



DOI: <http://dx.doi.org/10.15688/jvolsu10.2015.4.9>

УДК 543

ББК 24.4

## ЭКСПРЕСС-ОБНАРУЖЕНИЕ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУХЕ

**Галина Константиновна Лобачева**

Доктор химических наук,  
профессор кафедры криминалистической техники,  
Волгоградская академия МВД России  
lobachevagalina@mail.ru  
ул. Историческая, 130, 400089 г. Волгоград, Российская Федерация

**Данияр Вулкаиревич Кайргалиев**

Кандидат биологических наук,  
доцент кафедры криминалистической техники,  
Волгоградская академия МВД России  
danchem@mail.ru  
ул. Историческая, 130, 400089 г. Волгоград, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье представлены современные способы дистанционного обнаружения взрывчатых веществ в воздухе, описаны авторские разработки (полезные модели) – устройства для экспрессного и эффективного обнаружения и идентификации взрывчатых веществ, позволяющие обеспечить досмотровые мероприятия на транспорте, в аэропортах, пограничных и таможенных пунктах, предотвратить террористические акты и предупредить факты незаконного оборота взрывчатых веществ. Основой для создания полезных моделей послужили метод цветных химических реакций, простых и доступных (стоимость), способ наноструктурирования (образование надмолекулярных структур) полярных полимеров, включающий термоформования пленок с различными функциональными группами, растворителей, фотолюминесцентных материалов и индикаторов паров взрывчатых веществ.

**Ключевые слова:** инновации, полезная модель, взрывчатое вещество, безопасность, цветные химические реакции, наноструктурированный элемент, сенсор, мониторинг.

Как правило, акты терроризма и террористические акты совершаются с использованием взрывчатых веществ (ВВ), сегодня посягательства на жизнь государственных или общественных деятелей, насильственные действия, сопряженные с устрашением общества и населения [1], распространились во всем мире, борьба с этим противоправным явлением носит ярко выраженный международный характер. Применение взрывных устройств (ВУ), закамуфлированных в предметы быта, спрятанных в авто-

транспорте и под одеждой человека, ведет к многочисленным жертвам и сопровождается существенным материальным уроном. Угрозы национальной безопасности послужили толчком для создания и развития антитеррористического оборудования, направленного на быстрое обнаружение и нейтрализацию диверсионно-террористических средств.

Методы обнаружения взрывных устройств и взрывчатых веществ делят на два основных типа: прямые и косвенные.

Прямыми методами называются методы, позволяющие надежно установить наличие (или отсутствие) в подозреваемом предмете (объекте) взрывчатого вещества. Такие методы реализуются путем использования газоанализаторов и высокоаналитического оборудования, принципы работы которого основаны на успехах естествознания – физики, химии (спектрофотометрия, газовая хроматография, ядерный квадрупольный резонанс и т. п.). Для прямого поиска взрывчатых веществ и взрывных устройств активно используются биодетекторы (собаки, обученные минно-розыскной службе).

Не менее широко применяются косвенные методы поиска. О возможном присутствии взрывоопасных устройств и субстанций судят по косвенным признакам с помощью соответствующих приборов: наличие металлических деталей корпуса, проводов, взрывателя – металлодетекторы; характерные очертания изделий, проводов, взрывателя – рентгено-телевизионные установки; наличие микросхем, полупроводниковых приборов – нелинейные локаторы.

Важное в технических возможностях обнаружения взрывчатых веществ: среди арсенала современных аналитических методов и приборов не существует (и едва ли возможно существование) универсального метода противодействия террористической угрозе. Разнообразными являются и задачи поиска и обезвреживания взрывоопасных объектов, поэтому решение проблемы безопасности граждан возможно только путем комплексного применения нескольких методов и приборов.

подавляющее большинство терактов совершается с применением тротила или содержащих его смесей, поскольку они широко применяются в военном деле для снаряжения боеприпасов, а также в проведении взрывных работ гражданского назначения. Технология производства тротила в больших, значимых с практической точки зрения количествах довольно сложна и опасна, поэтому в кустарных условиях тринитротолуол не производится.

Обнаружение тротила – обязательный этап специального обучения служебных собак. Проверку чувствительности электронных детекторов и анализаторов взрывчатых ве-

ществ тестируют в первую очередь на тротил и его следы. Это связано с тем обстоятельством, что на производстве, при транспортировке и хранении боеприпасов и других объектов военного назначения, содержащих взрывчатые вещества иных типов, эти объекты и вещества обычно находятся в непосредственной близости с тротилсодержащими материалами и, следовательно, могут быть загрязнены микрочастицами тринитротолуола, а значит, обладают соответствующим «запахом». В работе газоаналитических приборов обнаружения взрывчатых веществ фактически копируется принцип, реализуемый при использовании собак, – выявление объекта, содержащего взрывчатое вещество, по наличию в окружающем пространстве паров и/или микрочастиц этого вещества. Лучшие из созданных в настоящее время газоанализаторов по чувствительности и селективности заметно уступают обонянию собаки. Но в то же время газоанализаторы незаменимы в решении ряда поисковых задач благодаря таким свойствам и функциям, как возможность работать в течение практически неограниченного времени, идентифицировать тип взрывчатого вещества и документировать результат обнаружения.

