отруйних речовин може мати місце викид отруйних речовин в атмосферу або їх зливши на поверхню землі, що може викликати масові ураження людей, тварин, привести до зараження повітря, ґрунту, води, рослин.

Такі речовини відносяться до сильнодіючих отруйних речовин (СДОР). Певні види СДОР перебувають у великих кількостях на підприємствах, їх що проводять або використовують у виробництві (потенційно небезпечні хімічні об'єкти). У разі аварії може відбутися ураження людей не лише безпосередньо на об'єкті, але і за його межами, у найближчих населених пунктах. Так, на території країн СНД за останні роки відбулося більше 200 крупних аварій, пов'язаних з виробництвом, транспортуванням і зберіганням СДОР. Тільки за останній рік відбулося більше 1,5 тис. аварій техногенного характеру і серед них багато із викидом СДОР. На сьогодні в Україні більше однієї тисячі хімічних потенційно небезпечних об'єктів. Великі запаси СДОР мають у своєму розпорядженні вітчизняні підприємства хімічної, целюлозно-паперової, оборонної, нафтопереробної і нафтохімічної промисловості, чорної і кольорової металургії, промисловості мінеральних добрив. Значні їх кількості зосереджені на об'єктах харчової, м'ясо-молочної промисловості, у холодильниках, на торговельних базах, у житлово-комунальному господарстві, у великих населених пунктах. Найбільш поширеними з них є: хлор, аміак, сірководень, двоокис сірки (сірчистий газ), нітрил акрилової кислоти, синильна кислота, фосген, метил меркаптан, бензол, бромистий водень, фтор, фтористий водень [1 – 3].

У більшості випадків за звичайних умов СДОР перебувають у газоподібному або рідкому стані.

Проте при виробництві, використанні, зберіганні і перевезенні газоподібні, як правило, стискають, приводячи в рідкий стан. Це різко скорочує займаний ними об'єм. При аварії в атмосферу викидається СДОР, утворюючи зону зараження (рис. 1). Рухаючись у напрямку приземного вітру хмара СДОР може сформувати зону зараження завглибшки до десятків кілометрів, спричиняючи ураження людей у населених пунктах.

Залежно від масштабів зараження аварії підрозділяються на приватні, об'єктові, місцеві, регіональні і глобальні. Особливу небезпеку для дій військ являють глобальні зараження, які здатні спричинити масові ураження особового складу підрозділів і частин, тим самим значно понизити їх боєздатність і привести до невиконання поставленого бойового завдання [4].

Тому важливим завданням є забезпечення військ засобами і способами із своєчасного виявлення небезпечних концентрацій СДОР і подальшого оперативного контролю їх розповсюдження в зоні бойових дій військ.

На сьогодні для виявлення і визначення небезпечної концентрації СДОР у повітрі, на місцевості, на будівлях і спорудах, у продуктах харчування і воді є такі засоби виявлення: прилад хімічної розвідки (ВПХР); прилад хімічної розвідки медичної і ветеринарної служб (ПХР-МВ); польова хімічна лабораторія (ПХЛ-54); автоматичний газосигналізатор (ГСП-11); напівавтоматичний прилад хімічної розвідки (ППХР); універсальний газоаналізатор (УГ-2). Принцип виявлення і визначення СДОР у вище перелічених приладах ґрунтується на пробо відборі (в основному на зміні забарвлення індикаторів) при взаємодії безпосередньо з тією або іншою речовиною, що вимагає значного часу з виявлення СДОР, і при цьому радіус контролю не перевищує 50...300 метрів. Крім того, необхідно відзначити, що в аварійних ситуаціях у повітрі може опинитися не одне, а декілька СДОР [1]. У цьому випадку оцінка сумарного ефекту являє досить складне завдання, оскільки ефект від комбінованої дії декількох хімічних речовин може бути рівним сумі ефектів роздільної дії, більше або менше цієї суми [1 – 3].

