

Применение современных технических средств химической разведки и контроля для обнаружения и идентификации взрывчатых веществ



В.А. Иноземцев, И.Н. Ефимов, А.А. Позвонков, А.С. Самородов,
В.Н. Пономарев, С.С. Колбинев

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«33 Центральный научно-исследовательский испытательный институт»
Министерства обороны Российской Федерации,
412918, Российская Федерация, г. Вольск-18, ул. Краснознаменная, д. 1

Поступила 27.09.2022 г. Исправленный вариант 25.11.2022 г. Принята к публикации 23.12.2022 г.

Анализ возможностей современных образцов технических средств химической разведки и специального оборудования комплексов химического контроля свидетельствует о принципиальной возможности оперативного обнаружения минно-взрывных устройств (МВУ) путем идентификации входящих в состав МВУ взрывчатых веществ и сопутствующих технологических примесей. *Цель работы* – анализ возможностей применения современных технических средств химической разведки и контроля для обнаружения и идентификации взрывчатых веществ. Для достижения данной цели проводилась оценка аналитических характеристик и конструктивных особенностей технических средств химической разведки и реализованных в них методов индикации для определения возможности обнаружения и идентификации компонентов МВУ в различном агрегатном состоянии. В рамках статьи показана возможность использования специальных войсковых газосигнализаторов, функционирующих на основе метода спектрометрии ионной подвижности (СИП), для подтверждения факта присутствия паровой фазы взрывчатых веществ и сопутствующих им объектов индикации. Оценка проведена на основании анализа физико-химических свойств пероксидов и азотсодержащих взрывчатых веществ и сравнения достижимых концентраций паровой фазы азотсодержащих взрывчатых веществ (тротил, гексоген, пентрит, нитроглицерин, динитротолуол) с результатами расчетной чувствительности метода СИП (~10-10 мг/л). Установлено, что следовые количества взрывчатых веществ в жидком и твердом агрегатных состояниях могут быть идентифицированы портативными техническими средствами химического контроля, функционирующими на основе методов инфракрасной Фурье-спектроскопии и комбинационного рассеяния света. Предложены пути расширения функциональных возможностей данных технических средств за счет создания специализированных баз спектральных данных взрывчатых веществ и сопутствующих технологических примесей. Включение дополнительного банка спектров в управляющее программное обеспечение СИП-газосигнализаторов необходимо совместить с реализацией возможности программного выбора режимов работы и переключения баз данных оператором.

Ключевые слова: взрывчатое вещество; газосигнализатор; комбинационное рассеяние света; объект индикации; спектрометрия ионной подвижности; технические средства химической разведки; химическая разведка.

Библиографическое описание: Иноземцев В.А., Ефимов И.Н., Позвонков А.А., Самородов А.С., Пономарев В.Н., Колбинев С.С. Применение современных технических средств химической разведки и контроля для обнаружения и идентификации взрывчатых веществ // Вестник РХБ защиты. 2022. Т. 6. № 3. С. 355–364. EDN: DVOLJH. <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2022-6-4-355-364>

Основными средствами террора в его классическом понимании исторически являлись применение огнестрельного оружия и

минно-взрывные устройства (МВУ). Использование для террористических целей боевых отравляющих веществ или промышленных ток-

сичных химикатов – новая и крайне опасная форма терроризма. Доступность специфичных, а в недалеком прошлом закрытых сведений по изготовлению в домашних условиях самодельных взрывных устройств, в том числе в снаряжении токсичными химическими веществами, значительно повышает вероятность применения токсичных химических веществ в террористических целях. Подтверждают возможность совместного применения отравляющих и взрывчатых веществ и действия незаконных вооруженных формирований на территории Сирийской Арабской Республики. Общественный резонанс и устрашающий для гражданского населения эффект использования МВУ в снаряжении токсичными химическими веществами делает их применение в рамках террористической деятельности предпочтительнее традиционных вооружений [1, 2].

Развитие форм террористической деятельности с применением взрывчатых веществ и возможные последствия актов химического терроризма требуют принятия соответствующих защитных мер, в том числе проведения химического мониторинга для обеспечения химической безопасности личного состава военизированных формирований и мирного гражданского населения, как до совершения террористического акта, так и пост фактум. Очевидно, что контроль химической обстановки после террористического акта, закончившегося выбросом токсичных химикатов в окружающую среду, может быть проведен с использованием штатных технических средств химической разведки и контроля. В то же время проведение превентивного обследования химически опасных объектов, которые могут оказаться МВУ, представляет собой сложную задачу. Практика привлечения специалистов войск РХБ защиты для работы в составе экспертных групп по обследованию мест предполагаемого изготовления химических боеприпасов в Сирийской Арабской Республике и определению возможности безопасной работы в районах применения химического оружия обуславливает необходимость определения опасности применения МВУ как с целевым, так и с химическим снаряжением.