Представленные на рынке газоаналитические приборы можно разделить на две группы: детекторы и анализаторы.

Детекторы – это портативные приборы, обнаруживающие присутствие молекул взрывчатого вещества в воздухе, как правило, без отнесения к конкретному типу. Обнаружение ВВ происходит в режиме реального времени при прохождении через детектор потока воздуха, отбираемого в непосредственной близости от объекта. Приборы эффективны при поиске легколетучих взрывчатых веществ, таких как нитроэфиры, нитроглицерин (динамит) и тротил. При создании такого прибора используется метод спектрометрии ионной подвижности (зависит от массы иона, его заряда и строения). Вероятность и степень ионизации молекул вещества в воздухе, отбираемом от подозрительного объекта, сильно зависят от внешних условий, например, от влажности. В связи с этим для детекторов характерна (и допустима) несколько повышенная вероятность ложных срабатываний. Совер-

шенствование аналитического блока и математической обработки получаемых сигналов позволяет уменьшить влияние негативных факторов и повысить селективность прибора.

В отличие от детекторов, анализаторы способны не только обнаруживать взрывчатые вещества, но и определять их групповую принадлежность к конкретному типу ВВ. Для этого в них предусмотрена компьютерная обработка результатов анализа и использование соответствующих банков данных по взрывчатым веществам. Как правило, анализаторы работают с предварительным накоплением пробы, поэтому продолжительность анализа несколько больше, чем у детекторов. Анализаторы характеризуются значительными габаритами и массой и более высоким энергопотреблением. Существенным преимуществом перед детекторами является большая достоверность получаемой анализаторами информации.

В анализаторах для обнаружения взрывчатых веществ используют как спектрометрию ионной подвижности, так и газовую хроматографию. Техника реализации первого метода в анализаторе несколько отличается от таковой в детекторе. Проба вещества из воздуха отбирается на специальную салфетку (или картридж), при этом появляется возможность концентрирования вещества на салфетке. При обследовании поверхности документов и предметов, которые могут содержать микрочастицы взрывчатого вещества, при досмотре замков и ручек багажа или рук досматриваемого отбор пробы производят путем протирания салфеткой подозрительных объектов. Анализаторы, как правило, снабжаются специальным пробоотборным устройством, представляющим собой портативный пылесос, в который помещается салфетка. Поток очищенного (возможно подогретого) воздуха или иного газа-носителя снимает пробу салфетки и переносит ее в аналитический блок, что значительно снижает возможность влияния на анализ внешних факторов. Метод спектрометрии ионной подвижности отличается быстродействием, время анализа составляет порядка 6–8 с.

На кафедре криминалистической техники учебно-научного комплекса экспертно-криминалистической деятельности Волгоградс-

кой академии МВД России созданы новые полезные модели, пригодные для обнаружения взрывчатых веществ в воздухе.

Для обнаружения ВВ применяют сложную дорогостоящую аппаратуру (хромато-масс-спектрометры, хромато-ИК-Фурье-спектрометры и др.), требующую высококвалифицированное обслуживание. Анализ проводится только в стационарных лабораторных условиях и длительное время, так как включает дополнительные стадии отбора, концентрирования и подготовки проб к анализу. Для работы в «полевых условиях» применяют приборы, различающиеся по своей сложности, размерам, стоимости, эксплуатационным характеристикам и возможностям. К отечественным разработкам относятся детекторы паров ВВ (серия «Эдельвейс», «Эхо», «Шельф» и др.). В детекторах реализован технически сложный хроматографический анализ паро-воздушной пробы: забор атмосферного воздуха в области обследуемого объекта, накопление на адсорбере и хроматографический анализ, идентификация ключевых компонентов и оповещение оператора о наличии (или отсутствии) ВВ в пробе. Сотрудниками института прикладной физики г. Новосибирска разработан детектор М-01 [3], предназначенный для определения ВВ в условиях городских улиц, производственных, административных и жилых помещений. Устройство М-01 представляет собой контейнер (чемодан типа атташе-кейс) размером 490 × 380 × 120 мм, массой около 7 кг, с размещенным внутри него детектором, автономным источником питания и вспомогательными приспособлениями (датчик концентрации паров ВВ, анализирующая головка и др.). К недостаткам детектора относятся его относительно большие размеры и масса, потребность в автономном питании (аккумуляторная батарея), требование высокой квалификации обслуживающего персонала, ограниченный перечень обнаруживаемых ВВ (тротил, нитроглицерин). Гексоген, октоген, ТЭН, тетрил не могут быть обнаружены прибором М-01.

