

# Электронные устройства специального назначения для выявления, диагностики, контроля ВВ и НС. Обзор

Антти Эс

В настоящее время имеется много моделей специального электронного оборудования для обнаружения, сбора и проведения внелабораторных исследований взрывчатых веществ (ВВ) и наркотических средств (НС), а также их следов. Можно обнаружить угрозу, спрятанную не только в почтовых конвертах или за пластиковой обшивкой кузова автомобиля, но и на пальцах человека – через сканирование билета или документа, которые он держал. Тенденция в разработке и создании специальной РЭА направлена на обеспечение мобильности электронных устройств и оперативное, в течение минуты, выявление опасных веществ в разных средах и при низкой их концентрации. Предварительный анализ позволяет с достаточной точностью определить объекты и лиц, имеющих к ВВ и НС прямое незаконное отношение, установить основания для изъятия веществ с тем, чтобы проводить дальнейшие исследования материалов уже в лабораторных условиях. Поскольку методы и способы определения ВВ и НС различны, как различны и условия работы, РЭА специального назначения для лабораторной и внелабораторной диагностики отличаются друг от друга. Общепринятое деление процесса исследования на этапы предварительного и подтверждающего анализа раскрывается в статье на примерах практических устройств, их параметров, особенностей и перспектив нестандартного применения, в том числе в научных изысканиях, геологии, золотодобыче, в быту и даже в фармацевтике.

## Разновидности и общее РЭА специального назначения

Детекторы наркотических веществ предназначены для оперативного детектирования более 40 типов наркотиков – амфетамин, метамфетамин, кокаин, героин, гашиш и др. Как правило, устройства многофункциональны, имеют несколько режимов работы, как-то: обнаружение паров органических веществ в воздухе и режим детектирования твёрдых частиц органических веществ на специальной салфетке, используемой при протирке контролируемой поверхности. Почти все современные детекторы НВ имеют низкий порог обнаружения, открытую базу данных веществ с возможностью расширения и быстроту анализа (1–30 секунд). Они не требуют дорогостоящих расходных материалов. Возможности детекторов по обнаружению и идентификации ВВ и НС подтверждены испытаниями в

экспертно-криминалистических подразделениях ФСБ и МВД России [4].

Область применения РЭА специального назначения для диагностики среды, определения НС и ВВ и контроля их уровня:

- объекты критической инфраструктуры и обороны;
- контроль содержания паров ВВ в воздухе рабочей зоны предприятий;
- контроль и обеспечение безопасности в учебных заведениях;
- обеспечение безопасности массовых мероприятий;
- обеспечение транспортной безопасности;
- использование правоохранительными органами – экспресс-детектирование наличия следовых количеств взрывчатых и наркотических веществ на контрольно-пропускных пунктах (паспортно-визовый контроль в аэропортах, на вокзалах, на входах на массовые мероприятия, на промышленных объектах и особо охраняемых территориях);

- предотвращение террористических атак с использованием взрывчатых веществ;

- инспекционный контроль наличия следов взрывчатых и наркотических веществ на руках после контакта с ними и др.

Устройства этого типа отличаются нерадиоактивным источником ионизации и эффективная система самоочистки. При этом перечень определяемых ВВ широк. Аммиачная селитра (нитрат аммония), динитротолуол, тринитротолуол, тринитрорезорцин (пикриновая кислота), динитронафталин, диметилдинитробутан, этиленгликольдинитрат, нитроглицерин, ТЭН, пентаэритритетранитрат, гексоген, октоген, бензофуороксан, триперекись ацетона, гексаметиленпероксиддиамин, ПВВ на основе гексогена (гексоген + пластификатор), ПВВ на основе октогена (октоген и пластификатор), симтекс (гексоген, ТЭН, пластификатор), октол (гексоген и тротил), аммонит, аммонал, нитропорох и др. Что касается наркосодержащих средств (НС), перечень будет таким: амфетамин (AMP), метамфетамин (MET), героин (HER), тетрагидроканнабинол (THC – производные гашиш, марихуана), кокаин (COCB, COCS), метилendioксиамфетамин (MDA), метилendioксиметамфетамин (MDMA – «экстази»), морфин (MORF), кодеин (CODN), опий и соединения морфина и кодеина, 6-ацетилморфин (MAM), фентанил (FENT) и др.

Расширение и углубление наркотизации общества наносит ущерб национальной безопасности Российской Федерации [1]. На основании подп. 11 п. 47 Указа Президента Российской Федерации от 02.07.2021 № 400 «О стратегии национальной безопасности Российской Федерации» достижение целей обеспечения государственной и общественной безопасности осуществляется путём реализации государственной политики, направленной на решение задач, в которые также входит предупреждение и пресечение преступлений, связанных с незакон-

ным оборотом наркотических средств и психотропных веществ. За последние 10 лет число наркопотребителей увеличилось на 22% и составило рекордные 275 миллионов человек [3]. Причём в статистике учитываются только наркопотребители, за которыми установлен соответствующий административный надзор, реальное же их число может быть гораздо больше [1]. По данным Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) за 2022 год, более 50% лекарств, продаваемых через Интернет фирмами, скрывающими местонахождение, являются контрафактными, как и примерно 30% лекарств, продающихся в развивающихся странах. Для легальных производителей лекарств это означает потерю прибыли, а также возможность предъявления претензий со стороны лиц, пострадавших от подделок. Это ещё одна сфера применения диагностических возможностей специальной электронной техники.

### Концентратор-дермодесорбер ЯКР

Частота квадрупольного резонанса ядер (ЯКР) зависит от состава и структуры молекул конкретного вещества. В состав молекул большинства взрывчатых веществ входят ядра азота  $N^{14}$ . Используя явление ЯКР, обнаруживают и идентифицируют конкретное ВВ. Для этого применяется метод газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием (ГХ-МС). Особенность метода в том, что введённый образец испаряется в инжекторе хроматографа и переносится в колонку (полностью либо частично). Наиболее летучие вещества с различной скоростью проходят через колонку, за счёт чего происходит их разделение. Для прохождения менее летучих соединений через колонку пропорционально повышают её температуру. Из колонки через термостатированный интерфейс соединения попадают в источник ионов, где они ионизируются (обычно электронным ударом). Образовавшиеся ионы направляются в масс-анализатор, в котором они разделяются по отношению массы к заряду ( $m/z$ ). Из квадрупольных ионов попадают в детектор, который определяет их количество. В результате анализа получается трёхмерный массив данных – каждая точка хроматограммы содержит масс-спектр. На рис. 1 представлен магнитный ква-

друпольный с двойной фокусировкой масс-спектрометр с несколькими интерфейсами для ввода образцов, в том числе газовым хроматографом, оснащённым оригинальным устройством – «концентратором-термодесорбером» [6].

Устройство позволяет проводить экспресс-исследования газообразных и жидких образцов. Продолжительность анализа при этом не превышает 2–3 мин, что с использованием стандартных баз данных по масс-спектрометрии позволяет быстро идентифицировать неизвестные вещества. Принцип работы устройства основан на возбуждении ядра элемента периодической таблицы и поглощении энергии при воздействии внешнего электромагнитного радиочастотного поля определённой частоты. Имеющие несферическое распределение положительного заряда ядра (к примеру, N, Na, Cl и др.) возбуждаются. При переходе обратно в равновесное состояние излучают накопленную энергию на той же частоте. Явление получило название ядерного квадрупольного резонанса.