Цель работы – оценка аналитических и конструктивных возможностей технических средств химической разведки и реализованных в них методов индикации для определения возможности обнаружения и идентификации компонентов МВУ в различном агрегатном состоянии.

Для достижения данной цели решались следующие задачи:

- анализ физико-химических и спектральных характеристик основных взрыв-

- чатых веществ и сопутствующих технологических примесей;

- определение возможности обнаружения и идентификации объектов индикации техническими средствами химической разведки и контроля, функционирующими на основе методов фурье-спектрометрии, спектрометрии ионной подвижности и комбинационного рассеяния света.

Анализ потенциальных объектов индикации. При поиске МВУ и зарядов взрывчатых веществ объектами обнаружения для технических средств химической разведки и контроля могут являться пары и твердые частицы веществ, входящих в состав этих объектов: собственно взрывчатые вещества, маркирующие вещества, технологические примеси, пластификаторы и продукты деструкции взрывчатых веществ. Общую задачу по обнаружению взрывчатых веществ можно разделить на две основные составляющие: обнаружение взрывчатых и сопутствующих им веществ по паровой фазе, а также анализ твердых частиц, визуально наблюдаемых на поверхности, вблизи предположительного нахождения взрывных устройств.

По составу основные действующие компоненты взрывчатых веществ можно разделить на два основных класса: не имеющие нитро/нитратных групп или содержащие хотя бы одну из них. В первом случае взрывчатые вещества принадлежат к пероксидам, перхлоратам или азидам. Наиболее широко представлен класс азотсодержащих взрывчатых веществ (TNT – тротил, RDX – гексоген, PETN – пентрит, селитры, нитроглицерин и др.), в состав которых, помимо азота, входят водород, углерод и кислород [3–5]. Общим свойством веществ второго класса является существенное превышение содержания в их молекулах атомов азота и кислорода по сравнению с количеством углерода и водорода, при этом относительное содержание в них азота на порядок выше, чем для обычных материалов, например шелка, полиуретана, нейлона и т.п.

Анализируя перечень взрывчатых веществ, подлежащих идентификации, их физико-химические свойства и особенности их применения, следует отметить ряд ключевых особенностей. Высокая молярная масса химических соединений, входящих в состав взрывчатых веществ, и, как следствие, чрезвычайно низкое давление паров большинства взрывчатых веществ, определяющее их концентрацию в воздухе. В частности, равновесное давление паров при температуре 25 °С для тринитротолуола составляет величину 9 ppb ($\sim 1,7 \times 10^{-3}$ Па), а для гексогена – 6 ppt ($\sim 4,6 \times 10^{-6}$ Па) [6]. При этом несложные приемы укрытия взрывчатых веществ путем помещения их, например, в пластиковую

Таблица 1 – Концентрации насыщенных паров взрывчатых веществ [9]*

Взрывчатое вещество	Молярная масса, г/ моль	$C_{25^{\circ}\text{C}}$, ppb	$C_{25^{\circ}\text{C}}$, мг/л
TNT (тротил)	227	9,1	0,1
RDX (гексоген)	222	$5,7 \times 10^{-3}$	$5,7 \times 10^{-5}$
HMX (октоген)	296	$4,4 \times 10^{-8}$	$2,6 \times 10^{-9}$
NG (нитроглицерин)	227	580	5,9
AN (аммиачная селитра)	80	12	$4,3 \times 10^{-2}$
PETN (пентрит)	316	$7,1 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-4}$
TNA (тринитроанилин)	228	$2,2 \times 10^{-2}$	$2,2 \times 10^{-4}$
TNB (тринитробензол)	213	4,1	$3,9 \times 10^{-2}$
TATP (триацетона трипероксид)	222	$4,3 \times 10^4$	42
2,4-DNT (динитротолуол)	182	280	2,2

* Для пересчета ppb в значения массовой концентрации использовалось соотношение $C_{25^{\circ}\text{C}} \text{ мг/л} = 4,5 \times 10^{-5} \mu \cdot C_{25^{\circ}\text{C}} \text{ ppb}$, где μ - молярная масса вещества, г/моль

упаковку, уменьшают давление паров еще на три порядка [4, 7]. Кроме того, концентрация пара резко падает с увеличением расстояния от поверхности источника, что вызвано конвективным рассеянием пара и необратимой сорбцией взрывчатых и сопутствующих им веществ на окружающих предметах.

В пользу перспектив обнаружения взрывчатых устройств по паровой фазе свидетельствует наличие в составе взрывчатых рецептур веществ с относительно высоким давлением паров. Например, в работе [8] показано, что при анализе воздушной пробы над зарядом пластита С-4 пары гексогена, являющиеся основным компонентом этой смеси, труднообнаружимы, при этом в пробе зарегистрированы пары 2-этил-1-гексанола. Для ряда веществ со сравнительно малым по массе содержанием летучих примесей в паровой фазе присутствуют высокие концентрации этих примесей, как, например, в случае 2,4-ДНТ – технологической примеси тротила в зарядах военного

назначения. Данные по концентрациям насыщенных паров взрывчатых веществ в равновесных двухфазных системах при температуре 25 °С приведены в таблице 1.