Разрабатываемые компактные, удобные, простые в обращении (не требующие спецподготовки) устройства для экспресс-обнаружения следовых количеств широкого круга ВВ представляют собой, как правило, компактный

пластмассовый контейнер небольшого размера (ориентировочно  $100 \times 105 \times 20$  мм) и массой до 200 г, помещающийся в карман. В качестве детектора ВВ используют расположенные внутри контейнера три флакона с растворами индикаторов, а как вспомогательное приспособление – набор тестовой бумаги для отбора пробы с поверхности подозрительных объектов.

Мы предлагаем устройство [4], позволяющее быстро (менее 1 мин) и легко в «полевых» условиях обнаружить тротил, тетрил, гексоген, октоген, ТЭН, нитроглицерин и взрывчатые смеси на их основе, а также их следовые количества (пределы обнаружения тротила –  $1 \cdot 10^{-8}$  г, тетрила, гексогена и октогена –  $1 \cdot 10^{-6}$  г, ТЭН и нитроглицерина –  $1 \cdot 10^{-5}$  г). Устройство не требует источника электропитания, высокая квалификация пользователя не обязательна.

Известна полезная модель «Устройство для обнаружения следовых количеств взрывчатых веществ» [6], которая относится к устройствам быстрого (в течении 1–2 мин) обнаружения и идентификации взрывчатых веществ при проведении досмотровых мероприятий на транспорте, в аэропортах, пограничных и таможенных пунктах, и является эффективным средством борьбы с террористической деятельностью и незаконным оборотом ВВ. Модель состоит из контейнера в виде плоской пластмассовой коробки с ячейками, размещенными в них флаконами (в качестве индикаторов – растворы щелочи, сульфокислоты, амина, реактивы цинка и калия йодистого с крахмалом). Устройство позволяет обнаруживать следы всех известных ВВ (тротил, гексоген, октоген, ТЭН, тетрил, нитроглицерин, а также следы селитры, пероксида). Полоской тестовой бумаги проводят по поверхности подозрительного объекта, затем на бумагу наносят 1–2 капли индикатора из флакона А, содержащего раствор щелочи. Появление красно-фиолетового окрашивания свидетельствует о возможном наличии тротила, оранжевая окраска – о возможном присутствии тетрила. При отсутствии окрашивания последовательно наносят 1–2 капли индикаторов из второго или третьего флаконов В и С и т. д. Недостатками полезной модели являются: 1) относительно большое время анали-

за (10 мин); если ограничиться нанесением индикатора только из одного флакона (получить результат срабатывания сигнала на ВВ), потребуется не менее 2 мин; 2) острая необходимость проведения выборки предметов или людей (в патенте: подозреваемый объект). Трудно за 2–3 мин (да и 10 мин мало) собрать частицы с предметов одежды, обуви, рук, волос проверяемого лица и сделать анализ на причастность к опасным веществам. К недостатку можно отнести и отсутствие возможности одновременного обнаружения различающихся между собой ВВ.

Известно устройство [7] для дистанционного обнаружения предметов, скрытых под одеждой, содержащее досмотровую кабину, радиометрический приемник, систему регистрации и отображения сигнала. При использовании устройства могут возникнуть трудности: невозможно обнаружить вещество, находящееся в организме досматриваемого, требуемое время досмотра (10 с) увеличивается из-за необходимости сканирования всего объекта, вопросы безопасности оператора, осуществляющего досмотр, остались открытыми в изобретении.

Наиболее близким прототипом является полезная модель [8], содержащая досмотровую кабину с дверьми, систему автоматической фиксации дверей, приемное устройство, систему формирования и обработки сигнала, индикатор. Следует отметить, что блок формирования и обработки сигнала, соединенный с системой фиксации дверей и индикатором, снабжен электромагнитами, системой управления магнитами, запоминающим устройством и устройством сравнения. Двери установлены на противоположных сторонах бронированной кабины, магниты имеют разную индуктивность. Недостатками модели являются продолжительное время (5 с), затрачиваемое для досмотра и пропуска 1 человека, высокая стоимость оборудования ядерно-магнитного резонанса, использование электромагнитов и создаваемого электромагнитного поля, вредных для человека, возможно эффективное обнаружение только веществ, содержащих квадрупольные ядра (ЯКР-активные молекулы).

Задачами создания полезной модели являются повышение точности определения ши-

рокого круга ВВ (тротил, тетрил, нитроэферы, гексоген, амины, селитра, пероксиды и т. д.), уменьшение времени досмотра, обеспечение простоты обнаружения ВВ и безопасности людей, находящихся вблизи кабины, снижение себестоимости заявляемого устройства.