### Масс- и дрейф-спектрометры

Действие масс-спектрометров основано на физико-химическом методе измерения отношения массы ионов к их заряду (масс-спектрометрии). Спектрометрия основана на ионизации молекул, разделении ионов в газовой фазе, происходящем в зависимости от соотношения их массы и заряда, и регистрации разделённых ионов. Материальное вещество состоит из мельчайших частиц – молекул и атомов. Рассматриваемый тип детектора устанавливает молекулярную массу вещества, атомарный и изотопный состав, а также пространственную структуру расположения атомов, что позволяет идентифицировать и само вещество. Масс-спектрометры обладают высокой чувствительностью и позволяют обнаруживать следовые количества органического вещества в больших объёмах газов и жидкостей. Работа дрейф-спектрометров основана на ионизации непрерывного потока газа, разделении образовавшихся ионов микропримесей по их подвижности в электрическом поле специальной формы и регистрации разделённых ионов (метод спектрометрии подвижности ионов в электрическом поле). Благодаря принципу функцио-

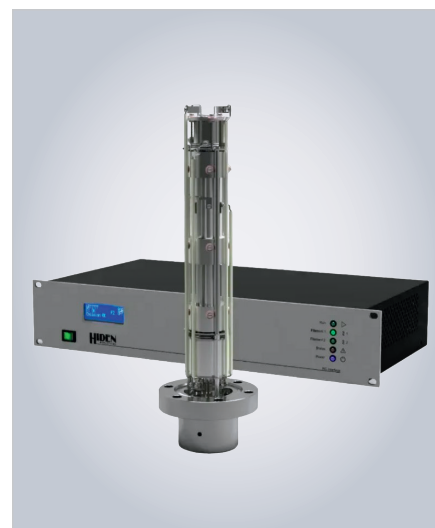


Рис. 1. Квадрупольный масс-спектрометр HIDEN HAL/3F RC 51 PIC с тройным масс-фильтром и детектором импульсного ионного подсчёта

нирования обладают высоким быстродействием (от сотых долей секунды до 1–2 с), но при этом имеют недостаточную для вызовов времени разрешающую способность [13].

### Системы на основе радиолокации

Основаны на излучении миллиметровых волн и используют собственные радиометрические излучения различных покровов и сред естественного и искусственного происхождения, в том числе и живых объектов. Одной из практических задач, потенциально решаемых с помощью радиотепловых методов наблюдений в диапазоне миллиметровых волн, является регистрация неоднородностей радиотеплового излучения тела человека при бесконтактном досмотре. Принцип работы основан на «радиосигнальном» голографировании и обеспечивает обнаружение скрытых на теле человека предметов из металла, дерева, керамики, стекла, пластмассы и других материалов. К примеру, пропускная способность «рамки» SafeScout от фирмы Provision составляет до 600 человек в час при возможности обнаружения предметов одновременно на разных участках тела человека. На рис. 2 представлен радиоволновый сканер стационарного базирования «SafeScout» L3 Communications.

В транспортной инфраструктуре и на предприятиях разных форм собственности теперь нередко можно встретить стационарные модули, похожие на тер-



Рис. 2. Радиоволновый сканер «SafeScout» L3 Communications

миналы, включённые как элементы безопасности.

### Устройства на резонансном лазерном поглощении

Принцип действия спектрофонов основан на резонансном поглощении наркотическими и взрывчатыми веществами лазерного излучения с регистрацией возникающих при этом локальных перепадов давления в виде звуковых волн чувствительным микрофоном. Спектрофон (рис. 3) взаимодействует с ПК, состоит из компактного лазера, контрольной камеры с детектирующим микрофоном (рис. 4), модулятора лазерного излучения, фазочувствительного усилителя сигнала и ПО для управления процессом и обработки результатов анализа.

В рабочем цикле анализируемая проба воздуха поступает в контрольную камеру, в зону действия луча лазера, длина волны которого совпадает с максимумом поглощения анализируемого вещества.

### Разновидности электронных спектрометров

Устройства РЭА специального назначения можно условно разделить по нескольким критериям. Во-первых, по предназначению и перечню диагностируемых веществ. Как правило, каждое устройство многофункционально. Во-вторых, по форм-фактору – есть устройства портативные, уместяющиеся в ладони, есть переносные, есть для стационарного монтажа и есть встра-



Рис. 3. Спектрофон Гриф-01 с лазерным детектором



Рис. 4. Датчик для спектрофона

иваемые и универсальные модули, к примеру, встраиваемый детектор взрывчатых и наркотических веществ «Кербер-СТ», вид которого представлен на рис. 5.

Детектор предназначен для интеграции в системы массового персонифицированного контроля для выявления взрывчатых и/или наркотических веществ на пальцах рук человека. Обнаружение и идентификация ВВ и НС осуществляется в автоматическом режиме включением пробоотборного устройства детектора.

Различия устройств контроля также можно классифицировать по трём комплексным группам эксплуатационных и технических требований к разным моделям специальной РЭА. К группе «А» относится стационарная досмотровая аппаратура, основанная на использовании различных видов проникающих излучений и предназначенная к применению в аэропортах, таможенных терминалах и транспортных узлах. В основе принципа работ – один из современных вариантов компонентного локально-распределительного анализа (рентгеновская просмотровая аппаратура, нейтронная томография и др.).

Группа «Б» – это стационарная аппаратура высокочувствительного и экспрессного анализа и предварительной идентификации НС, с использованием современных физико-химических методов (дрейф-спектрометрия ионов, поверхностная ионизация, резонансное лазерное поглощение и др.).

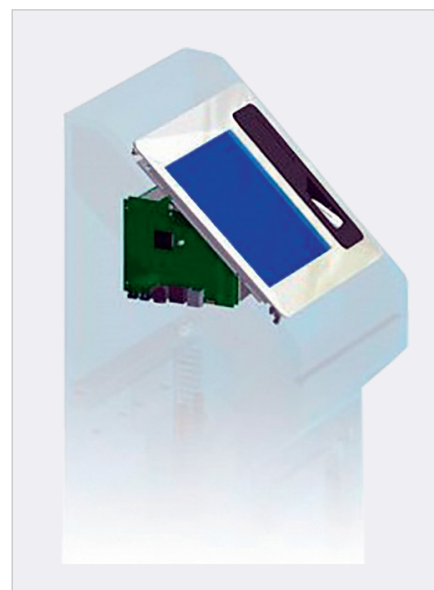


Рис. 5. Вид встраиваемого детектора взрывчатых и наркотических «Кербер-СТ»

В группе «В» РЭА, обеспечивающей иммунохимические и химические тесты и диагностикумы, как правило, малогабаритные переносные электронные устройства, предназначенные для индивидуального пользования в целях выявления и предварительной идентификации НС непосредственно в выездных условиях. В-третьих, и это главное для обзора, – по способу диагностики. Способов несколько.