Концентрации паров взрывчатых веществ, приведенные в таблице 1, в целом, находятся в диапазоне от единиц до 10^{-5} мг/л, что соответствует диапазону обнаруживаемых парогазовых концентраций объектов индикации технических средств химической разведки и контроля. Такие вещества, как гексоген и октоген, с учетом необходимости превентивной идентификации объекта на предмет его взрыво- или химической опасности, без вскрытия его оболочки или упаковки, обуславливают достаточно жесткие требования к методам и средствам их индикации по чувствительности обнаружения паров (на уровне 10^{-5} – 10^{-10} мг/л). Из существующего парка технических средств химической разведки и контроля, с учетом требований по чувствительности и количеству объектов индикации в базе



Рисунок 1 – Внешний вид и лицевая панель автоматического газосигнализатора ГСА-5 (фотографии из архива ФГБУ «33 ЦНИИИ» Минобороны России)



Рисунок 2 – Автоматический газосигнализатор носимый ГС-Н из состава специального оборудования машин РХБ разведки РХМ-8 и РХМ-9 (фотографии из архива ФГБУ «33 ЦНИИИ» Минобороны России)

данных (~10–15 единиц), для оперативного обнаружения и идентификации следовых количеств взрывчатых веществ наиболее применимы газосигнализаторы, функционирующие на основе метода спектрометрии ионной подвижности. Такие высокие аналитические характеристики, демонстрируемые при обнаружении отравляющих веществ современными газосигнализаторами (спектрометрами ионной подвижности), как специфичность, разрешение и чувствительность, подтверждают, что применение данных технических средств будет являться эффективным при обнаружении взрывных устройств и зарядов взрывчатых веществ по паровой фазе объекта индикации.

Оценка возможностей применения отечественных и зарубежных технических средств для обнаружения взрывчатых веществ. Основным техническим средством химической разведки, состоящим на снабжении ВС РФ, функционирующим на основе метода спектрометрии ионной подвижности, является автоматический газосигнализатор ГСА-5 (рисунок 1). С принятием на снабжение ВС РФ специального автоматического газосигнализатора ГСА-5 войска РХБ защиты впервые получили прибор, позволяющий проводить химический контроль воздушной среды и определять зараженность поверхностей вооружения, военной специальной техники отравляющими веществами типа V-газы, зоман, иприт с целью определения необходимости проведения мероприятий специальной обработки. Прибор также позволяет обнаруживать пары V-газов, зомана, зарина, иприта и аэрозоль CS и CR в воздухе в опасных и малоопасных кон-

центрациях¹. Информация об обнаружении выводится на жидкокристаллический дисплей в виде названий веществ и степени опасности их концентраций.

Дальнейшее совершенствование приборов химической разведки и контроля, реализующих технологию спектрометрии ионной подвижности, проводилось в рамках разработки машин РХБ разведки РХМ-8 и РХМ-9. В ходе данной опытно-конструкторской работы создана принципиально новая линейка автоматических газосигнализаторов стационарного и автономного использования, в частности, газосигнализатор автоматический носимый ГС-Н, предназначенный для периодического контроля воздуха с целью обнаружения в нем паров токсичных химикатов и сильнодействующих ядовитых веществ (рисунок 2).

В качестве источника ионизации в ионно-дрейфовых трубках ГСА-5 и ГС-Н используется бета-источник на основе радиоизотопа ⁶³Ni. При практически идентичной чувствительности по основным объектам индикации и удовлетворительной специфичности база спектральных данных газосигнализатора ГС-Н увеличена до 15 обнаруживаемых веществ².

Перечень обнаруживаемых прибором ГС-Н веществ включает в себя основные ТХ нервно-паралитического, кожно-нарывного, общедождовитого и удушающего действия, ирританты, ряд сильнодействующих ядовитых веществ и компонентов ракетного топлива. Расширение перечня обнаруживаемых веществ стало возможным за счет использования усовершенствованного алгоритма обработки спектральной информации, а также двух основных

¹ Приказ Министра обороны Российской Федерации от 2008 г. № 65 «О принятии на снабжение ВС РФ автоматического газосигнализатора общевойскового ГСА-5».

² Газосигнализатор специальный носимый ГС-Н. Руководство по эксплуатации ИЮВТ.413442.018 РЭ. Тула: ЗАО «Спецприбор», 2020. 49 с.