Техническая задача решается тем, что устройство дистанционного обнаружения ВВ с использованием индикаторных растворов содержит досмотровую кабину с дверьми, расположенными на противоположных сторонах кабины, и дополнительную боковую дверь для вывода человека, на котором обнаружены следы ВВ и/или ВУ, систему индикаторных растворов, систему забора воздуха и подачи его в сосуды с индикаторными растворами, запоминающее и сравнительное устройства (видеокамеры) в бронированной кабине.

На рисунке изображен сосуд с раствором и приспособление для подачи воздуха на анализ ВВ.

Сосуд  $A_1$  содержит раствор гидроксида тетрабутиламмония,  $A_2$  – раствор щелочи, В – сульфокислоты, С – амины, Д – реактив цинка, Е – реактив йодистого калия с крахмалом соответственно.

В основу модели положен метод цветных химических реакций, наиболее простой и доступный (по стоимости). Сущность метода заключается в образовании окрашенных растворов при взаимодействии определенных реактивов-индикаторов с ВВ. Например, наибольшей чувствительностью, быстродействием и избирательностью обладает индикаторный раствор на основе гидроксида тетрабутиламмония –  $A_1$ . Далее происходит автоматический контроль за изменением окраски раствора (видеокамеры). Сравнение осуществляется устройством сравнения по заданному алгоритму. При отсутствии ВВ двери открываются и досматриваемый человек выходит в противоположную дверь по ходу движения. Появление окраски в индикаторных растворах свидетельствует о возможном наличии следов ВВ на теле или его одежде. Изъятие следов ВВ осуществляется автоматическим путем забора воздуха с тела и одежды человека и по шлангу подается в разъемное устройство, в котором происходит разделение и подача по шлангам анализируемого воздуха в различные сосуды, наполненные индикаторными растворами.

Если при подаче воздуха содержащего ВВ, взятого с человека, который находится в кабине, в сосуд  $A_2$ , содержащий раствор щелочи, появилось красно-оранжевое окрашивание, это свидетельствует о возможном наличии тетрила.

Во втором сосуде В находится раствор сульфокислоты, а в сосуде С – амин в ортофосфорной кислоте (появление розового окрашивания свидетельствует о возможном наличии гексогена, ТЭНа или нитроглицерина на теле и одежде досматриваемого).

Сосуд Д заполнен реактивом цинка, появление розовой окраски которого может указывать на наличие следов селитры на руках, одежде человека.

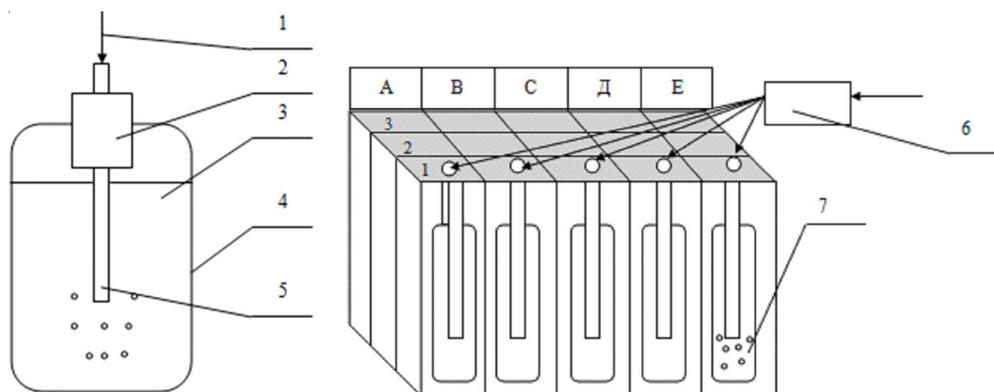
Во флаконе Е находится йодистый калий с крахмалом, появление синего окрашивания свидетельствует о наличии следов пероксида в воздухе, продуваемом через раствор.

Если окраска не появилась во всех описанных случаях, то это свидетельствует об отсутствии следов перечисленных ВВ.

В случае обнаружения ВВ по появлению окраски в сосудах, что свидетельствует о том, что досматриваемое лицо может являться носителем ВВ, его выводят в боковую дверь для дальнейших оперативных действий.

Применение полезной модели может быть эффективным для установления лиц, причастных к перевозке ВВ, изготовлению и незаконному сбыту взрывчатых веществ и взрывных устройств и т. п. Таким образом, модель значительно отличается от существующих устройств обнаружения ВВ простотой в обращении, автоматической работой (не требует оператора) при дистанционном слежении за досматриваемым (видеокамера) и контроле за появлением аналитического сигнала (окрашивание индикаторного раствора), указывающего на ВВ в воздухе, обеспечением безопасности сотрудников и окружающих людей (кабина бронированная), сокращением временем пребывания досматриваемого в кабине (менее 5 с).