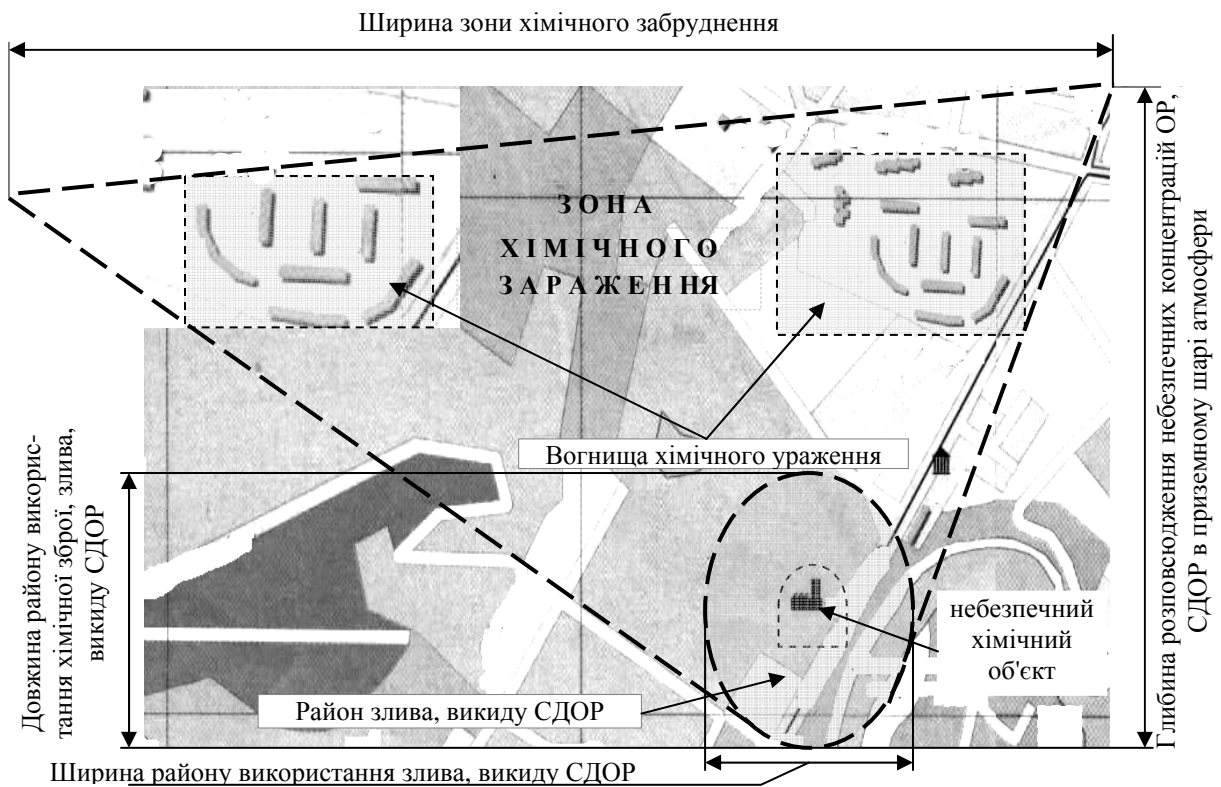


Рис. 1. Зона хімічного зараження. Вогнища хімічного ураження

На сьогодні діючі методики рекомендують при одночасному змісті в повітрі декількох токсичних речовин однонаправленої дії допустимими вважати концентрації, що відповідають умові [1 – 3]:

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

тобто сума відношень фактичних концентрацій СДОР в повітрі (C_1, C_2, \dots, C_n) до їх гранично допустимих концентрацій ($ГДК_1, ГДК_2, ГДК_n$), які встановлені для кожної з цих речовин, не повинна перевищувати одиниці.

Якщо ж одночасно виділяється декілька токсичних речовин, що не мають однонаправленого характеру дії, то ефект дії СДОР рекомендується оцінювати за найбільш токсичною речовині [1 – 3].

Очевидно, що такий підхід не відповідає вимогам з виявлення і контролю розповсюдження СДОР у приземному шарі атмосфери, оскільки за будовою, фізико-хімічними властивостями вони дуже неоднорідні і вимагають вибірного виявлення та контролю.

Тому необхідно оцінювати смертельно-небезпечні концентрації всіх наявних аерозольно-газових компонентів внаслідок аварій на потенційно небезпечних хімічних об'єктах, здатних спричинити масові ураження особового складу (населення), озброєння і бойової техніки. Це можливо тільки з використанням методів дистанційного контролю аерозольно-газових компонентів повітряного середовища.

Мета статті – аналіз можливостей виявлення сильнотоксичних отруйних речовин лідарними засобами за спектрами випромінювання.

Основна частина

1. Фізико-хімічні властивості СДОР. За своїми вражаючими властивостями СДОР не однорідні. Для СДОР як їх основна класифікаційна ознака найчастіше використовується ознака переважного синдрому, що складається при гострій інтоксикації людини.