Таблица 2 – Расчетная чувствительность метода спектрометрии ионной подвижности по обнаружению взрывчатых веществ [12]

Взрывчатое вещество	$C_{обн.}$, мг/л
TNT (тротил)	8×10^{-10}
PETN (пентрит)	1×10^{-9}
RDX (гексаген)	3×10^{-9}
NG (нитроглицерин)	5×10^{-10}
2,4-ДНТ (динитротолуол)	2×10^{-9}

конструктивных доработок: реализации двухмодовой системы регистрации ионов в положительной и отрицательной полярностях и внедрения системы формирования нового ион-реагента с помощью автоматического ввода допанта в зону ионизации.

Дальнейшее расширение банка спектральных данных прибора за счет пополнения его спектрами взрывчатых и сопутствующих веществ приведет к перенасыщению базы данных, и, как следствие, к ухудшению специфичности и увеличению числа ложных срабатываний прибора при его функционировании [10, 11]. Для одновременного определения отравляющих и взрывчатых веществ наиболее целесообразным представляется введение дополнительного режима функционирования газосигнализатора, предназначенного для обнаружения наличия МВУ и следовых количеств взрывчатых веществ. Данный режим должен предусматривать работу по отдельной базе спектральных данных взрывчатых веществ и их маркерных технологических примесей. Принимая во внимание априорно меньшую токсичность взрывчатых веществ, в сравнении с токсичными химикатами, в дополнительном режиме работы прибора не потребуется быстрого действия на уровне единиц секунд. Для улучшения чувствительности обнаружения в данном дополнительном режиме целесообразно реализовать возможность накопления полезного сигнала. Следует отметить, что подобная модернизация технических средств химической разведки, функционирующих на основе метода спектрометрии ионной подвижности, направленная на расширение перечня решаемых задач, может быть проведена на программном уровне, без конструктивных доработок.

Анализ зарубежных информационных материалов об обнаружении взрывчатых веществ с использованием времяпролетных спектрометров ионной подвижности с источниками ионизации, аналогичными используемым в составе автоматических газосигнализаторов ГСА-5 и ГС-Н, показывает принципиальную возможность обнаружения паров взрывчатых веществ данными техническими средствами

[5]. В таблице 2 приведены значения рассчитанных пределов обнаружения взрывчатых веществ с использованием времяпролетных спектрометров [9].

Сравнение данных, приведенных в таблицах 1, 2, показывает, что спектрометр ионной подвижности теоретически позволяет обнаружить пары взрывчатых веществ, например, TNT в концентрации в 10^4 – 10^5 раз меньше, чем давление насыщенного пара этих веществ, а следовые количества гексогена – в 10^3 раз меньше, чем вес типичного отпечатка пальца [6].

Второй составляющей задачи по обнаружению взрывчатых веществ является обнаружение взрывчатых и сопутствующих им веществ по результатам анализа твердых частиц, визуально наблюдаемых на поверхности возле предположительного места нахождения взрывных устройств. Большинство взрывчатых веществ достаточно прочно связываются силами адгезии с материалами, обладающими высоким значением поверхностной энергии, такими, как металлы и их окислы [13]. Поэтому, даже при аккуратном обращении со взрывчатыми веществами, трудно избежать переноса частиц взрывчатых веществ на поверхность. Например, количество взрывчатого вещества, оставляемого первым отпечатком пальца на поверхности предметов, составляет около 100 мкг. В случае использования гексогена одно зерно размером 0,5 мм, имея массу 100 мкг, содержит $\sim 3 \times 10^{17}$ молекул, что подтверждает возможность обнаруживать твердые частицы объекта индикации, при условии перевода его из конденсированного состояния в газообразное.

Принимая во внимание возможность обнаружения взрывчатых веществ спектрометрами ионной подвижности, рассмотрим возможность обнаружения следовых количеств взрывчатых веществ другими методами индикации.

Наличие в составе взрывчатых веществ нитро/нитратных групп, а также структурных связей С-Н и С-N, как и в случае большинства сложных химических соединений, обеспечивает спектрам поглощения молекул взрывчатых веществ высокую специфичность и наличие



Рисунок 3 – Мобильный комплекс химического контроля МКХК (фотографии из архива ФГБУ «33 ЦНИИИ» Минобороны России)

характеристических спектральных линий в средней инфракрасной области от 2500 см^{-1} до 800 см^{-1} (от 4 до 12 мкм) [14]. Данное обстоятельство обуславливает возможность обнаружения взрывчатых веществ на различных поверхностях, в том числе удаленных от МВУ и подвергшихся случайному контакту с взрывчатыми веществами, с использованием высокоинформативных спектрометрических методов, таких как инфракрасная фурье-спектрометрия и рамановская спектрометрия [15–18]. К достоинствам данных методов следует отнести высокую селективность анализа, возможность обнаружения и идентификации веществ в многокомпонентных смесях, а также возможность реализации метода в портативных технических средствах. Основным недостатком методов является относительно слабая (в сравнении с методом спектрометрии ионной подвижности) чувствительность обнаружения, требующая визуализации объекта индикации.