Модуль обнаружения взрывчатых веществ в воздухе с наноструктурированным сенсорным элементом относится к сфере обеспечения безопасности граждан, находящихся в общественных местах, аэропортах, вокзалах, на рабочих местах; обеспечения



*a*

*б*

Сосуд с раствором (*a*) и система отбора воздуха, подаваемого в сосуды с индикаторными растворами на анализ ВВ (*б*):

- 1 – шланг для подачи воздуха; 2 – пробка; 3 – индикаторный раствор; 4 – стеклянный сосуд с раствором; 5 – стеклянная трубка; 6 – разъемное устройство для подачи воздуха в сосуд с индикаторными растворами; 7 – пузырьки воздуха, который подается в сосуды с растворами; А<sub>1</sub>, А<sub>2</sub>, ... Е – сосуды с индикаторными растворами

личной безопасности граждан и работников силовых структур. Модуль может быть использован для прямого мониторинга воздуха в указанных помещениях на присутствие в нем ВВ.

Известным аналогом полезной модели являются отечественные приборы обнаружения ВВ «Керберус» и «Пилот-М», основанные на явлении дрейфа ионов. Недостатком аналогов является не прямое обнаружение ВВ и периодичность в работе устройств.

Современные технологии получения ценных материалов с заданными свойствами сенсоров на ВВ должны быть экономически рациональны, экологически безопасны и включать возможность реализации методов, позволяющих эффективно контролировать состав, структуру и свойства материалов на наноуровне. Основную проблему, стоящую на пути развития технологий, мы видим в необходимости разработки способов иммобилизации и включения биологических компонентов в создаваемые материалы и устройства [8].

Известны тонкие полимерные пленки, контактирующие обеими своими поверхностями с газом или жидкостью, находящиеся в иммобилизованном состоянии на поверхности пористой подложки. Известна композиция материалов сенсоров для определения химических соединений при следовых концентрациях и способ использования сенсоров (Патент РФ на изобретение № 2427834. МПК

G01N31/22, G01N21/78. Опубл. 27.08.2011). Автономный сенсор на фосфат может быть иммобилизован в полимерную матрицу. Варианты осуществления изобретения можно использовать либо в водном или неводном растворе, либо в виде твердотельного устройства. Недостатком технического решения является невозможность использования данных сенсоров для индикации ВВ в воздухе.

Наиболее близким техническим решением является модуль обнаружения, в состав которого входит полимерный химический сенсор, используемый в чистом виде или в составе нефлуоресцентных полимерных матриц и в присутствии пластификатора помещенный на рабочую поверхность сенсорного элемента в виде однородной полимерной пленки толщиной от 250 до 3 000 нм. Основным недостатком такого устройства является то, что эффективное обнаружение взрывчатого вещества зависит от глубины проникновения паров ВВ в тело полимерного сенсорного материала, наибольшая эффективность обнаружения паров может достигаться при наименьшей толщине сенсорного полимерного материала (US Patent 6, 558, B1 «Vapor Sensing Instrument for Ultra Trace Chemical Detection», Thomas S.W., III). Существенный недостаток изобретения – слабая десорбция молекул ВВ из пленки.

Наиболее близким техническим решением является модуль обнаружения ВВ в воздухе с наноструктурированным сенсорным

элементом (Патент РФ на полезную модель № 127466. МПК G01N7/02, B82B1/00. Опубл. 27.04.2013). Недостатком модели является низкая эффективность сенсорного материала, слабая десорбция молекул ВВ из пленки, из-за чего фотолюминесценция не может достичь требуемого уровня и чувствительность такого детектора значительно снижается во времени.

Задачей предлагаемой полезной модели является повышение чувствительности сенсора, увеличение эффективности сенсорного элемента за счет повышения десорбции анализируемого вещества из сенсорного материала и быстрого восстановления его сенсорной активности.

Указанная задача решается таким образом, что сенсорное вещество в растворе полимерной матрицы подвергают наноструктурированию, образованию надмолекулярных структур полярных полимеров. Наиболее технически осуществимым способом будет термоформование подобранных полимеров (с различными функциональными группами), растворителей, фотолюминесцентных материалов и индикаторов паров ВВ.

Сенсор в составе полимерной матрицы был получен в виде наноструктурированных надмолекулярных структур полярных полимеров с толщиной 5–80 нм. Сенсор содержит индикатор паров взрывчатых веществ, способен взаимодействовать с парами ВВ и образовывать комплексные соединения с изменением окраски. Таким образом, достигнут двойной эффект: 1 – затухание фотолюминесценции при взаимодействии сенсорного вещества с ВВ; и 2 – образование комплексного соединения, влияющего на эффект тушения флуоресценции.