### Диагностика иммунохимическим способом

Одно из перспективных направлений для решения задач контроля наркотиков в соответствии с мировой практикой связано с разработкой высокоспецифичных иммунохимических диагностикумов, реагирующих на различные группы НС, когда диагностируют частицы условно твёрдого материала (порошка), собранные на специальную тестовую фактуру. Ею может быть салфетка, ткань, стекло и другой материал. Частицы могут быть толщиной в несколько микрон. Этот метод условно называют химическим. Примеры такого оборудования связаны с иммунохроматографическим анализом вещества. С помощью иммунохимических диагностикумов осуществляется прямое или косвенное (по продуктам метаболизма) выявление широкого спектра наркотических веществ: опиатов (морфин, героин и др.), каннабиноидов, барбитуратов, амфетаминов, бензодиазепи-

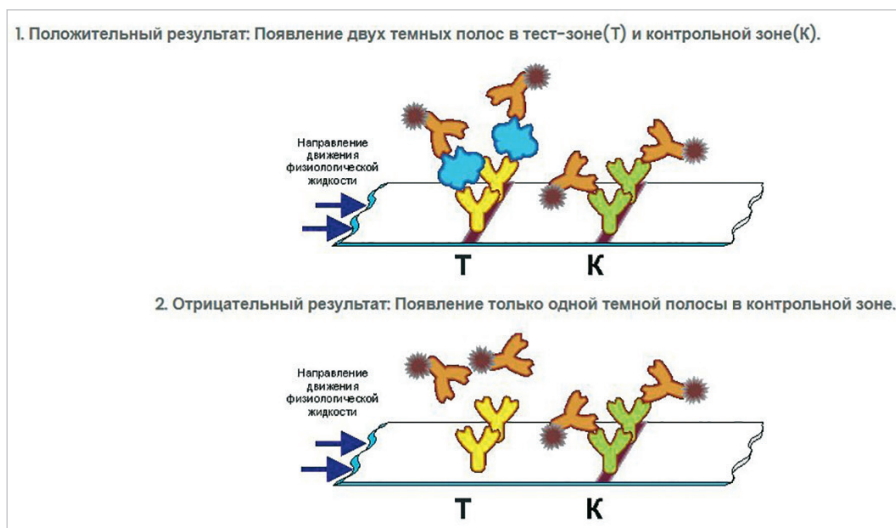


Рис. 6. Реакция по способу ИХА



Рис. 7. Детектор IONSCAN-400B

Таблица 1. Некоторые технические характеристики устройства IONSCAN-400B

Технология	Спектрометрия ионной подвижности (IMS)
Обнаруживаемые ВВ	Гексоген, пентрит, ТНТ, Semtex, нитрат аммония, НМХ, нитроглицерин, DNT, HMTD, TATP, Tetryl и др.
Обнаруживаемые наркотики	Кокаин, героин, ТНС (конопля), метамфетамин и др.
Время анализа	6–8 с
Время готовности из холодного старта	Менее 20 мин
Способ анализа пробы	Салфетка
Вес	22 кг
Габариты	40×34×32 см
Условия рабочей среды	0–40°С, влажность менее 95%
Электропитание	220 В, 50 Гц

Детектор для обнаружения наркотиков IONSCAN-400B (рис. 7) предназначен также для обнаружения ВВ. Используется технология спектрометрии ионной подвижности материи:

- взрывчатых веществ: гексоген, пентрит, ТНТ, Semtex, тетрил; нитраты, нитроглицерин, НМХ и т.д. (чувствительность – в области 1 пг);
- наркотиков: кокаин, героин, РСР, ТНС, метамфетамин, ЛСД, марихуана и т.д. (чувствительность – 1 нг, длительность анализа 6–8 с).

Характеристики устройства представлены в табл. 1.

IONSCAN-400B – настольный детектор следов ВВ и наркотических веществ, один из наиболее распространенных и надёжно работающих. Проба берётся с поверхностей (кожа рук, одежда, багаж и др.) путём протирки специальной салфеткой. Салфетка помещается в прибор и через 8 с результат анализа высвечивается на экране. На рис. 8 представлена иллюстрация

нов и др. Такие наборы предназначены для предварительной идентификации наркотических и сильнодействующих веществ во внелабораторных условиях, по способу применения можно их разделить на 3 основные группы: капельные, аэрозольные и ампульные.

Капельные тесты являются наиболее простыми в изготовлении и эксплуатации. Основаны на использовании химических реакций наркотических препаратов со специально подобранными реагентами с образованием окрашенных продуктов. Ампульные тесты являются наиболее распространённым в практике правоохранительных органов набором для выявления НС различных типов. Химическая реакция с образованием окрашенных продуктов происходит в полимерных контейнерах (пакетах или трубках) после помещения в них пробы, содержащей наркотик, и раздавливания стеклянной ампулы с реагентом. Общепринятым стандартом является комплект NIS фирмы «Бектон-Диниксон» (США). Аэрозольные химические тесты сочетают простоту и быстроту капельных реакций на фильтровальных бумагах, что особенно ценится в выездных условиях. Наиболее известны аэрозольные тесты для определения кокаина («Кокаспрей») и каннабиноидов («Каннабиаспрей») [6].

Химическое тестирование (иммунохимический анализ – ИХА) – способ определения низких концентраций веществ в биологических материалах. Соответственно, в данной области задействуют в основном биосенсоры. В отличие от рассмотренных выше, биодатчики (биосенсоры) значительно отлича-

ются, так как состоят из биологического компонента (клетки, фермента или антитела), соединённого с электронным преобразователем, передающим энергию в виде электрического тока. Это устройства-детекторы, действие которых основано на специфичности клеток и молекул, они используются для идентификации и измерения количества даже незначительных концентраций веществ, в том числе и взрывчатых.

К исследуемым материалам относятся цельная кровь, сыворотка или производные. ИХА – условно новый метод анализа, также обозначается как метод сухой иммунохимии, стрип-тест, QuikStrip cassette, QuikStrip dipstick, экспресс-тест или экспресс-анализ. У них есть общее: все методы ИХА основаны на реакции «антиген – антитело». Антиген – вещество, узнаваемое организмом как чужеродное, которое может запускать иммунную (защитную) реакцию. Антитела – белки, образующиеся клетками организма в ответ на внедрение антигена. Важны не термины, а то, что антитела могут специфически связываться с соответствующим ему антигеном. А метод основан на том, что при погружении теста в жидкость та начинает мигрировать вдоль полоски по принципу тонкослойной хроматографии. Вместе с жидкостью двигаются антитела с красителем (см. рис. 6). Примерно по тому же принципу работают тесты на беременность для женщин.

Однако этот способ нельзя вполне назвать «электронным», разве что в случаях, когда для анализа применяется электронное оборудование, пример которого представлен далее.



Рис. 8. Иллюстрация практического забора «пробы» салфеткой с рулевого колеса автомобиля



Рис. 11. Устройство Химэксперт-Т

практического забора пробы салфеткой с рулевого колеса автомобиля [13].

По той же аналогии можно «снять пробу» с любых предметов и даже документов. Для оперативного анализа есть переносные анализаторы, к примеру, «Йон-Т» (рис. 9).