Практический опыт обнаружения и идентификации взрывчатых веществ по твердой фазе с применением спектрометрических методов анализа получен авторами статьи в ходе участия в проведении мероприятий специального химического контроля при обезвреживании схрона с артиллерийскими боеприпасами времен Второй мировой войны на острове Сахалин. Априорная информация о снаряжении боеприпасов отсутствовала, косвенные признаки (калибр, маркировка) позволяли полагать наличие в боеприпасах отравляющих веществ. Проведенные мероприятия и использование в качестве средства объективного химического контроля портативного спектрометра комбинационного рассеяния света позволили безошибочно определить тип снаряжения боеприпаса, установить тип основ-

ного взрывчатого вещества (тринитротолуол) и вещества, используемого в качестве промежуточного детонатора (пикриновая кислота).

Практика привлечения специалистов организаций и частей центрального подчинения войск РХБ защиты для обеспечения РХБ безопасности при подготовке и в ходе проведения различных международных форумов и крупных спортивных мероприятий обусловила оснащение войск РХБ защиты современными техническими средствами и специальным оборудованием [19]. За истекшее десятилетие в эксплуатацию был введен мобильный комплекс оценки обстановки при ликвидации последствий аварий на химически опасных объектах МКХК (рисунок 3), оснащенный современными техническими средствами химической разведки и контроля, в том числе и зарубежного производства [20–22]. Создано специальное подразделение, со штатом специализированных (для решения задач РХБ разведки и контроля) подвижных лабораторий КМ РХБР, оснащенных схожей с МКХК номенклатурой современного аналитического оборудования.

Рассмотрим подробнее приборы из состава мобильных комплексов, которые могут быть использованы для обследования взрывных устройств как с целевым, так и с химическим снаряжением. К данным техническим средствам относятся портативные приборы разработки компании «Thermo Scientific»: фурье- и рамановского (комбинационного рассеяния света) спектрометров для внелабораторного анализа химических веществ и смесей – TruDefender FT и FirstDefender³.

Данные типы технических средств предполагают прямой оптический контакт с анализируемым веществом, находящемся в твердом или жидком состоянии. В кон-

³ Комплекс мобильный химического контроля МКХК. Техническое описание ДКТЦ.418400.000.00 ТО. СПб: НПП «Адвент», 2012. 35 с.

струкции TruDefender FT применен классический интерферометр Майкельсона с пьезоэлектрическим широкополосным фотоприемником. Рабочий диапазон спектра – 650–4000 см⁻¹, спектральное разрешение – 4 см⁻¹. Размер изделия – 196×112×53 мм при массе менее 1,4 кг. Ион-литиевый аккумулятор обеспечивает непрерывную работу прибора в течение 2 часов.

Прибор позволяет анализировать вещества, находящиеся в капельно-жидком состоянии на поверхности предметов, твердые частицы с размерами ~ 1±2 мм, смывы с поверхностей. Методика измерений спектров анализируемых соединений основана на эффекте нарушения полного внутреннего отражения. Данная методика стандартно применяется в исследовательской практике для диагностики веществ с очень большими коэффициентами поглощения в рабочем диапазоне спектра для получения интерпретируемых спектральных зависимостей для оптически непрозрачных материалов.

Прибор FirstDefender представляет собой спектрометр комбинационного рассеяния света. В качестве источника подсветки используется лазерный излучатель мощностью 300 мВт с длиной волны 785±0,5 нм, при помощи которого происходит исследование объекта. Оптический диапазон спектра комбинационного рассеяния света – 250–2875 см⁻¹ при спектральном разрешении 7–10 см⁻¹. Разрешение спектрометра FirstDefender в разы хуже, чем TruDefender FT, но это окупается возможностью наблюдения спектральных линий оптически запрещенных переходов в молекулах. Габариты спектрометра комбинационного рассеяния составляют 300×150×76 мм при массе менее 1,8 кг.

Анализ объектов индикации с использованием прибора FirstDefender может производиться в кюветном отделении в виале, либо при наведении лазерного пучка на объект индикации на расстоянии 10–20 мм (в том числе и при нахождении веществ в стеклянной и прозрачной пластиковой упаковке), либо с использованием оптоволоконного зонда для труднодоступных поверхностей. За уникальную информативность метода комбинационного рассеяния приходится расплачиваться его низкой чувствительностью, что позволяет использовать его для анализа только визуально различимых объектов индикации в относительно больших объемах анализируемых проб (≥100 мг).