Модуль обнаружения работает следующим образом. Анализируемый воздух при помощи воздушного насоса в непрерывном режиме пропускается через трубку со сферой в середине с нанесенным на внутреннюю поверхность наноструктурированным сенсорным элементом. Детектирование взрывчатого вещества основано на интенсивном тушении фотолюминесценции сенсорного материала в присутствии паров ВВ вещества в воздухе. В данном модуле фотолюминесценцию возбуждает светодиод. В случае наличия в воз-

духе паров ВВ, за счет большей поверхности эффективного массообмена сенсорного элемента по сравнению с устройством прототипа, происходит эффективная хемосорбция молекул ВВ на поверхности сенсорного элемента. При этом образуются нефлуоресцентные молекулярные комплексы между молекулой-сенсором и взрывчатым веществом.

Дополнительный эффект фотолюминесценции, в отличие от прототипа, создается за счет взаимодействия паров ВВ с индикатором – гидроксидтетрабутиламмонием, который образует комплексное соединение по схеме:



где ЭД выступает гидроксид тетрабутиламмония, а в роли ЭА – нитроарены.

Хромофорные свойства молекул в составе комплексов с переносом заряда (КПЗ) = (ЭД · ЭА) усиливаются, и проявляется характерная окраска. Нитроарены – это ЭА – акцепторы электронов.

Наличие индикационного эффекта, и именно появление флуоресценции и окраски, свидетельствует о наличии паров ВВ в анализируемом воздухе.

В результате совокупности двух эффектов, отвечающих за фотолюминесценцию, наблюдается интенсивное тушение фотолюминесценции сенсорного материала и комплекса (КПЗ). Как и в прототипе, для увеличения эффективности детектирования световой поток отражается покрытием из серебра в виде продольного полуцилиндра и сферы, нанесенных снаружи на половину поверхности модуля. Для предотвращения засвечивания детектора модуля светодиодом на противоположную сторону полуцилиндра и сферы нанесен светофильтр, не пропускающий УФ-излучение. Усиление свечения наблюдается в модуле, где часть трубки заменена на сферу. Именно сферическая часть трубки модуля усиливает флуоресцирующий эффект, а также делает заметнее эффект затухания.

Технический результат заключается в повышении эффективности сенсорного элемента и достигается за счет следующего: в результате наноструктурирования надмолекулярных структур полярных полимеров

происходит образование максимально развитой пористой многоячейстой структуры с размером ячеек 5–80 нм на основе полиакрилонитрильного полимера и привитого сополимера полиакриламида и образование более развитой поверхности контакта сенсорного материала с анализируемым воздухом. Подбор полимеров с различными функциональными группами, растворителей, фотолюминесцентных материалов и индикаторов паров ВВ, способных взаимодействовать с парами ВВ, образуя комплексные соединения, изменяющие окраску, позволяет достигнуть двойного эффекта в затухании фотолюминесценции. Очень важный вклад в проявление большего эффекта флуоресценции вносит форма модели, и сферическая форма модуля делает более эффективной флуоресценцию, возбуждаемую светодиодом. Полученные таким образом органические полимерные многоячейстые надмолекулярные сенсорные структуры с размером ячеек 5–80 нм обеспечивают возможность для объемного взаимодействия с анализируемым воздухом и, отсюда, более высокую степень эффективного массообмена.

В модуле-прототипе эффективный массообмен достигается вследствие диффузии паров ВВ в составе анализируемого воздуха через поверхностные пленки, и эффективность обнаружения аналита зависит от пористости, толщины пленки сенсорного материала и открытости сенсора в виде нановолокон размером 100 нм, что обеспечивает сенсорную эффективность, но не обеспечивает скорость затухания и восстановление сенсорного материала и длительность его работы. Используя новые сенсорные материалы, содержащие дополнительно индикаторы для ВВ и люминол, изменив форму модуля, можно достичь значительного эффекта как в создании фотолюминесцентного эффекта, так и в скорости затухания последнего, увеличения срока службы модуля, а также обнаружения более широкого набора ВВ (динитротолуол, тринитротолуол, тетранитротолуол, тринитробензол, гексоген) и повышения чувствительности модуля.

Следует отметить низкую стоимость таких коммерческих модулей – они в тысячи раз дешевле портативных детекторов ВВ, построенных на явлении ионного дрейфа.

Органическую сенсорную полимерную многомерную ячейстую матрицу получают при следующих соотношениях компонентов:

- растворитель – 100;
- полиакрилонитритный полимер – 1,0;
- привитой сополимер поликапромида – (0,5–1,0);
- люминол – (0,01–0,05);
- гидроксидтетрабутиламоний (ГБА) – (0,01–0,05).

Полезная модель иллюстрируется следующими примерами.

*Пример 1.*

Тонкопленочный пористый материал для модуля, включающий получение композитной полимерной пленки в соотношении полимеров 1 : 1 из раствора, после термоформирования и нанесения состава люминола и ГБА в соотношении 1 : 1 был испытан в качестве внутреннего покрытия модуля.

Наблюдалась люминесценция при 670 нм с голубым фильтром, которая затухала после взаимодействия с ВВ (время затухания – 5 мин).

