

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ СКРЫТЫХ ПУСТОТ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ

1 Введение

В различных сферах деятельности человека (строительство, гуманитарное разминирование, геология, силовые структуры и т.д.) очень часто возникают задачи, связанные с поиском объектов в укрывающих средах. На данный момент эти задачи решаются приборами, основанными на различных физических принципах, но, как показывает практика, эти приборы, обычно, узкоспецифичны и неспособны решать широкий круг задач. Отсюда несомненная актуальность задачи создания универсального приборного обеспечения для интроскопии движущихся и неподвижных объектов.

Принцип работы поисковой техники основан на обнаружении объектов по каким-либо физическим параметрам отличающихся от параметров укрывающей их среды. В качестве объектов, которые обнаруживаются поисковыми приборами, могут выступать тайники в различных средах, наркотические и взрывчатые вещества, изделия из черных и цветных металлов. Широкий набор поисковых средств вызван достаточно большим разнообразием предметов, представляющих интерес, а также видов укрывающих сред (эти предметы могут быть спрятаны в земле, воде, в стенах зданий, вещах, мебели и даже на теле человека).

Цель исследования – исследование методов контроля скрытых пустот различными способами.

Задачами данного исследования является анализ укрывающих сред и предметов сокрытия, анализ существующих методов поиска объектов в укрывающих средах, анализ существующего приборного обеспечения для решения этих задач, формирование основных требований к современному прибору, решающему широкий круг задач методом неразрушающего контроля.

2 Анализ укрывающих сред (наиболее вероятных мест несанкционированных закладок) и предметов сокрытия

Рассмотрим наиболее часто встречаемые места закладок на транспорте. В автомобильном транспорте (легковые, грузовые автомобили и автобусы) есть очень много мест, где можно спрятать от глаз таможенного инспектора тот или иной предмет, а именно: колеса, естественные (технологические) и искусственные полости кузова, двери, бампер, крылья и подкрылки, бензобак, радиатор, фары и т.д. В практике таможенного досмотра нередко встречается даже установка лишних выхлопных систем, предназначенных для сокрытия предметов контрабанды, а также емкости с двойным дном [1].

© А.В. Калюжный, 2007

В железнодорожном транспорте встречаются много технологических полостей (аккумуляторные ящики, ящики с электрооборудованием и т.д.), в которых нередко можно найти предметы, которые там быть не должны. Внутреннее устройство различных типов вагонов позволяет прятать предметы за обшивкой, в трубах систем вентиляции и отопления, в тамбурах, туалетах, люках межпотолочного пространства и т.д.[2].

Чем сложнее в устройстве транспортное средство, тем больше мест, где можно прятать контрабанду. Так, при досмотрах воздушных судов особое внимание следует уделять практически всем, без исключения, узлам, механизмам и помещениям. Досмотру подлежат технические отделы самолета, сливные и заправочные системы, отсеки для шасси, крылья и двигатели самолета, кабина экипажа, буфеты, туалеты, тамбуры, пассажирский салон, не говоря уже о более мелких узлах и механизмах [3].

Морские и речные транспортные средства можно сравнить с большим домом, с множеством жилых комнат, грузовых отсеков и отделений для силовых установок. Здесь места сокрытия контрабанды ограничиваются только воображением контрабандиста. Контрабанду могут прятать в вентиляционных шахтах и воздуховодах, трубках и шлангах, в баках с горючим, грузы подвешивают или устанавливают на плавучие платформы, затаплавляют с помощью грузов, крепят к потолку и стенам в труднодоступных местах, прячут в сыпучих материалах и за переборками [4].

В качестве материалов преград, за которыми могут быть укрыты несанкционированные вложения, чаще всего встречаются металлы, пластик, дерево, элементы строительных конструкций, различные сыпучие материалы и жидкости. Размеры этих преград могут варьироваться в широких пределах (до 10 мм для преград из стали, до 25 мм для преград из алюминия и пластика, до 100 мм для преград из дерева, до 500 мм для преград из бетона, до 1000 мм при поисках закладок в жидкостях и сыпучих материалах).

В качестве предметов контрабанды чаще всего встречаются наркотики (органического и синтетического происхождения), оружие (пистолеты, автоматы, патроны и различного рода комплектующие для них), радиоактивные материалы (делящиеся материалы и источники ионизирующего излучения), взрывчатые вещества (ТНТ, гексоген, С4, различные соли селитры и т.д.), драгоценные металлы (изделия) и их руды (соединения) (золото, платина, серебро, рутений, родий, палладий, осмий, иридий и т.д.), драгоценные камни (бриллианты, алмазы и т.д.), деньги, различные материальные ценности и электронная аппаратура.

Объем закладок может колебаться от 0.03 дм³ (объем спичечного коробка) и до 400 дм³ (объем бензобака грузового автомобиля).