Виходячи з цього, всі СДОР умовно поділяються на такі групи:

- речовини з переважно задушливою дією (хлор, фосген, хлорпикрин та ін.);
- речовини переважно загальноотруйної дії (окисел вуглецю, ціаністий водень та ін.);
- речовини, що мають задушливу і загальноотруйну дію (аміак, акрилонітріл, азотна кислота і оксиди азоту, сірчистий ангідрид та ін.);
- речовини, що діють на генерацію, проведення і передачу нервового імпульсу – нейротропні отрути (сірковуглець, тетратит – свинець, фосфорорганічні сполуки);
- речовини, що мають задушливу і нейротропну дію (аміак, гептил, гідразин);
- метаболічні отрути (окисел етилену, дихлоретан);
- речовини, що порушують обмін речовин (діоксин, поліхлоровані бензофурані).

Проте для дистанційних вимірювань важливе значення мають фізико-хімічні властивості СДОР, які багато в чому визначаються їх здатністю переходити в основний стан (пара або тонкодисперсний аерозоль) і створювати концентрації, здатні викликати масові ураження особового складу підрозділів, тим самим

значно знижують боєздатність військ і призводять до невиконання поставленого бойового завдання.

2. *Фазово-дисперсний склад СДОР.* За звичайних умов СДОР можуть бути у твердому, рідкому і газоподібному стані. Проте при бойовому використанні (виробництві, зберіганні, перевезеннях) цих речовин їх агрегатний стан може відрізнятися від такого в звичайних умовах, що може суттєво впливати як на кількість СДОР, що викидаються при аварії в атмосферу, так і на фазово-дисперсний склад хмари, що утворюється при цьому. У табл. 1 представлена характеристика стану СДОР в атмосфері [2].

Таблиця 1

Характеристика стану СДОР в атмосфері

Вид стану		Діаметр частинок мкм	Особливості розповсюдження у повітрі	
пара (газ)		менш 0,001	неосідаюча	
аерозолі	тонкодисперсні	0,001...10	домішки	неосідаюча
	грубодисперсні	10...500		осідаюча

Аерозолі характеризуються, перш за все, дисперсністю і концентрацією. Як показано у табл. 1, аерозолі розрізняються на пару (газ), тонкодисперсні (ді-

аметр часток менше 10 мкм) і на грубодисперсні (розмір твердих часток або краплин перевищує 10 мкм). Найбільшу небезпеку для зараження місцевості, озброєння, військової техніки створюють осідаючі грубодисперсні системи аерозолів. Неосідаючі тонкодисперсні аерозоль і пара (газ), здатні на дуже тривалий час заражати атмосферу і тим самим уражати живу силу, головним чином, інгаляційним шляхом.

У реальних умовах (вологість повітря, вітер, повітряні потоки) стійкість аерозолів у більшій мірі визначається поведінкою атмосфери (рис. 2). Хмара аерозолів, що утворилася, підхоплюється повітряним потоком і рухається разом з ним, поступово збільшуючись в обсязі. При цьому масова концентрація аерозолів поступово зменшується; відбувається розсіювання хмари в атмосфері. При диспергуванні досить летючих безперервно відбувається процес випаровування частинок аерозолів, що практично не впливає на те що уражаючу дію СДОР, тому що пара, що утворилася, також заражатиме атмосферу.

Моделі атмосферного аерозолі, які належить розробити автору в подальших дослідженнях, повинні безсумнівно враховувати спектри розмірів (рис. 3), концентрацію і хімічний склад частинок (рис. 4), а також варіації цих характеристик у реальних умовах.