*Пример 2.*

Все как в примере 1, но трубка была частично заменена на сферу; время затухания – 3 мин при длине волны 670 нм с голубым фильтром.

*Пример 3.*

Прототип: яркость люминесценции 53 кд/Вт, время затухания – 10 мин при длине волны 670 нм с голубым фильтром.

Разработанные и описанные новые модели, позволяющие эффективно обнаруживать следовые количества взрывчатых веществ как в воздухе, так и на одежде, руках, обуви человека (носитель следов ВВ), созданы на основе метода цветных реакций ВВ с индикаторами, наблюдения флуоресценции новых полимерных пленок и ее затухания при взаимодействии с определенными ВВ.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Грузнов, В. М. Перспективы развития отечественных газоаналитических и ядерно-физических установок для обнаружения взрывчатых веществ / В. М. Грузнов, Н. А. Иванов, Ю. И. Ольшанский // Актуальные проблемы защиты и безопасности : труды 4-й Всерос. науч.-практ. конф. (3–6 апр.

2001 г.). – СПб. : Изд-во НПО «Специальные материалы», 2001. – С. 79–81.

2. Емельянов, В. Террористический акт и акт терроризма: понятие, соотношение и разграничение / В. Емельянов // *Законность*. – 2002. – № 7. – С. 44–46.

3. Минин, И. В. Физические методы и устройства поиска и обнаружения взрывчатых веществ и взрывных устройств : учеб. пособие / И. В. Минин, О. В. Минин ; под ред. В. Ф. Минина. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2002. – 122 с.

4. Модуль обнаружения взрывчатых веществ в воздухе с наноструктурным сенсорным элементом : пат. РФ на полезную модель № 156048 : МПК G01N21/62, B82B1/00 / Третьяков В. И. [и др.]. – Опубл. 27.10.2015.

5. Устройство дистанционного обнаружения взрывчатых веществ с использованием индикаторных растворов : пат. РФ на полезную модель № 141655 : МПК G01N31/22 / Третьяков В. И. [и др.]. – Опубл. 10.06.2014.

6. Устройство для обнаружения следовых количеств взрывчатых веществ : пат. РФ на полезную модель № 84124 : МПК G01N31/00, C007C203/00, C07C243/02, C07C205/00 / Ахметов И. З. [и др.]. – Опубл. 27.06.2009.

7. Устройство для дистанционного обнаружения предметов, скрытых под одеждой людей : пат. РФ на изобретение № 2183025 : МПК G01V3/12, G08B13/189, G01S13/88 / Загатин В. И., Мисежников Г. С., Штейншлейгер В. Б. – Опубл. 27.05.2002.

8. Устройство дистанционного обнаружения наркотических и взрывчатых веществ с использованием эффекта Зеемана : пат. РФ на полезную модель № 113369 : МПК G01R33/44 / Завьялов И. Н. [и др.]. – Опубл. 10.02.2012.

9. Klitzing, R.V. Polyelectrolyte Membranes / R.V. Klitzing, B. Tiede // *Advances in Polymer Science*. – 2004. – Vol. 165. – P. 177–210.

10. Krasermann, L. Selective Ion Transport Across Self-Assembled Alternating Multilayers of Cationic and Anionic Polyelectrolytes / L. Krasermann, B. Tiede // *Langmuir*. – 2000. – № 16 (2). – P. 287–290.

## REFERENCES

1. Gruzov V.M., Ivanov N.A., Olshanskiy Yu.I. Perspektivy razvitiya otechestvennykh gazoanaliticheskikh i yaderno-fizicheskikh ustanovok dlya obnaruzheniya vzryvchatykh veshchestv [Prospects of Development of Domestic Gas Analytical and Nuclear-Physical Installations for Explosives Detection]. *Aktualnye problemy zashchity i bezopasnosti: trudy 4-y Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (3–6 aprelya 2001)*

[Current Problems of Protection and Safety: Proceedings of the 4th All-Russian Scientific and Practical Conference (April 3–6, 2001)]. Saint Petersburg, 2001, pp. 79–81.

2. Emelyanov V. Terroristicheskiy akt i akt terrorizma: ponyatie, sootnoshenie i razgranichenie [Terrorist Attack and Act of Terrorism: Concept, Correlation and Distinction]. *Zakonnost*, 2002, no. 7, pp. 44–46.

3. Minin I.V., Minin O.V. *Fizicheskie metody i ustroystva poiska i obnaruzheniya vzryvchatykh veshchestv i vzryvnykh ustroystv: uchebnoe posobie* [Physical Methods and Devices for Search and Detection of Explosives and Explosive Devices: Textbook]. Novosibirsk, Izd-vo NGTU, 2002. 122 p.