3 Анализ методов и способов поиска объектов в укрывающих средах

В настоящее время существует много способов поиска объектов за различными преградами, такие как: ультразвуковые толщиномеры и пло-

тномеры, георадары, радиолокаторы, миноискатели, тепловизоры, рентгенотелевизионные установки, детекторы контрабанды и т.д. Все они обладают своими достоинствами и недостатками.

Проведем краткий сравнительный анализ выше перечисленных способов применительно к решению задач поиска объектов в укрывающих средах:

– ультразвуковые толщиномеры и плотномеры отличаются высокой разрешающей способностью, но их основным недостатком является то, что они не способны обнаружить объект за преградой, если между объектом и преградой есть, например, воздушная прослойка, что ведет к затуханию зондирующего сигнала.

– электромагнитный метод в большинстве случаев используется для поиска объектов с хорошей электропроводностью (в основном металлы), поэтому поиск предметов за металлическими преградами будет очень затруднен, а порой и невозможен.

– особенностью применения тепловизоров является то, что для нормального функционирования установки требуется градиент температур, т.е. исследуемую среду необходимо будет подогревать либо охлаждать.

– рентгенотелевизионный анализ хорошо подходит для решения задач поиска объектов в укрывающих средах и обладает большой разрешающей способностью, но его основным недостатком являются большие массо-габаритные показатели и низкая мобильность.

– нелинейный радиолокатор – это очень эффективная, универсальная и простая в эксплуатации поисковая аппаратура. Нелинейный радиолокатор – своего рода индикатор полупроводниковых приборов: он позволяет обнаружить нелегально размещенные радиоэлектронные устройства любого назначения, причем как работающие, так и “спящие”, но это относится только к объектам, в которых есть наличие контакта металл-металл, что является недостатком.

– ядерно-квадрупольный резонанс с успехом решает задачи бесконтактного обнаружения герметически упакованных взрывчатых веществ и наркотиков и обладает рядом присущих только ЯКР методу преимуществ, но элементарное экранирование может поставить непреодолимую преграду обнаружению несанкционированных вложений в различные полости.

– гамма-излучение обладает большой проникающей способностью и аппаратура, основанная на обратно рассеянном гамма-излучении, пока остается наиболее универсальным средством для выявления различных опасных вложений в ручной клади, багаже, транспортных средствах, тайниках и даже на теле человека. Среди недостатков данного метода можно выделить только наличие источника ионизирующего излучения в приборе, но этот вопрос решается применением различных поглощающих материалов.

В таблице 1 показан обзор основных методов решения задач поиска объектов в укрывающих средах. Оценку будем проводить по следующим параметрам: назначение, чувствительность, глубина сканирования.

На основании данных таблицы 1 можно утверждать, что для решения задач контроля скрытых пустот методом неразрушающего контроля наиболее приемлемыми являются методы, использующие источники ионизирующего излучения (ИИИ), поскольку исследуемые конструкции могут изготавливаться из различных материалов (дерево, пластик, строительные конструкции, металл и многое другое).

Таблица 1

Анализ методов поиска объектов в укрывающих средах.

Метод	Назначение	Параметр		Реальные приборы
		Чувствительность	Глубина сканирования	
Ультразвуковой	Измерение толщины различных изделий из металлов и неметаллов, включая изделия, доступ к которым имеется только с одной стороны.	0.1 мм (ТУЗ-3-5) 0.01 мм (Ультратест-Т)	1...200 мм (ТУЗ-3-5) 1...300 мм (Ультратест-Т)	ТУЗ-3-5, Россия [5], Ультратест-Т, Украина [6], SONIC-35, США [7]
Электромагнитный	Поиск скрытых под землей труб, кабелей, коммуникаций, арматуры, электропроводки, пустот и каких-либо предметов внутри стен зданий; -определения толщины кирпичных и бетонных стен; - обнаружения естественных и антропогенных подпочвенных пустот.	0.35м (“Око-М1”) ПТМ с металлическим корпусом на глубине до 1200 мм, ПТМ с неметаллическим корпусом на глубине до 350 мм (“Медуза”)	6-12м (“Око-М1”)	Радиолокатор “Раскан-4” Россия [8], селективный индукционный мнимо-сканер “Медуза” [9], ГЕОРАДАР “Око-М1”, Россия [9]
Тепловой	Решение поисковых задач, дистанционная диагностика различных материалов и изделий	0.1С (Thermovision 550), 0.1С (Thermo Tracer TH5104), 0.05С (Иригс-200)	Н/д	Thermovision 550, Швеция, Thermo Tracer TH5104, Япония, Иригс-200, Россия [10]
Рентгено-телевизионный	Проверка грузов на наличие запрещенных веществ (наркотики, оружие, ВВ, драгоценные металлы)	0.15 мм медная нелуженая проволока (Надзор-2М), 0.1 мм по проволоке (УРД “Эксперт”)	Н/д	Надзор-2М [11], УРД “Эксперт” [12], Россия
Нелинейная радиолокация	Поиск различных радиоуправляемых устройств и устройств промышленного шпионажа, стрелкового оружия, обломки самолетов и вертолетов, переносные радиостанции (в том числе и выключенные) и т.д.	Н/д	Н/д	“Онега2”, “Энвис”, “Родник 25”, Россия, “NR 900 E”, METTRA, США [13,14]
Ядерно-квадрупольный резонанс	Поиск взрывчатых веществ и наркотиков	3-5грВВ в объеме до 25 литров	Н/д	Q-Scan QR-160, США, ОВВ-ЯКР-10 (экспериментальный образец), Россия [9]
Регистрация обратно рассеянного излучения	Поиск закладок в укрывающих средах, пустот, косвенный анализ плотности, спектрометрический анализ, поиск и идентификация источников ионизирующего излучения	Стальной брусок 30x30x10 мм за деревянной перегородкой толщиной 15 мм, полиэтиленовый брусок 70x70x20 мм за стальной перегородкой толщиной 1 мм УПН-PM1401М-П	1...300 мм	Рось-4М [15], Украина K910B Buster, CINDI, США [9], УПН-PM1401М-П, Белоруссия [16], ДИП-А01М, Россия [17]