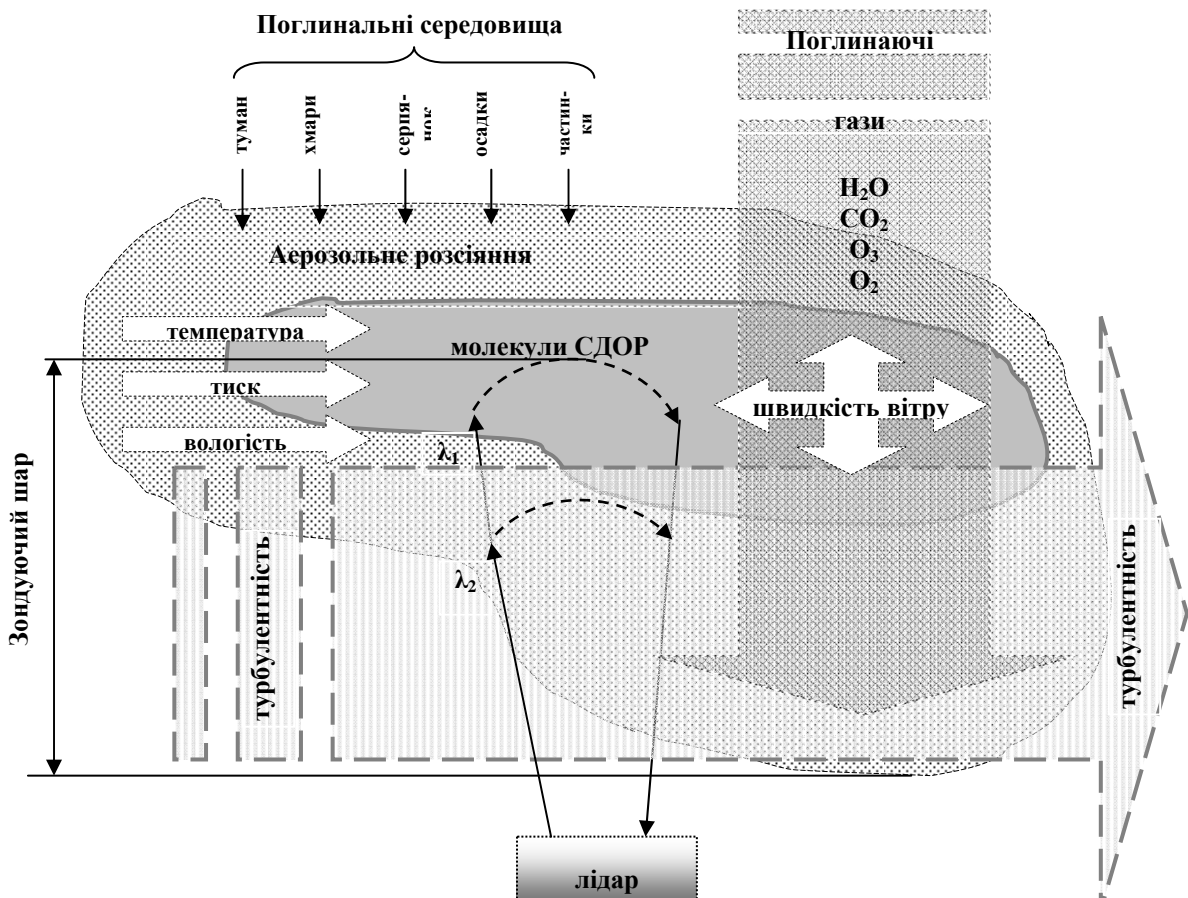


Рис. 2. Схема лазерного зондування аерозольного середовища, яке містить ОР лідаром на диференціальному поглинанні розсіяного випромінювання:

- λ_1 – довжина хвилі зондуєчого імпульсу входить до інтервалу спектра поглинання досліджуваних молекул контрольованих ОР;
- λ_2 – довжина хвилі імпульсу, що не входить в інтервал спектра поглинання молекули контрольованого ОР