Пробоотбор также возможен на тампоны на воздушный фильтр (при использовании ручного пробоотборника). Переключение режимов обнаружения (ВВ, НВ) требует нескольких секунд. IONSCAN-LS – прибор для поточного анализа подготовленных жидких проб. Оборудован авто-сэмплером. Модификация IONSCAN Document Scanner предназначена для обнаружения следов взрывчатых и наркотических веществ на документах. Условный аналог устройства российского производства – «Кербер-Д» (рис. 10).

Тестеры ИХА при высокой чувствительности обладают низкой селективностью и требуют дополнительного подтверждения положительного результата другими аналитическими методами. На практике используются в клинических или судебно-химических лабораториях как средство быстрого отбора среди большого количества образцов, требующих дальнейшего исследования.



Рис. 9. Электронный анализатор модели Йон-Т



Рис. 12. Устройство контроля в формате спектрометр плюс ноутбук с ПО

### Диагностика растворённых материалов

Примеры такого оборудования уместно рассмотреть на примере бесконтактного идентификатора токсичных материалов, биологических агентов и ВВ «Химэксперт-Т» с функцией романовского спектрального анализа. На рис. 11 представлено техническое средство досмотра, обеспечивающее оперативную идентификацию подозрительных предметов и веществ (включая опасные химические и биологические агенты и взрывчатые вещества), выявленных в личных вещах, багаже или ручной клади пассажиров при ручном досмотре или на рентгено-телевизионном оборудовании.

Устройство, разработанное отечественными специалистами, обеспечивает оперативную идентификацию химических и биологических агентов в жидком, твёрдом и сыпучем виде методом спектроскопии комбинационного рассеяния – без необходимости отбора проб и непосредственного контакта с веществом, в том числе через герметичный контейнер [11].

В принципе работы устройства заложен метод спектроскопии комбинационного рассеяния (романовский метод), ранее применявшийся только в условно сложном и громоздком электронном оборудовании. Лазерный луч,



Рис. 10. «Кербер-Д»

направленный в сторону тестируемого вещества, в том числе в жидкой форме и в прозрачной таре, возбуждает колебания молекул вещества. Частота колебаний уникальна почти для каждого химического соединения. Примерно так же – безошибочно – идентифицируют человека по индивидуальным свойствам его папиллярных линий (дактилоскопия) – как классическим способом сравнения отпечатков пальцев, так и более современным с применением электронного сканера-анализатора.

Спектрометр фиксирует эти колебания вещества, создаётся графика-диаграмма с выводом на дисплей и записью в память устройства, а электронный контроллер сравнивает полученные данные с образцами в базе данных – библиотеках ПО. Спектрометр выполняется в четырёх модельных версиях: прибор плюс ноутбук с ПО (рис. 12), переносное устройство, в формате встраиваемого моноблока и модуля стационарного монтажа.

Спектры комбинационного рассеяния света измеряют с использованием возбуждения на длине волны 1064 нм при выходной мощности лазера 495 мВт в геометрии обратного рассеяния на 180° и в спектральном рабочем диапазоне от 250 до 2500 см<sup>-1</sup> с разрешением 9,5 см<sup>-1</sup> (при 1296 нм).

### Практический пример

Устройство прошло обязательную сертификацию в ФСБ как лицензированное средство досмотра, в том числе для применения на объектах транспортной инфраструктуры согласно постановлению Правительства РФ от 26 сентября 2016 г. № 969 «Об утверждении требований к функциональным свойствам технических средств обеспечения транспортной безопас-

Таблица 2. Некоторые ТТХ «Химэксперт-Т»

Принцип действия	Спектроскопия комбинационного рассеяния (рамановская спектроскопия)
Объекты для анализа	Жидкости, порошки, твёрдые тела, в том числе в прозрачной упаковке
Проведение измерений	Без взаимодействия с веществом, в том числе сквозь герметичный контейнер
Время анализа, с	От 5 до 60
Режимы анализа	Простая идентификация веществ по базе данных; идентификация веществ по библиотекам запрещённых/разрешённых к проносу (ChemExpert-RSI)
Длина волны лазера, нм	532
Спектральное разрешение, см <sup>-1</sup>	5–8
Спектральный диапазон, см <sup>-1</sup>	100–4000
Мощность лазерного источника, не более, мВт	30
Сигнал оповещения о результатах идентификации	Отображение информации о результатах идентификации на встроенном дисплее; передача информации о результатах идентификации по проводному или беспроводному каналу связи (при наличии установленного соединения)
Интерфейсы	USB, Bluetooth, Ethernet, Wi-Fi
Время автономной работы, ч	До 8
Габаритные размеры (Д×Ш×В), мм	270×160×130
Вес, кг	3

ности и Правил обязательной сертификации технических средств обеспечения транспортной безопасности». На практике устройство применяют также в криминалистических лабораториях и даже в геологии. Многие задаются вопросом – почему пассажиров не пропускают на предполетном досмотре с водой и напитками? Почему такие же правила введены на входе в «важные» государственные учреждения, а также в здания судебной системы. Представим себе, что пассажир несет ёмкость с прозрачной жидкостью в пластиковой таре. Что в закрытой бутылке с прозрачной жидкостью – кислота, продукты жизнедеятельности человека, жидкость с ртутью или дистиллированная вода для автомобильной аккумуляторной батареи, спирт, токсичное, горючее, легковоспламеняющееся или взрывоопасное вещество, представляющее потенциальную угрозу? Для быстрого определения состава жидкости не помогает пока ни металл-детектор, ни рентгеновские интроскопы, ни обнаружители паров ВВ. Тем не менее представленный электронный прибор решает эту задачу – бесконтактным способом определяет широкий перечень веществ опасных классов и даже биологических объектов.

Особенности применения и идентифицируемые вещества: анализ без пробоподготовки и разрушения образцов, широкий спектр идентифицируемых веществ, возможность идентификации

веществ сквозь прозрачные и полупрозрачные преграды, низкая стоимость анализа.

Среди идентифицируемых веществ:

- опасные химические агенты (токсичные, ядовитые, отравляющие, химически активные вещества и пр.) – около 100 наименований;
- опасные биологические агенты (споры бактерий, биологические токсины и пр.) – около 20 наименований;
- взрывчатые вещества – около 100 наименований (включая 19 наименований жидких взрывчатых веществ);
- горючие и легковоспламеняющиеся вещества – около 50 наименований;
- наркотические средства, психотропные вещества и их прекурсоры – около 50 наименований;
- продукция химической и фармацевтической промышленности – более 10 000 наименований;
- вода, прохладительные напитки и алкоголь.

Библиотеки запрещённых и опасных веществ содержат:

- перечень веществ, в отношении которых установлен запрет или ограничение на перемещение в зону транспортной безопасности (утверждён приказом Министерства транспорта РФ от 23 июля 2015 г. № 227);
- вещества из Единого перечня товаров, к которым применяются запреты или ограничения на ввоз или вывоз Государственными участниками таможенного союза в рамках Евразийского экономического сообще-



Рис. 13. Иллюстрация работы устройства

ства (Приложение № 1 к Решению коллегии Евразийской экономической комиссии от 16 августа 2012 г. № 134);

- вещества из Перечня основных опасных веществ, запрещённых к перевозке на борту воздушного судна (РОС 9284 AN/905 ИКАО) [11].

Тактико-технические характеристики (ТТХ) устройства представлены в табл. 2.