Выводы

Проведенный анализ технических средств химической разведки, специального оборудования комплексов химического контроля и реализованных в них методов индикации применительно к задаче обнаружения взрывчатых веществ и МВУ позволил сделать вывод о возможности ее выполнения с использованием специальных войсковых газосигнализаторов, функционирующих на основе метода спектрометрии ионной подвижности. Подобное расширение функциональных возможностей данных технических средств, без ущерба их основному назначению, может быть достигнуто при условии их программной и конструктивной доработки, заключающейся в создании и интеграции специализированной базы спектральных данных. Портативное спектральное оборудование из состава мобильных комплексов химического контроля может быть использовано для подтверждения факта присутствия токсичных химикатов либо МВУ и сопутствующих им объектов индикации.

Вклад авторов / Authors Contribution

Все авторы внесли свой вклад в концепцию рукописи, участвовали в обсуждении и написании этой рукописи, одобрили окончательную версию. Все авторы прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи / All authors contributed to the conception of the manuscript, the discussion, and writing of this manuscript, approved the final version. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют, что исследования проводились при отсутствии любых коммерческих или финансовых отношений, которые могли бы быть истолкованы как потенциальный конфликт интересов.

Сведения о рецензировании

Статья прошла открытое рецензирование двумя рецензентами, специалистами в данной области. Рецензии находятся в редакции журнала и в РИНЦе.

Финансирование. Федеральное государственное бюджетное учреждение «33 Центральный научно-исследовательский испытательный институт» Министерства обороны Российской Федерации.

Список источников / References

1. Ковтун В.А., Голипад А.Н., Мосин Н.И. и др. Химический терроризм как силовой инструмент проведения внешней политики США и стран Запада // Вестник войск РХБ защиты. 2017. Т. 1. № 2. С. 3–13. <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2017-1-2-3-13>
2. Kovtun V.A., Golipad A.N., Mosin N.I. et al. Chemical terrorism as power tool for conducting the foreign policy of the United States and Western countries // Journal of NBC Protection Corps. 2017. V. 1. № 2. P. 3–13. <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2017-1-2-3-13> (in Russian).
3. Смирнов Н.А. Информационная война в Сирии // Вестник МГИМО-Университета. 2015. № 1. С. 153–160. <https://doi.org/10.24833/2071-8160-2015-1-40-153-160>
4. Smirnov N.A. Information war in Syria // MGIMO Bulltin. 2015. № 1. P. 153–160 <https://doi.org/10.24833/2071-8160-2015-1-40-153-160> (in Russian).
5. Скворцов Л.А., Максимов Е.М. Применение лазерной фототермической спектроскопии для standoff детектирования следов взрывчатых веществ на поверхности тел // Квантовая электроника. 2010. Т. 40. № 7. С. 565–578. <https://doi.org/10.1070/QE2010v040n07ABEH014334>
6. Skvortsov L.A., Maksimov E.M. Application of laser photothermal spectroscopy for standoff detection of trace explosive residues on surfaces // Quantum Electron. 2010. V. 40. № 7. P. 565–578. <https://doi.org/10.1070/QE2010v040n07ABEH014334> (in Russian).
7. Gottfried J.L., De Lucia F.C., Munson C.A., McNesby K. (ed) Laser-induced breakdown spectroscopy for detection of explosive residues // Anal. Bioanal. Chem. 2009. V. 395. P. 283–300. <https://doi.org/10.1007/s00216-009-2802-0>
8. Dionne B.C., Rounbehler D.P., Achter E.K., Fine D.H. Vapor pressure of explosives // Journal of Energetic Materials, 1986. V. 4. № 1-4. P. 447–472. <https://dx.doi.org/10.1080/07370658608011353>
9. Скворцов Л.А. Лазерные методы дистанционного обнаружения химических соединений на поверхности тел. Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2015. 208 с. ISBN 978-5-94836-387-5
10. Skvortsov L.A. Laser methods of remote detection of chemical compounds on the surface of bodies. Moscow: TECHNOSPHERE, 2015. 208 p. ISBN 978-5-94836-387-5 (in Russian).
11. Kolla P. The application of analytical methods to the detection of hidden explosives and explosive devices // Andewandte Chemie. 1997. V. 36. P. 800. <https://doi.org/10.1002/anie.199708001>
12. Буряков И.А. Обнаружение взрывчатых веществ методом спектрометрии ионной подвижности // Журнал аналитической химии. 2011. Т. 66. № 8. С. 788–809.
13. Buryakov I.A. Detection of explosives by ion mobility spectrometry // Journal of analytical chemistry 2011, T. 66. № 8. P. 788–809. ISSN 0044-4502 (in Russian).
14. Oxley J.C., Smith J.L., Brady J. Determination of the vapor density of triacetone triperoxide (TATP) // Propellants, Explosive, Pyrotechnics. 2005. V. 34. № 6. P. 539. <https://doi.org/10.1002/prep.200400094>
15. Clowers B.H., Siems W.F., Hill H.H., Mussik S.M. Hadamard transform ion mobility spectrometry // Analyt. Chem. 2006. V. 78. № 1. P. 44–51. <https://doi.org/10.1021/AC051743B>
16. Kaur-Atwal G., O'Connor G., Aksenov A.A., Bosoc-Bintintan V. Chemical standarts for ion mobility spectrometry: a review // Intern. J. Ion Mobility Spectrometry. 2009. V. 12. P. 1–14. <https://doi.org/10.1007/S12127-009-0021-1>
17. Murphy C. Existing and potential explosives detection techniques. Washington: The National Academies, 2004. <https://doi.org/10.17226/10998>
18. Gresham G.L., Davies J.P., Goodrich L.D. et al. Development of particle standards for testing detection systems: mass of RDX and particle size distribution of composition 4 residues // Society of Photo-Optical Inst. Engineers. 1994. V. 2276 P. 34. <https://doi.org/10.1117/12/189198>
19. Patel C.K.N. Laser photoacoustic spectroscopy helps fight terrorism: High sensitivity detection of chemical Warfare Agent and explosives // Eur. Phys. J. Special. Topics. 2008. V. 153. P. 1–18. <https://doi.org/10.1140/epjst/e2008-00383-x>
20. Демтредер В. Лазерная спектроскопия. Основные принципы и техника эксперимента. М.: Наука, 1985. 608 с.
21. Demtredere V. Laser spectroscopy. Basic principles and techniques of experiment. Moscow: Nauka, 2005. 608 p. (in Russian).
22. Gaft M., Nagli L. UV gated Raman spectroscopy for detection of explosives // Opt. Materials. 2008. V. 30. № 11. P. 1739. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2007.11.013>
23. Nagli L., Gaft M., Flegler J., Rosenbluh M. Absolute Raman cross-sections of some explosives: Trend to UF // Optical Materials. 2008. V. 30. № 11. P. 1747. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2007.11.019>
24. Nagli L., Gaft M. Raman scattering spectroscopy for explosives identification // Proc. SPIE 6552. Laser Source Technology for Defense and Security III, 65520Z (15 May 2007); <https://doi.org/10.1117/12.719319>
25. Иноземцев В.А., Жохов А.К., Бойко А.Ю. и др. Мобильный комплекс химического контроля как основа технического оснащения мобильной диагностической группы 33 ЦНИИИ Министерства обороны Российской Федерации // Вестник войск РХБ защиты. 2021. Т. 5. № 1 С. 54–64. <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2021-5-1-54-64>
26. Inozemtsev V.A., Zhokhov A.K., Boyko A.Yu. et al. The Mobile Complex of Chemical Control as the Basis of Technical Equipment of the Mobile Diagnostic Group of the 33 Central Scientific Research Test Institute of the Ministry of Defence of the Russian Federation // Journal of NBC Protection Corps. 2021. V. 5. № 1. P. 54–64. <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2021-5-1-54-64> (in Russian).