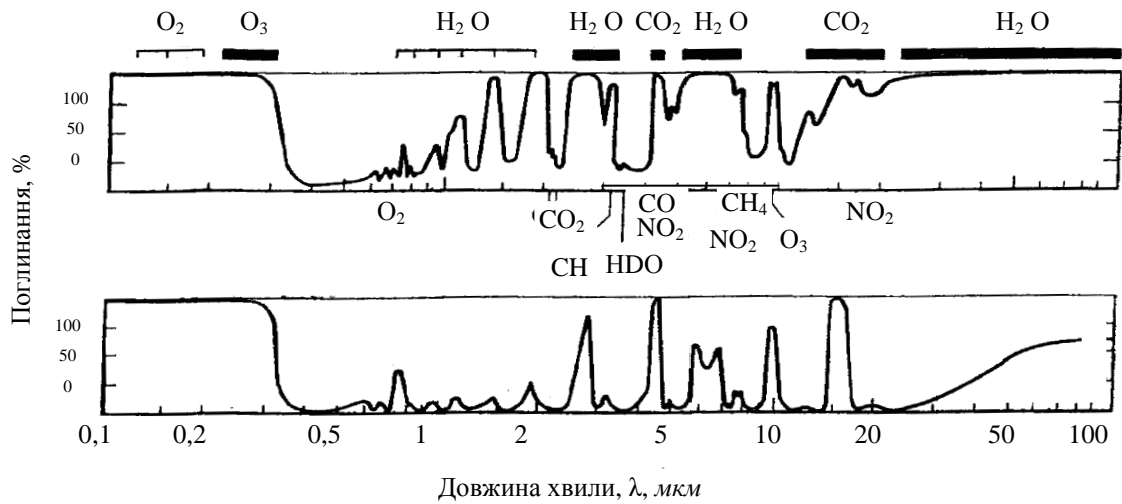


Рис. 3. Загальний вигляд спектрів поглинання атмосферних газів

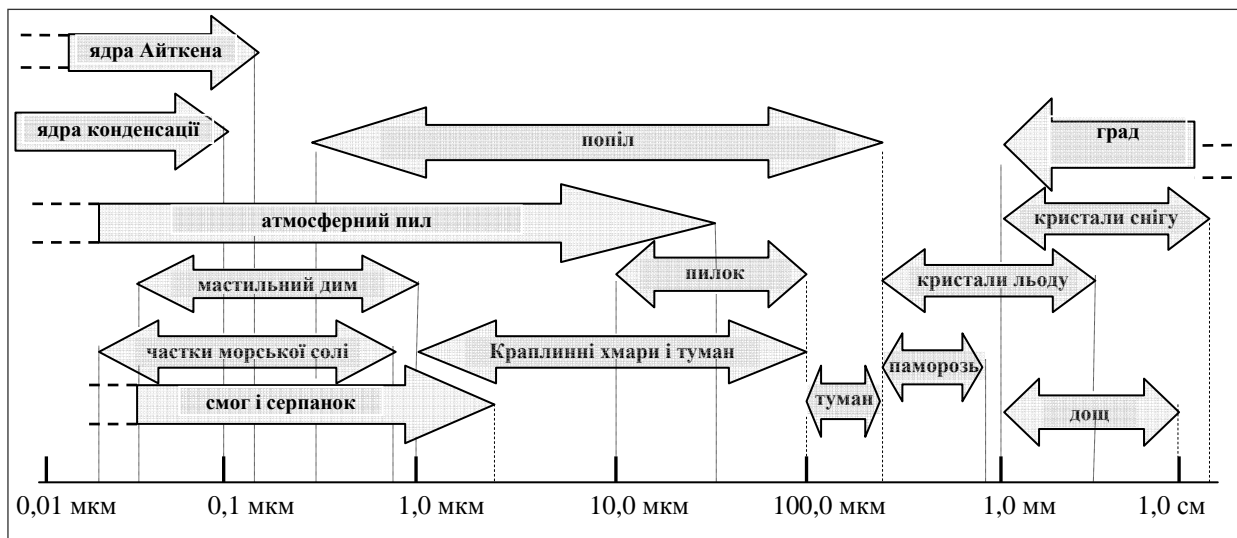


Рис. 4. Характерні розміри розповсюджених атмосферних часток

3. *Зона хімічного зараження і осередки хімічно-го ураження.* Хімічне забруднення виникає внаслідок аварійних ситуацій на хімічних підприємствах (руйнування ємкостей), на транспорті при перевезенні і т.д. Аналіз аварійних ситуацій, що мали місце, і проведені розрахунки показують [3], що об'єкти із хімічними небезпечними компонентами можуть бути джерелом: залпових викидів СДОР в атмосферу; хімічної пожежі з надходженням токсичних речовин в навколишнє середовище; руйнівних вибухів; зараження об'єктів і місцевості у вогнищі аварії і на сліді розповсюдження хмари; великих зон задимлення в поєднанні з токсичними продуктами.

При хімічному зараженні утворюються зони хімічного зараження (ХЗ) і осередки хімічного ураження (ХУ). Схема формування зони ХЗ і вогнищ ХУ при аварії (зливу, викид СДОР) на об'єкті із хімічними небезпечними компонентами наведена на рис. 1. Зона ХЗ охоплює територію, на якій розташований район зливу на поверхню землі, викиду в атмосферу СДОР, а також територію, над якою розповсюджується хмара зараженого повітря з уражаючою небезпечною концентрацією.