На рис. 13 представлена иллюстрация работы устройства.

В этой связи интересны описания международной патентной заявки WO 90/07108, кл. G01N 21/65 и EP № 543578, кл. G01J 3/18. Описания свидетельствуют, что вещество типа Семтекс (Semtex) имеет два активных химических ингредиента: циклотриметилен-тринитрамин, или RDX, и пентаэритритол-тетранитрат, или PETN. Ряд исследователей ранее описывали рамановские спектры RDX и PETN и других ВВ, полученные с помощью рамановской спектроскопии, в частности в [12, 14]. В этой и других аналогичных по теме работах описываются условия для обнаружения взрывчатого материала в образце, в частности, детектор для рамановского спектрального анализа. Детектор для обнаружения рамановского рассеянного света регистрирует пики изменений среды в пределах от 400 до 3200 см<sup>-1</sup>, что даёт возможность обнаружения искомых веществ.

### Принцип действия

На сегодняшний день рамановская спектроскопия является общепринятой аналитической технологией и рекомендована к использованию в разных

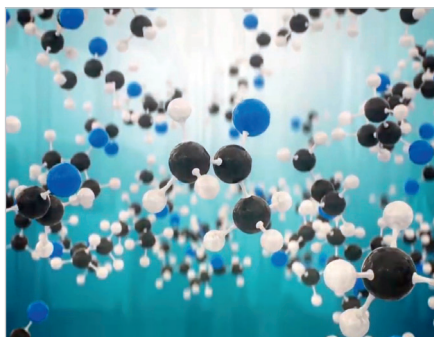


Рис. 14. Иллюстрация подвижности молекул в среде под воздействием импульса ионизации

областях диагностики – при контроле еды и медикаментов (FDA) и фармацевтеей (USP) для химической идентификации фармацевтических препаратов. Использование рамановской спектроскопии для идентификации НС в пределах возможностей современной электроники, поэтому технология хорошо подходит для использования сотрудниками правоохранительных органов и исследователями. Детектирование веществ с их последующей оперативной идентификацией основывается на ионной подвижности молекул в газовой среде при устойчивом атмосферном давлении. Источником ионизации является импульсный коронный разряд (рис. 14).

Принцип действия спектроанализаторов основан на «тушении» фотолюминесценции сенсорного материала в среде, где предполагаются пары взрывчатых веществ. Система состоит из группы датчиков (от 8 до 16, в зависимости от комплектации) с общим пультом управления. Каждый датчик самостоятельно производит определение ВВ и посылает информацию на пульт управления (рис. 15).

Материал, собранный в контейнер, анализируется в стационарных установках, таких как Шельф-ТИ, ГК-Вектор, Сегмент-Гамма и аналогичных. На рис. 16 представлена иллюстрация такого анализа с помощью стационарной установки.

### Технические средства обнаружения НС, приборы и принцип действия

Спектроанализатор i-Raman EX компании B&W Tek с термоэлектрически охлаждаемым InGaAs (рис. 17) предназначен для обнаружения паров ВВ при оперативном обследовании различных объектов, в том числе и в полевых условиях.



Рис. 15. Иллюстрация датчиков ВВ и вид основного блока детектора Nitroscan

Применяется для обнаружения и идентификации типа ВВ при обеспечении безопасности воздушного, автомобильного, водного и железнодорожного транспорта, производственных предприятий, банков, офисов и жилых помещений. У данного устройства несколько особенностей. После включения автоматически калибруется 6–10 с и переходит в режим тестирования-обнаружения. Встроенный электрический насос, постоянно прокачивая воздух, отбирает пробы на расстоянии 10 см от обследуемого объекта. На наличие ВВ указывают световой и звуковой сигналы. Частота звукового сигнала возрастает с увеличением концентрации паров ВВ. Изделие снабжено ЖК-дисплеем для вывода наглядной и верифицируемой информации о состоянии прибора и исследуемого объекта – обеспечен результат тестирования, вывод на экран сообщения о типе ВВ. ЖКИ также информативен и полезен для проверки и настройки прибора, когда нет возможности подключить детектор к ПК. Поскольку конструкция предусматривает систему автокалибровки, изменение влажности среды либо температуры воздуха не оказывает влияния на процесс анализа.

Детектор оптоволоконной рамановской системы 1064 нм состоит из 512 элементов и волоконно-оптического зонда, подключённого к держателю виал NR-LVH. Образцы водного полимера (≈10–20 весовых % твёрдых веществ) заливают в виалы из боросиликатного стекла с завинчивающей-



Рис. 16. Анализ материала в контейнере с помощью стационарного спектроанализатора

ся крышкой (высота 4,5 см, внешний диаметр 1,5 см, внутренний диаметр 1,1 см). Сбор данных производится с использованием ПО BWSpec (с функцией вычитания темного спектра). Измерения производятся по времени интегрирования 500 мс, общее время измерения 5 минут. Конструкция устройства пробоотбора исключает «эффект памяти» при обнаружении взрывчатого вещества. Тип обнаруживаемых ВВ: ТНТ, НГ, ЭГДН, гексоген, октоген, семтекс.

Процедуру поиска ВВ и ПН можно повторять с частотой 50 Гц, смещая точку облучения исследуемой зоны и осуществляя таким образом режим сканирующего обследования. Ещё одно преимущество в том, что в качестве зондирующего излучения, так и носителя полезного сигнала используются гамма-кванты, обладающие высокой проникающей способностью, это позволяет обнаруживать ВВ и ПН в сокрытом веществе и на значительной глубине.

### Детектор ВВ МО-2М

Детектор ВВ МО-2М относится к устройствам для обнаружения и контроля лекарственных, наркотических, токсичных и взрывчатых веществ на образце и может быть применён для исследования образцов в области материаловедения, нанотехнологий, археологии, судебной медицины и др. Устройство содержит источник света, фокусирующее устройство, для освещения образца – детектор для обнаружения рамановского рассеянного света, полученного от образца, в котором между образцом и детектором размещён узкополосный фильтр, пропускающий к детектору свет в узкой полосе, в области фокуса фокусирующей системы перпендикулярно оптической оси



Рис. 17. Спектроанализатор i-Raman EX компании B&W Tek

фокусирующей системы размещена по крайней мере одна диэлектрическая частица, формирующая непосредственно на теневой стороне фотонную струю с пространственным разрешением, превышающим дифракционный предел.

Диэлектрическая частица выполнена в виде монослоя частиц. Фокусирующее устройство содержит линзу, приспособленную для получения от источника света линейного фокуса света поперек образца. Характерный размер диэлектрической частицы выбирают не менее максимальной длины волны рамановского спектра искомого вещества и не более поперечного сечения области фокусировки фокусирующей системы.

Приведенное на рис. 18 самодельное устройство в лабораторных условиях не испытывалось, обладает недостаточной чувствительностью. Тем не менее мы показали, что даже вне лаборатории можно сделать детектор-анализатор, подобный рассмотренному выше на примере МО-2М. Принцип действия также связан с спектральным сканированием с помощью ИК-лучей и лазерного пучка, но на самодельном устройстве крайне упрощён.