4. Tretyakov V.I., et al. *Modul obnaruzheniya vzryvchatykh veshchestv v vozdukh s nanostrukturnym sensornym elementom: patent RF na poleznuyu model № 156048*. МПК G01N21/62, B82B1/00. *Opubl. 27.10.2015* [Module for Detecting Explosives in the Air With a Nanostructured Sensor Element: Patent of the Russian Federation for Utility Model no. 156048. МПК G01N21/62, B82B1/00. Published on October 27, 2015].

5. Tretyakov V.I., et al. *Ustroystvo distantsionnogo obnaruzheniya vzryvchatykh veshchestv s ispolzovaniem indikatornykh rastvorov: patent RF na poleznuyu model № 141655*. МПК G01N31/22. *Opubl. 10.06.2014* [Device for Remote Detection of Explosives Using Indicator Solutions: Patent of the Russian Federation for Utility Model no. 141655. МПК G01N31/22. Published on June 10, 2014].

6. Akhmetov I.Z., et al. *Ustroystvo dlya obnaruzheniya sledovykh kolichestv vzryvchatykh veshchestv: patent RF na poleznuyu model № 84124*. МПК G01N31/00, S007C203/00, C07C243/02, C07C205/00. *Opubl. 27.06.2009* [Device for the Detection of Trace Quantities of Explosives: Patent of the Russian Federation for Utility Model no. 84124. МПК G01N31/00, S007C203/00, C07C243/02, C07C205/00. Published on June 27, 2009].

7. Zagatin V.I., Mizezhnikov G.S., Shteynshleyger V.B. *Ustroystvo dlya distantsionnogo obnaruzheniya predmetov, skrytykh pod odezhдой lyudey: patent RF na izobretenie № 2183025*. МПК G01V3/12, G08B13/189, G01S13/88. *Opubl. 27.05.2002* [Device for Remote Detection of Objects Hidden Under the Clothes of People: Patent of the Russian Federation for Invention no. 2183025. МПК G01V3/12, G08B13/189, G01S13/88. Published on May 27, 2002].

8. Zavyalov I.N., et al. *Ustroystvo distantsionnogo obnaruzheniya narkoticheskikh i vzryvchatykh veshchestv s ispolzovaniem effekta Zeemana: patent RF na poleznuyu model № 113369*, МПК G01R33/44. *Opubl. 10.02.2012* [The Device for Remote Detection of Drugs and Explosives Using the Zeeman Effect: Patent of the Russian Federation for

Utility Model no. 113369, MPK G01R33/44. Published on February 10, 2012].

9. Klitzing R.V., Tieke B. Polyelectrolyte Membranes. *Advances in Polymer Science*, 2004, vol. 165, pp. 177-210.

10. Krasermann L., Tieke B. Selective Ion Transport Across Self-Assembled Alternating Multilayers of Cationic and Anionic Polyelectrolytes. *Langmuir*, 2000, vol. 16 (2), pp. 287-290.

## **RAPID DETECTION OF EXPLOSIVES IN THE AIR**

**Galina Konstantinovna Lobacheva**

Doctor of Chemical Sciences, Professor, Department of Forensic Technology,  
Volgograd Academy of the Ministry of Internal Affairs of Russia  
lobachevagalina@mail.ru  
Istoricheskaya St., 130, 400089 Volgograd, Russian Federation

**Daniyar Vulkairevich Kayrgaliev**

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Forensic Technology,  
Volgograd Academy of the Ministry of Internal Affairs of Russia  
danchem@mail.ru  
Istoricheskaya St., 130, 400089 Volgograd, Russian Federation

**Abstract.** Today acts of terrorism and terrorist acts implying the use explosives against life of state or public figures, violent acts paired with the intimidation of society and population, have spread throughout the world. The fight against this illegal phenomenon has a pronounced international character. The use of explosive devices disguised in everyday objects hidden in the vehicles and under clothes, leads to numerous casualties and significant material damage. National security threats were the impetus for the creation and development of anti-terrorist equipment, aimed at rapid detection and neutralization of terrorist and subversive means.

This paper presents the modern methods of remote detection of explosives in the air, describes authors' inventions (utility models) – devices for the rapid and effective detection and identification of explosives, allowing to provide inspection activities on transport, airports, on board and customs posts, to prevent terrorist acts and to prevent cases of illegal trafficking of explosives. The basis for the creation of utility models is represented by the methods of colour chemical reactions, both simple and affordable, a method of nanostructuring (formation of supramolecular structures) polar polymers comprising thermoforming films with different functional groups, solvents, photoluminescent materials and indicators of explosives.

We have developed and described new models that effectively detect trace amounts of explosives in the air and on clothing, hands, shoes (the carriers of explosives traces) created on the basis of the color reactions of explosives with indicators, the new observation of fluorescence of polymer films and its attenuation by interaction with certain explosives.

**Key words:** innovation, utility model, explosive, safety, colour chemical reactions, nano-structured element, sensor monitoring.