20. Брагинец А.А., Жохов А.К., Полякова Г.Ю., Серебренников Б.В. Расширение возможностей мобильных химических лабораторий войск радиационной, химической, биологической защиты // Вестник академии военных наук. 2016. Т. 57. № 4. С. 136–141.

Braginets A.A., Zhokhov A.K., Polyakova G.Yu., Serebrennikov B.V. Expanding the capabilities of mobile chemical laboratories of the radiological, chemical and biological protection forces // Journal of the Academy of Military Sciences. 2016. V. 57. № 4. P. 136–141 (in Russian).

21. Шабельников М.П., Михайлов В.Г., Терновой А.В. и др. Деятельность мобильной диагностической группы 27 НЦ МО РФ // Вестник войск РХБ защиты. 2018. Т. 2. № 3. С. 55–63. <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2018-2-3-55-63>

Shabelnikov M.P., Mikhaylov V.G., Ternovoy A.V. et al. Activities of the Mobile diagnostic group of the «27 Scientific Centre» of the Ministry of Defence of the

Russian Federation // Journal of NBC Protection Corps. 2018. V. 2. № 3. P. 55–63. <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2018-2-3-55-63> (in Russian).

22. Кужелко С.В., Ковтун В.А., Колесников Д.П. Экспедиция специалистов войск РХБ защиты на остров Матуа Курильской гряды // Вестник войск РХБ защиты. 2018. Т. 2. № 1. С. 12–23. <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2018-2-1-12-23>

Kuzhelko S.V., Kovtun V.A., Kolesnikov D.P. The NBC Defence troops specialists' expedition to Matua Island in the Kuril Chain // Journal of NBC Protection Corps. 2018. V. 2. № 1. P. 12–23. <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2018-2-1-12-23> (in Russian).

23. Морозов А.Н., Светличный С.И. Основы фурье-спектрометри. 2-е изд., испр. и доп. М.: Наука, 2014. 456 с. ISBN 978-5-02-039-051-5

Morozov A.N., Svetlichny S.I. Fundamentals of Fourier Spectroradiometry. 2nd ed., Rev. and add. Moscow: Nauka, 2014. 456 p. ISBN 978-5-02-039-051-5 (in Russian).