Анализ основан на попадании в воду частиц НС или ВВ (обе категории тяжелее воды и оседают на дно, а органические вещества растворяются и изменяют состав и прозрачность жидкости). Попадание частиц происходит после того, как палец руки опускают в резервуар с жидкостью на 2-3 минуты. За неимением в авторском арсенале соответствующих НС и ВВ опыт был поставлен на мельчайших частицах металла. Его пылинки осели на коже руки после производства работ ножовкой по металлу – при отрезании металлического профиля.



Рис. 18. Устройство, созданное и испытанное автором в домашних условиях по аналогии с детектором МО-2М

Даже простое устройство их зафиксировало.

С помощью двух модулей – передатчика и приёмника ИК-спектра можно самостоятельно изготовить простой спектроанализатор и условно определять примеси в жидкости. Для этого модули устройства устанавливают на твёрдой поверхности соосно – точно друг напротив друга, между ними устанавливают прозрачный сосуд с жидкостью – дистиллированной водой. Изменение «прозрачности» определяют на индикаторе – им может служить любой подходящий тестер с цифровой «шкалой». Тестер подключается к выходному каскаду приёмного модуля и определяет колебания напряжения на шунтирующем (выходного каскада) резисторе. Соответственно калибровка самодельного устройства производится непосредственно перед испытанием (анализом). На качество измерений влияет как чистота «эталонной» жидкости, стенка тары, так и (косвенно) освещённость интерьеров. Поэтому этот способ приводится как иллюстрация принципа действия профессиональных приборов. Для повышения чувствительности применяют фокусировку излучения на образце с помощью линз. Область фокусировки излучения микрообъектива имеет вид эллипсоида вращения. Минимальный размер поперечной оси эллипсоида вращения на уровне половинной мощности для идеальной безаберрационной линзы равен  $1,22\lambda F/D$ , где  $\lambda$  – длина волны используемого излучения,  $F$  – расстояние от линзы до области фокусировки и  $D$  – размер апертуры линзы. Размер продольной полуоси эллипсоида  $8\lambda(F/D)$ . Подробно о настройке оптики в [2].



Рис. 19. Забор биоматериала для диагностики с помощью устройства контроля Dräger DrugTest 5000



Рис. 20. Иллюстрация практического контроля на пограничном пункте пропуска на границе России и Финляндии

### Приборы неинвазивного контроля: Dräger DrugTest 5000

Тест-комплект Dräger DrugTest 5000 предназначен для использования в составе системы тестирования вместе с анализатором наркотических средств и психотропных веществ в жидкости полости рта Dräger DrugTest 5000. Конструкция устройства обеспечивает контроль отбора необходимого объёма пробы слюны, а также взаимодействие между пробой слюны и реагентами, нанесёнными на тест-полоски, расположенные внутри тестовой кассеты. Прибор служит для одновременного обнаружения в жидкости полости рта (слюне) человека наркотических средств, психотропных веществ следующих групп: опиаты, каннабиноиды, кокаин, амфетамин, метамфетамин, бензодиазепины в целях качественной и безошибочной диагностики. Неинвазивная и гигиеничная процедура отбора пробы слюны происходит с помощью специального переходника для забора материала; иллюстрация представлена на рис. 19 и рис. 20.

Оптоэлектронная аналитическая система для обнаружения наркотических средств и психотропных веществ в организме человека состоит из двух элементов – тестового ком-





Рис. 21. Компактный анализатор TacticID-GP Plus производства компании B&WТек

плекта Drager DrugTest 5000 Test-Kit для сбора пробы ротовой жидкости и анализатора Drager DrugTest 5000 Analyzer, осуществляющего обработку пробы, вывод и хранение в памяти устройства результатов теста. Диагностический процесс с одновременным анализом по 6 видам веществ и их метаболитов (опиаты, кокаин, каннабиноиды, амфетамин, метамфетамин и бензодиазепины) занимает примерно 10-12 минут. Установленные уровни пороговых значений концентраций (Cut-Off) для исследуемых групп наркотических средств и психотропных веществ представлены в табл. 3.

Немаловажным фактором является возможность ошибок или ложноположительных результатов при тестировании. В табл. 4 представлены некоторые данные относительно обнаружения НС.

Описание тестов доступно в [7]. Среди этих названий встречаются вполне «аптечные» препараты, и тут нужно вспомнить истину о том, что лекарство от яда отличается только дозой и применением.

Технические характеристики устройства представлены в табл. 5.

### Компактный анализатор TacticID-GP Plus

Компактный анализатор TacticID-GP Plus производства компании B&WТек предназначен для бесконтактной судебно-медицинской экс-

Таблица 3. Установленные уровни пороговых значений концентраций (Cut-Off) некоторых групп наркотических средств

Наркотическое средство (НС)	Калибратор	Значение минимальной концентрации для анализа
Кокаин, СОС	Кокаин	20
Опиаты, ОПИ	Морфин	20
Бензодиазепин, BENZ	Диазепам	15
Каннабиноид, ТНС	Delta-9-ТНС	25
Амфетамин, АМР	D-Амфетамин	50
Метамфетамин, МАМР	D-Метамфетамин	35

Таблица 4. Процент ложноположительных результатов при тестировании соответствующих веществ НС

Наименование НС	Условное количество	Процент
Героин	Нет данных	
Морфин		
Промедол		
Барбитураты	1	0,4
Дионин	1	0,4
Кодеин	1	0,4
ЛСД	1	0,4
Мескалин	1	0,4
Трамал	1	0,4
Фенциклидин	1	0,4
Димедрол	2	0,7
Метаквалон	2	0,7
Эфедрин	2	0,7
Барбитураты	1	0,4
Метадон	3	1,1
Амфетамины АМР	4	1,4
Апрофен	5	1,8
Бупренорфин	5	1,8
Циклодол	5	1,8
Крэк	6	2,1
Кокаин СОСВ, СОС	9	3,2

Таблица 5. Некоторые технические характеристики устройства Drager DrugTest 5000

Параметр	Значение
Габаритные размеры встраиваемого модуля, мм, не более	350×210×220
Масса встраиваемого модуля, кг, не более	5
Предел обнаружения по ТНТ при температуре от +17 до +23°C и относительной влажности от 20 до 60 %, г, не более	2×10 <sup>-8</sup>
Время очистки устройства отбора пробы при попадании на него большого количества ВВ, мин, не более	2
Время установления рабочего режима, мин, не более	20
Время измерения, с, не более	4
Режим работы	Непрерывный, круглосуточный
Компьютерные интерфейсы связи	Ethernet (TCP/IP), USB, «сухой контакт»

пертизы и обеспечивает в реальном времени идентификацию химических веществ, взрывчатых веществ, наркотических средств способом бесконтактного анализа. Принцип действия прибора

основан на использовании комбинационного рассеяния света с последующим высокоточным анализом смесей за счёт использования хемометрических алгоритмов. На рис. 21 представ-



Рис. 23. Пример контроля почтовой корреспонденции с помощью TacticID-GP Plus



Рис. 24. Пример контроля «закрытых мест»

лен внешний вид компактного анализатора TacticID-GP Plus производства B&WTeK.