У зоні ХЗ може бути декілька вогнищ, в яких відбулися масові ураження людей і тварин. Зона ХЗ характеризується такими параметрами (рис. 1): довжина району застосування хімічної зброї, зливу, викиду СДОР (L); ширина району застосування, зливу, викиду СДОР (b); глибина розповсюдження небезпечних концентрацій СДОР у приземному шарі (Г); ширина зони хімічного зараження (Ш).

Масштаби ураження при хімічно небезпечних аваріях дуже сильно залежать від метеорологічної обстановки (температура, тиск, вологість, швидкість вітру осідання і умов зберігання СДОР).

Пара (газ) і аерозоль СДОР здатні переміщатися у напрямку вітру на багато кілометрів від місця свого утворення. Виявлення хмари СДОР, визначення його розміру, швидкості і глибини розповсюдження складають важливе завдання хімічної розвідки, яку можна вирішити з використанням дистанційних методів контролю СДОР. Так, глибина зони розповсюдження зараженого повітря залежить від концентрації СДОР і швидкості вітру. Наприклад, при вітрі 1 м/с за одну годину хмара від місця аварії віддалиться на 5...7 км, при 2 м/с – на 10...14, а при 3 м/с – на 16...21 км.

Значне збільшення швидкості вітру (6...7 м/с і більше) сприяє його швидкому розсіюванню.

Підвищення температури ґрунту і повітря прискорює випаровування СДОР, а отже, збільшує концентрацію його над зараженою територією. На глибину розповсюдження СДОР і величину його концентрації значною мірою впливають вертикальні переміщення повітря (турбулентність) і погодні умови.

Форма (вид) зони хімічного зараження СДОР значною мірою залежить також від швидкості вітру. Так, наприклад, при швидкості менше 0,5 м/с вона береться за коло, при швидкості від 0,6...1 м/с – за півколо, при швидкості від 1,1...2 м/с – за сектор з кутом в 90°, при швидкості більше 2 м/с – за сектор з кутом в 45°.

Одним з головних показників, що характеризують масштаби цього зараження при хімічно небезпечних аваріях, є глибина і площа розповсюдження первинної і вторинної хмар СДОР (рис. 1). На сьогодні ці показники можуть визначатися тільки за допомогою табличних даних і аналітичних співвідношень, які розраховуються тільки для рівнинної місцевості за стандартних зовнішніх температурних умов, вертикальної стійкості повітря і швидкості вітру, вимірної на фіксованих висотах (тим самим свідомо нехтують локальними умовами приграничного шару атмосфери). Отже, при таких розрахунках виключається вплив реального типу місцевості і різкої зміни погодних та метеоумов, не враховується вплив турбулентності, тиску, вологості повітря приземних шарів атмосфери. Все це в значній мірі приводить до дуже трудомістких, громіздких і приблизних розрахунків, а отже, не відповідає вимогам з оперативності контролю смертельно небезпечних концентрацій СДОР.

4. *Сучасні методи виявлення СДОР.* На сьогодні радикально змінилися вимоги, що ставляться до засобів і систем з виявлення та контролю СДОР. Малоефективним стало використання для цієї мети методів і засобів, які ґрунтуються на індикаторних реакціях і, як правило, в основному використовують попередній пробовідбір небезпечних речовин. Ці методи зберегли своє значення тільки для підтвердження наявності СДОР і для виявлення вторинних ділянок зараження. В арміях розвинених країн активно впроваджуються засоби контролю СДОР, що працюють у режимі безперервного або періодичного стеження і забезпечують при появі в повітрі СДОР автоматичне генерування сигналів сповіщення або формування команд, переданих на виконавчі механізми системи захисту пунктів управління (КП, ЗКП, ТПУ, ПКП).

Розглянемо методи, що знайшли найбільше застосування в сучасних засобах виявлення і контролю небезпечних концентрацій СДОР.

Іонізаційний метод. В основу методу покладено процес протікання безперервного потоку аналізованого повітря через міжелектродний простір іонізаційної камери атмосферного тиску, усередині якої знаходиться джерело α -частинок – ізотопи плутонію і америція або тритія. При цьому забезпечується максимальна чутливість по відношенню до СДОР на

фоні типових домішок, що заважають, характерних для польових умов. Метод реалізований у військових сигналізаторах: ПРХР, ПКУЗ, ГСА-1(ГСА-13), М43А (США).