Их принцип работы основан на эффекте обратного рассеяния гамма-излучения. Излучение от ИИИ проникает внутрь исследуемого объекта (через обшивку, упаковку, перегородку и т.п.) и рассеивается. Часть обратно рассеянного излучения регистрируется детектором [18]. Интенсивность регистрируемого излучения зависит от наличия рассеивающего объекта и его свойств (средней плотности сканируемого объема). Интенсивность обратно рассеянного излучения для веществ с меньшей плотностью и меньшим атомным номером (таких, как бумага, взрывчатые вещества, наркотики и других веществ органического происхождения) больше, чем для веществ с большей плотностью и большим атомным номером (например, сталь, латунь, свинец и др.). По изменению интенсивности зарегистрированного обратно рассеянного излучения, можно судить об изменении плотности объекта. Изменение плотности в местах, где она должна быть неизменной, говорит о наличии в контролируемой зоне постороннего объекта [19].

На рисунке 1 представлена упрощенная схема радиационного плотнoмера, использующего эффект обратнo рассеянного гамма-излучения.

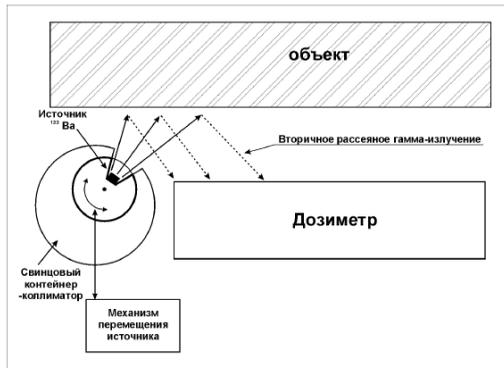


Рис. 1 – Упрощенная схема радиационного плотнoмера

В практике нередко встречаются ситуации, когда контроль объектов с использованием проходящего ионизирующего излучения в силу ряда причин бывает крайне затруднен, а порой и невозможен. В таком случае прибегают к методу одностороннего контроля, использующего для получения информации о внутреннем содержании контролируемого объекта обратнo рассеянные рентгеновские и гамма-кванты и нейтроны. Обратнo рассеянное излучение используется также наряду с проникающим излучением для повышения информативности контроля. Аппаратура контроля с использованием обратнo рассеянного излучения изготавливается в стационарном, мобильном и портативном вариантах.

На сегодняшний день существует ряд приборов на основе ИИИ, которые используются для контроля скрытых пустот (детекторы контрабанды). С их помощью проводят досмотровые мероприятия в таможенных, пограничных и других силовых структурах. В таблице 2 приведен анализ существующих приборов, использующих эффект обратнo рассеянного гамма-излучения для решения задач поиска вложений в укрывающих средах. Рассматривать будем только портативные приборы, такие как: Рось-4М (Украина), К910В Buster (США), УПН-PM1401М-П (Белоруссия), ДИП-А01М (Россия).

Анализ таблицы 2 показывает, что российские и американские фирмы-производители радиоизотопной поисковой техники не указывают такие важные параметры, как мощность эквивалентной дозы (МЭД) и вероятность обнаружения закладки, а эти параметры являются важными для потребителя, поскольку позволяют оценить безопасность прибора для человека и его технические возможности. Под вероятностью обнаружения в данном случае будем понимать способность обнаруживать тот или иной предмет, в оговоренных условиях с заданной достоверностью.