Некоторые технические характеристики:

- длина волны возбуждения/мощность: 785 нм/макс / 300 мВт (регулируется программным способом с шагом 10%);
- спектральный диапазон/разрешение: 176–2900 см<sup>-1</sup> / ≈ 9 см<sup>-1</sup> на 912 нм;
- имеет ПЗС-линейку;
- в библиотеке для определения более 10 000 опасных, НС, химических и ВВ;
- степень защиты прибора IP65;
- результат исследования: совпадение/несовпадение (HQI).

Анализ смеси обеспечивается встроенной видеочкамерой условным разрешением 12 мп, с выводом светокодированного результата на дисплей. Встроенная камера позволяет сделать фотографии исследуемых веществ, которые затем включают в финальный отчёт. Защищённая коммуникация обеспечивается хранением данных, отправкой результатов, обновлением ПО и библиотек и осуществляется через USB и/или беспроводное Wi-Fi или Bluetooth-соединение. Экран прибора сигнализирует красным, жёлтым или зелёным цветом после сканирования, таково предупреждение об опасности/безопасности исследуемого вещества. А также отображается информация о веществе согласно GHS и NFPA704 нормативам классификации. Принцип работы TacticID-GP Plus основан на использовании комбинационного рассеяния света, что позволяет в реальном времени проводить идентификацию неизвестных химических веществ, ВВ, НС и других веществ, не ставя под угрозу целостность образца или цепь дока-

зательств. TacticID-GP Plus оснащён комплексной библиотекой со спектрами более 10 000 веществ [10]. Есть возможность создания новых библиотек для стандартных измерений и для измерений методом SERS. Несомненная польза бесконтактного неразрушающего анализа в том, что есть возможность сканирования непосредственно через пластик, бутылки и другие упаковочные материалы, в том числе непрозрачные (рис. 22).

По тому же принципу работают стационарные спектроанализаторы типа IONSAN400, Лиг-1, След, Safran и др. И переносные модели Drager5000, EDV3000, MMTD, Sabre5000 (и др.), и отечественные разработки N2200, Заслон-М, и многие другие. На рис. 23 представлена иллюстрация сканирования «закрытых мест» на предмет обнаружения следов ВВ и НС посредством спектроанализатора Sabre5000.

### Обнаружат даже в канализации...

Что касается чувствительности современных электронных датчиков, есть примеры контроля опасных средств даже в больших объёмах жидкости (потока) с существенным влиянием сторонних загрязнений. Такие устройства распознают признаки производства наркотиков даже в сточных водах. В РЭА специального назначения, такой как «Нитроскан-модуль», система стационарных датчиков уверенно обеспечивает обнаружение частиц и производных амфетамина [5].

Устройство апробировано с установкой в канализационных трубах для непрерывного мониторинга сточных вод. Работает система следующим образом. Принцип реакции полимера основан на технологии молекулярных отпечатков. Молекулы полимера

реагируют только на молекулы вещества, выделяющиеся при производстве синтетических наркотиков. Для производства амфетамина в подпольных лабораториях типично используется химическая реакция, получившая название синтеза Лейкарта. После нескольких последовательных химических операций в соль амфетамина добавляется щелочное соединение. Это приводит к образованию свободного основания амфетамина, которое можно транспортировать и применять для дальнейшего производства НС. Отходы реакции Лейкарта содержат специфические маркеры, указывающие на синтез амфетамина. Для их идентификации разработали химические датчики с полимерной основой. Полимер, установленный на позолоченные электроды для оптимального контакта и улучшенной токопроводимости в электрической цепи с крайне малым уровнем сигнала, используется в качестве распознающего бензилметилкетон (БМК) элемента в ёмкостном датчике. Это успешно проверили в ходе испытаний в канализационной системе Берлина [5, 7].

### Особенности электронных датчиков для разных сред

Применяемые в спектрометрах для обнаружения и контроля ВВ и НС электронные датчики среды можно условно разделить на полупроводниковые и электрохимические. Помимо спектрального анализа с помощью ИК-сканирования (полупроводниковые датчики) «на просвет», в РЭА специального назначения применяются датчики газов, реагирующие на опасную среду. Такой средой является не только «угарный газ» как продукт распада деревянных заготовок (к примеру, датчик МР-7), к приме-



Рис. 24. Цифровой датчик горючих газов ZM02

ру, русской печи в бане и сауне, но и всевозможные виды газообразных сред – от топливного газа в автомобилях до природного газа. Датчики ME-3, ME-4, MH440D, MH742B, ZC13, MQ-2B, MQ-8, MP-5, MP-7, MC101-106 и модули типа ZP05, ZP06, ZP13 реализованы по принципу полупроводниковой технологии с обязательной термостабилизацией, их также характеризуют высокая чувствительность, широкий диапазон входного напряжения, защита от помех, стабильность работы и ударопрочность, короткое время отклика, менее 30 с, и малые размеры как датчиков, так и модулей на их основе. Причём модули типа ZP06-ZP11 и аналогичные имеют широкий диапазон обнаружения: 1~25% НПВ, а также являются универсальным средством для подключения в устройствах с большой функциональностью, предназначенных для комплексных измерений. Разъёмы и платы таких модулей унифицированы. Это позволяет отечественным разработчикам в течение нескольких лет создавать новые РЭА-устройства для диагностики, обнаружения и контроля сред – под российской маркой, при этом датчики, платы и модули применяются китайские.

Диагностика газообразных сред имеет свои особенности. Обладая высокой чувствительностью, быстродействием и избирательностью, электронные датчики в комплексном взаимодействии способны обнаружить ВВ и НС, скрытые различными веществами значительной толщины (к примеру, сумки, тара), что связано со специфическими процессами взаимодействия вторичного излучения с веществом. С вероятностью более 99%

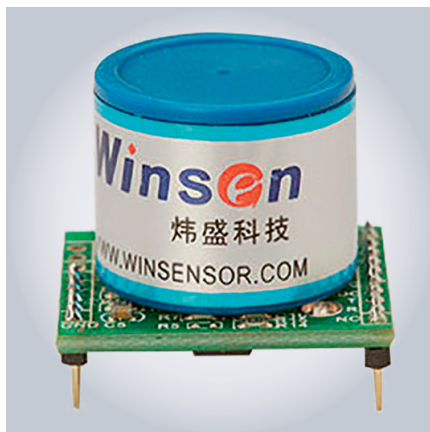


Рис. 25. Электрохимический модуль H2 ZE07-H2

могут быть обнаружены 10 г ТНТ и 50 г героина, скрытые под 30 мм стали, 20 см воды или 10 см бетона при большой скорости обработки среднего багажа (100×70×30 см), менее 10 секунд на каждый предмет и площади досмотра 1000 см<sup>2</sup> при диаметре гамма-пучка сканирующего воздействия всего 5 см. Для технологии MEMS представлен цифровой датчик горючих газов ZM02 со сверхнизким энергопотреблением, быстрым откликом, высокой чувствительностью и готовностью к работе после подключения питания (рис. 24).