Об авторах

Федеральное государственное бюджетное учреждение «33 Центральный научно-исследовательский испытательный институт» Министерства обороны Российской Федерации, российская Федерация, 412918, Саратовская область, г. Вольск-18, ул. Краснознаменная, д. 1.

Иноземцев Валерий Александрович. Начальник института, д-р воен. наук.

Ефимов Игорь Николаевич. Начальник отдела, канд. техн. наук.

Позвонков Андрей Александрович. Заместитель начальника отдела, канд. техн. наук.

Пономарев Владимир Николаевич. Старший научный сотрудник.

Самородов Александр Сергеевич. Старший научный сотрудник.

Колбинец Сергей Сергеевич. Научный сотрудник.

Контактная информация для всех авторов: 33cnii-ito@mil.ru

Контактное лицо: Иноземцев Валерий Александрович, 33cnii-ito@mil.ru

Application of Modern Technical Means of Chemical Reconnaissance and Control for the Detection and Identification of Explosives

V.A. Inozemcev, I.N. Efimov, A.A. Pozvonkov, A.S. Samorodov,

V.N. Ponomarev, S.S. Kolbincev

Federal State Budgetary Establishment «33 Central Scientific Research Test Institute» of the Ministry of Defense of the Russian Federation. Krasnoznamennaya Street 1, Volsk-18, Saratov Region, 412928, Russian Federation

Received September 27, 2022. Revised 25 November, 2022. Accepted December 23, 2022

The analysis of the capabilities of modern technical means of chemical reconnaissance and special equipment of chemical control indicates the possibility of quick detection of mined and explosive devices (EDs) by identification of the explosives included in the EDs and related technological impurities. The *purpose of this work* is to analyze the possibilities of using modern technical means of chemical reconnaissance and control for the detection and identification of explosives. In order to achieve this goal, the authors assessed the analytical characteristics and features of the technical

means of chemical reconnaissance and the indication methods implemented in them to determine the possibility of detecting and identifying the components of the EDs. The article shows the possibility of using special military gas detectors operating on the basis of the ion mobility spectrometry (IMS) method to confirm the presence of the vapor phase of explosives. The assessment was carried out on the basis of an analysis of the physicochemical properties of peroxides and nitrogen-containing explosives and a comparison of the achievable concentrations of the vapor phase of nitrogen-containing explosives (TNT, RDX, pentrite, nitroglycerin, dinitrotoluene) with the results of the calculated sensitivity of the IMS method (~10–10 mg/L). It has been established that trace amounts of explosives in liquid and solid states of aggregation can be identified by portable technical means of chemical control, operating on the basis of infrared Fourier spectroscopy and Raman scattering. The ways of expanding the functionality of these technical means by creating specialized databases of spectral data of explosives and accompanying technological impurities are proposed. The inclusion of an additional spectrum bank in the control software of IMS gas detectors must be combined with the implementation of the possibility of program selection of operating modes and database switching by the operator.

Keywords: *chemical monitoring; explosive substance; gas detector; indication object; ion mobility spectrometry; raman scattering; technical devices of chemical reconnaissance.*

For citation: *Inozemcev V.A., Efimov I.N., Pozvonkov A.A., Samorodov A.S., Ponomarev V.N., Kolbinev S.S. Application of Modern Technical Means of Chemical Reconnaissance and Control for the Detection and Identification of Explosives // Journal of NBC Protection Corps. 2022. V. 6. № 4. P. 355–364. EDN: DVOLJH. <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2022-6-4-355-364>*

Conflict of interest statement

The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationship that could be construed as a potential conflict of interest.

Peer review information

The article has been peer reviewed by two experts in the respective field. Peer reviews are available from the Editorial Board and from Russian Science Citation Index database.

Funding. Federal State Budgetary Establishment «33 Central Scientific Research Test Institute» of the Ministry of Defense of the Russian Federation.

References

See P. 362–363.

Authors

Federal State Budgetary Establishment «33 Central Scientific Research Test Institute» of the Ministry of Defense of the Russian Federation. Krasnoznamenaya Street 1, Volsk-18, Saratov Region, 412928, Russian Federation.

Valery Alexandrovich Inozemcev. Head of Institute, Doctor of Military Sciences

Igor' Nikolaevich Efimov. Associate Professor, Head of Department, Candidate of Technical Sciences.

Andrey Aleksandrovich Pozvonkov. Deputy Head of Department, Candidate of Technical Sciences.

Aleksandr Sergeevich Samorodov. Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences.

Vladimir Nikolaevich Ponomarev. Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences.

Sergey Sergeevich Kolbinev. Researcher.

Contact information for all authors: 33cnii-ito@mil.ru

Contact person: Valery Alexandrovich Inozemcev; 33cnii-ito@mil.ru