Спектрометрія рухливості іонів. Метод ґрунтується на реєстрації спектрів іонної рухливості аналізованих речовин, для чого використовуються спектрометри іонної рухливості, в яких аналізовані СДОР запроваджуються в область іонізації з поточком контрольованого газу-носія (повітря). Метод реалізований у польових автономних приладах: САМ, М90, РАІД, ІСАМ (США) і ІМС-97.

Полум'яно-фотометричний метод. В основу методу покладено детектування СДОР шляхом пропускання аналізованого повітря через низькотемпературне водневе полум'я з реєстрацією контрольованих елементів по лініях емісії за допомогою оптичної системи. Метод реалізований у портативних приладах: АР2С (Франція) і CHASE (Ізраїль).

Електрохімічні методи. Метод ґрунтується на взаємодії СДОР з електрохімічними активними реагентами, що супроводжується характерними змінами електричного потенціалу. Недоліком методу є низька чутливість і мала швидкодія. Метод покладений в основу індивідуального сенсора ІСАД і АІАД (США).

Біохімічний метод. Принцип методу ґрунтується на реакції інгібування СДОР природних ферментів класу холінестераз у різних модифікаціях. Безперечно його перевагою є високий рівень чутливості, недоліком – мала швидкодія.

Хромато-мас-спектрометрія. Метод реалізований у приладах: ММ-1 (Німеччина, США, Франція, Південна Корея), ІМ-640 (Німеччина), Viking (США). Основною перевагою приладів цього класу є їх здатність ідентифікувати сполуки у складі неоднорідних (складних) сумішей, тоді як решта детекторів має лише групову специфічність. До недоліків відносяться: складність експлуатації, висока вартість.

Дистанційні методи. Метод лазерного зондування ґрунтується на унікальних властивостях лазерного випромінювання. Реєстрація і вимір концентрації забруднюючих речовин здійснюється диференціальним методом порівняння поглинання на декількох частотах випромінювання лазера. Такі лазерні комплекси є унікальними і вирішують дистанційно робити контроль у радіусі 10 км і визначати локальні ділянки забруднення на відстані до 2 км. Також ця система легко автоматизується [5] і транспортується в будь-яку досліджувану ділянку. Переваги даного методу – висока чутливість, можливість дистанційного зондування великої кількості забруднюючих речовин, невеликий час вимірювання концентрації забруднюючих газів, висока точність і вибірковість методу.

Лазерний промінь, що розповсюджується в атмосфері, має енергетичні втрати, які обумовлені такими, як правило, одночасно діючими явищами: молекулярним поглинанням; молекулярним розсіянням; аерозольним розсіянням. Основними поглинаючими газами в ультрафіолетовій, видимій і інф-

рачервоній областях спектра в атмосфері є (рис. 2): водяна пара (H_2O), вуглекислий газ (CO_2), озон (O_3) і кисень (O_2), а також малі домішки: окисел вуглецю (CO), метан (CH_4), закис азоту (N_2O), оксиди азоту (NO_x). Спектр молекул вищеперелічених газів (рис. 3) вивчений досить детально [6, 7].

Як видно із загального виду спектрів поглинання атмосферних газів зображеного на рис. 3, у діапазоні довжин хвиль, що цікавить нас, приблизно 0,2...20 мкм, поглинання атмосферними газами обумовлене, головним чином, коливально-обертальними смугами, найбільш інтенсивні з яких розташовані в інфрачервоній області спектра (рис. 3).

Найбільш перспективними довжинами хвиль лазерного випромінювання з погляду лазерного контролю є такі, які потрапляють у макровікна прозорості атмосфери: 0,95...1,06; 1,2...1,3; 1,5...1,8; 2,1...2,4; 3,3...4,0; 8,0...12,0 мкм). Однак, як видно з рис. 3, смуга поглинання деяких молекул СДОР входить не у всі межі "вікон прозорості" або є результатом накладення і перекриття смуг поглинання інших газів у спектральному діапазоні 0,25...15 мкм. Наприклад, аміак (NH_3) має такі смуги поглинання: 2,8...3,0; 5,3...6,7; 8,3...13,5, з яких тільки остання (найбільша) потрапляє в макровікно прозорості (8,0...12,0 мкм), проте на неї накладаються спектри поглинання інших молекул газів: (NO_2), (SO_2), (O_3), (C_2H_6), (C_3H_6), (C_2H_4), (C_7H_8). Також дана смуга поглинання (8,3...13,5) може перекривати смуги поглинання молекул інших газів: повністю – (C_6H_6), (C_4H_6), (C_7H_8), (C_2HCl_3), ($CH_3 OH$), ($C_2H_5 OH$), (C_2Cl_4), (C_2H_3Cl), частково – (C_2H_2), (C_2H_8).