Почти аналогичен по техническим характеристикам и форм-фактору датчик модели GM-402B MEMS. Электрохимический настраиваемый модуль H2 ZE07-H2 (рис. 25) применяется для обнаружения газа в диапазоне 0–30 000 ppm, имеет выход питания UART (электрический уровень 3V-TTL), аналоговый выход и ЦАП (стандартное выходное напряжение 0,4–2 В). Обеспечивает разрешение 50 ppm и время отклика ≤ 60 с. Время прогрева после подачи питания до готовности ≤ 3 мин. Температурный режим устойчивой работы в диапазоне –10...+55°С. Режим влажности в диапазоне 15–90% относительной влажности. Срок службы 3–5 лет. Модуль применяется в комплексе с другими датчиками типового ряда ZE в описанных выше устройствах – для бесконтактного обнаружения запахов пороха, продуктов горения, реагирует на алкогольные пары и водород.

### Выводы

Применяемые сегодня биосенсоры для определения биологически активных веществ, влияющих

на физическое состояние человека, специфичны и чувствительны, но склонны к потере функциональности в условиях окружающей среды. Несмотря на то что инновационный подход в создании датчиков обнаружения НС и ВВ обозначился ещё в первые годы XXI века, способ обнаружения бензилметилкетона в водных средах с применением технологии молекулярных отпечатков можно назвать перспективным. Так выявляют не только бензилметилкетон, исходное соединение в синтезе амфетамина и метамфетамина, но и амфетамины, синтезированные из эфедрина и его аналогов и замещённых нитростиролов. В целом же для обнаружения наркотических прекурсоров по этому методу подходят полимеры на основе других мономеров и линкеров. Важно и то, что для обнаружения каждого конкретного вещества нужен индивидуальный полимер к датчику.

Технология определения ВВ позволяет производить замеры как в помещениях, так и на открытом воздухе, при соблюдении температурных режимов, указанных в технических характеристиках РЭА специального назначения. Рабочий диапазон концентрации пока находится в пределах 50–1000 мкм, это невысокий – относительно требований времени – показатель для обнаружения целевых соединений в открытой среде и, в частности, в сточных водах. Но чувствительность датчика относительно невысока, составляет около 0,1 мг для ячейки объёмом 250 мкл, а это ограничивает применение диагностической РЭА для разбавленных водных растворов. Отсюда общее направление для совершенствования датчиков и модулей на их основе – расширение чувствительности до относительно слабой концентрации частиц с целью их обнаружения.

Рамановская микроскопия как метод анализа тонких шлифов в минералогии и геологии позволяет преодолеть проблемы оптической идентификации, возникающие при анализе мелкозернистых включений (размерами менее 100 мкм), а также при измерении непрозрачных минеральных фаз. А также для идентификации микропластика, извлечённого из поверхностных вод эстуария. Открыты перспективы электронной диагностики материалов в музейном

деле и коллекционировании артефактов: для определения подлинности и состава красителей в почтовых марках 1885 года результативно использовался портативный спектрометр i-Raman EX (рамановского спектроанализа). Теперь новейшие разработки направлены на снижение влияния флуоресценции при анализе материалов, получаемых из растительных компонентов, для достижения их быстрой и точной верификации при входном контроле поступающего сырья. Для этого достигнуты положительные результаты в тестировании РЭА с ИК-системой диагностики ВВ и НС – при изменении длины волны к 1064 нм относительно 785 нм – ранее. Таким образом, создаются новые модели электронных сканеров для обнаружения НС и ВВ при том же, открытом ранее, принципе рамановского спектрального анализа. Совершенствование РЭА в рассмотренной области связано с изменением технических характеристик и с интегрированием в одно устройство нескольких дополнительных функций для полного и точного определения угрозы комплексным методом.

## Литература

1. *Беляев И.Ю.* Проблема систем контроля за незаконным оборотом наркотических средств и психотропных веществ // Вопросы безопасности. 2022. № 1. С. 35–47. URL: [https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=37626](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=37626).
2. *Борн М., Вольф Э.* Основы оптики. Изд. 2-е / пер. с англ. М.: Наука, 1973.
3. Всемирный доклад о наркотиках – 2021 // URL: [https://www.unodc.org/res/wdr2021/field/V2104297\\_russian.pdf](https://www.unodc.org/res/wdr2021/field/V2104297_russian.pdf).
4. Встраиваемый детектор ВВ и НС «КЕРБЕР-СТ» // URL: <https://www.analizator.ru/production/ims/kerber-st/>.
5. *Грищенко Д.* Не в кайф: учёные создали датчики для поиска наркотиков в сточных водах // URL: <https://iz.ru/1099619/denis-gritsenko/ne-v-kaif-uchenye-sozdali-datchiki-dlia-poiska-narkotikov-v-stochnykh-vodakh>.
6. Детекторы наркотиков // URL: <https://divecon.net/catalog/detektory-narkotikov/>.
7. Описание некоторых тестов // URL: <http://progbio.ru/ForSpeshial.htm>.
8. Патент РФ № RU194268U1. Детектор для обнаружения и контроля лекарственных, наркотических и токсических средств // URL: [https://yandex.ru/patents/doc/RU194268U1\\_20191204](https://yandex.ru/patents/doc/RU194268U1_20191204).
9. Прибор для обнаружения и идентификации взрывчатых веществ, наркотиков, боевых отравляющих веществ и токсичных отходов MMTD // URL: <http://www.bnti.ru/des.asp?itm=4958&tbl=03.05.01.&p=1>.
10. Портативный рамановский спектрометр TacticID для идентификации наркотических веществ // URL: <https://www.czl.ru/blog/raman-spectroscopy/raman-spectrometer-tacticid-for-narcotics-identification.html>.
11. ПРС «ХимЭксперт-Т» // URL: <https://khimexpert.com/product/prs-himekspert-t/>.
12. Рамановская спектроскопия (спектроскопия комбинационного рассеяния) // URL: <https://www.czl.ru/blog/raman-spectroscopy/>.
13. Техника для спецслужб. Бюро научно-технической информации // URL: <http://www.bnti.ru/des.asp?itm=4494&tbl=03.06>.
14. *Botti S., Almagiva S., Cantarini L., Palucci A., Puiu A. and Rufoloni A.* Trace level detection and identification of nitro-based explosives by surface-enhanced Raman spectroscopy // J. Raman Spectrosc. 2013. Pp. 44, 463–468.





# ЭРКОН

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ



**ПРОИЗВОДСТВО, РАЗРАБОТКА И ПОСТАВКА ПОСТОЯННЫХ РЕЗИСТОРОВ, АТТЕНУАТОРОВ И ЧИП-ИНДУКТИВНОСТЕЙ**

- Современная производственная база
- Высокое качество
- Индивидуальный подход к потребителю
- Изделия по вашему ТЗ

**НОВИНКИ**

Эквиваленты нагрузок ПР1-24 (от 50 Вт-2000 Вт)  
 Аттenuаторы ПР1-25 (от 50 Вт - 2000 Вт)  
 ТПИ - тепловые чип-перемычки  
 СВЧ-резисторы Р1-160 (до 40 ГГц)  
 Мощные СВЧ-резисторы Р1-170 (до 1000 Вт)  
 Силовые резисторы Р1-150М (до 1500 В)

603104, Г. Нижний Новгород, ул. Нартова, д.6.  
 тел. : 8 (831) 202 - 24 - 34 (многоканальный)  
 8 (831) 202 - 25 - 52 (отдел продаж)  
 E-mail: [gr@erkon-nn.ru](mailto:gr@erkon-nn.ru)  
[www.erkon-nn.ru](http://www.erkon-nn.ru)

Реклама