З цього можна зробити висновок, що саме мікрровікна, які розташовані поблизу довжин хвиль випромінювання вживаних джерел випромінювання, і викликають найбільший інтерес для завдань контролю аерозольно-газових компонент атмосфери.

Кількісне визначення енергетичних втрат випромінювання лазерних джерел за рахунок поглинання атмосферними газами (рис. 2) вимагає детальних знань як спектрів випромінювання джерел, так і спектрів поглинання газів. В інтересах лазерного зондування аерозольно-газових компонент атмосфери на наявність СДОР необхідно, перш за все, мати кількісну інформацію про коефіцієнти поглинання саме в мікрровікнах прозорості атмосфери, розташованих близько лінії випромінювання зондуемого лазерного імпульсу, разом з інформацією про поглинання довоколишніх ліній спектрів атмосферних газів.

Відомо, що ширина лазерних ліній звичайно багато менше ширини ліній поглинання атмосферних газів. Тоді, якщо монохроматичне випромінювання лазера потрапляє в центральну частину лінії поглинання, то для оцінки поглинання цього випромінювання разом з точним знанням частоти випромінювання лазера потрібно знати положення центру лінії поглинання з дуже високою точністю, яка характеризується сотими долями cm^{-1} для приземного шару атмосфери і суттєво зростає з висотою.

У міру віддалення частоти випромінювання лазера від центру лінії поглинання вимоги до точності визначення цього центру знижуються.

Зроблений висновок справедливий для спектрів поглинання всіх СДОР та небезпечних газів.

Для дистанційного зондування СДОР у разі аерозольного поглинання і розсіювання (серпанки, тумани, хмари з розмірами частинок, вказаних на рис. 4) доцільніше всього використовувати процес диференціального поглинання випромінювання, для чого фіксована лінія лазерного випромінювання повинна збігатися з якою-небудь лінією поглинання молекул СДОР або бути на неї настроєною.

Хоча перетини поглинання деяких молекулярних складових СДОР достатньо великі, що дозволяє виявляти їх тільки на рівні фонових концентрацій, і вони не схильні до впливу гасячих непружних зіткнень у повітрі (на відміну від флуоресценції), цей метод не забезпечує просторового дозволу і при використанні відомих методик дає інформацію лише про середні концентрації молекул СДОР уздовж напрямку розповсюдження променя лазера.

Висновки

Вимірювання мікроконцентрацій СДОР та інших небезпечних газоподібних речовин, що мають лінії поглинання в інфрачервоній області спектра, дозволяє виявляти в газових сумішах і повітрі мікроконцентрації речовин на рівні 1...10 ppb. Дистанційний метод може бути використаний для моніторингу повітряного середовища в зоні відповідальності підрозділів, частин і з'єднань силових структур; контролю за домішками в атмосфері метро та інших підземних комунікацій; у технологічних процесах на підприємствах хімічної промисловості, а також застосовуватися в системах терористичної і техногенної безпеки потенційно небезпечних об'єктів.

Список літератури

1. Підлісна М.С. Екологічна безпека військ. – К.: МОУ, 1998. – 130 с.
2. Сильнодействующие ЯВ и защита от них / Под ред. В.А. Владимирова. – М.: Воениздат, 1989. – 152 с.
3. Писарев А.В. Военно-химическая метеорология и оценка радиационной и химической обстановки. Ч.3. Выявление и оценка химической обстановки. – Х: ХВУ, 1998. – 130 с.
4. Буданов Н.П., Качанов Э.А., Карзанов Г.Б. Организация информационного обеспечения РХБ защиты с учетом метеоданных // Системы обработки информации. – 2006. – Вып. 2 (51). – С. 185-189.
5. Буданов Н.П., Буданов П.Ф. Модель программного обеспечения подсистемы АСУВ РХБ защиты // Системы обработки информации. – 2006. – Вып. 3 (52). – С. 191-197.
6. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование. – М.: Мир, 1987. – 550 с.
7. Рождествова В.Н. Оптико-электронные системы экологического мониторинга природной среды. – М.: МГТУ, 2002. – 528 с.

Надійшла до редколегії 11.04.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.І. Карпенко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.