Во всей линейке приборов, в качестве источника ионизирующего излучения, используется радионуклид ^{133}Ba , в герметичном корпусе. Номинальная активность радионуклида ^{133}Ba для Рось-4М, ДИП-А01М, УПН-РМ1401М-Н – 1 МБк. Американский аналог содержит радионуклид активностью 0.5 МБк.

Таблица 2

Сравнительный анализ радиоизотопных детекторов контрабанды

Характеристики	Единица измерения	Прибор			
		Рось-4М Украина	K910B Buster США	УПН-РМ1401М- П, Белоруссия	ДИП-А01М, Россия
1. МЭД гамма-излучения в нерабочем положении без учета естественного радиационного фона: - на поверхности детектирующего блока, не более на поверхности ручки детектирующего блока, не более на расстоянии 0.1 м от поверхности прибора, не более	МкЗв/ч	1	Н/д	1	Н/д
		0.2	Н/д	0.2	Н/д
		0.2	Н/д	0.2	Н/д
2. МЭД гамма-излучения в рабочем положении без учета естественного радиационного фона: в направлении излучения на расстоянии 1 м от поверхности прибора, не более на поверхности ручки детектирующего блока, не более	МкЗв/ч	0.2	Н/д	0.2	Н/д
		0.2	Н/д	0.2	Н/д
3. Периодичность снятия показаний, не более	С	0.25	0.25	0.25	Н/д
4. Периодичность обновления показаний индикатора, не менее: - в основном режиме “Работа” - в дополнительном режиме “Точно” - в режиме “Калибровка”	С	0.5	0.5	2	Н/д
		3.0	Н/д	Н/д	Н/д
		5.0	12	36.0	Н/д
5. Скорость сканирования	Мм/с	До 300*	150-300	Н/д	Н/д
6. Глубина сканирования, не более	Мм	1-150	1-178	Н/д	1-300
7. Толщина стальной преграды, не более	Мм	6**	6	Н/д	Н/д
1	2	3	4	5	6
8. Вероятность обнаружения с достоверностью 0.95 скрытого за стальной перегородкой толщиной 1 мм калибровочного эталона плотности при перемещении блока детектирования со скоростью 5 см/с, не менее***		0.5	Н/д	0.5	Н/д
9. Степень защиты корпуса по ГОСТ 14254		IP54	Н/д	IP54	Н/д
10. Масса, не более	Кг	2	1.2	1.4	1.2
11. Время автономной работы, не менее	Ч	8	Н/д	Н/д	20
12. наличие сервисного обслуживания в Украине		Да	Н/д	Есть дилер в Украине	Н/д

Примечание: * - Максимальная скорость сканирования - 300 мм/с, обеспечивается при толщине стальной преграды не более 0.5 мм.

** - При толщине стальной преграды превышающей 2 мм вероятность обнаружения (п. 8 таблицы 2) обеспечивается переходом на режим “Точно” с увеличенным временем накопления.

*** - В качестве калибровочного эталона плотности применяется брусок из полиэтилена или полиметилакрилата размером 70x70x20 мм из комплекта поставки.

В качестве детектора в K910 Buster применяется кристалл полупроводника CdZnTe, который отличается высоким энергетическим разрешением и высокой эффективностью регистрации, при энергиях гамма-квантов до 1 МэВ. Однако при энергиях гамма-квантов более 1 Мэв эффективность регистрации заметно снижается. В приборах Рось-4М, ДИП-

АО1М и УПН-РМ1401М-Н применяются сцинтилляционные детекторы на основе кристалла NaJ(Tl). В отличие от полупроводниковых детекторов (CdZnTe) сцинтилляторы заметно проигрывают по энергетическому разрешению, но данные приборы решают задачи поиска объектов за преградами путем подсчета количества зарегистрированных детектором импульсов, а не сбор информации в виде спектров, где предпочтительней применять полупроводники.

Такие параметры, как скорость сканирования и периодичность обновления показаний индикатора, позволяют влиять на длительность проведения досмотровой процедуры, что в свою очередь, позволяет увеличить пропускную способность. Первое место здесь занимает отечественный аналог.

Российский производитель является несомненным лидером по такому показателю, как глубина сканирования (1-300 мм против 1-178 мм (K910B Buster) и 1-150 мм (Рось-4М)). Но из бесед с представителями силовых структур, проводящих досмотры скрытых полостей приборами аналогичного типа, было выяснено, что зачастую приходится обследовать объекты, требующие еще большего увеличения глубины сканирования (обследование бочек, цистерн, бензобаков и т.д.).

Немаловажным показателем досмотровой техники является толщина и материал преграды, через которую производится поиск объектов. Реальные приборы работают с преградами из стали толщиной менее 6 мм, что более чем достаточно для досмотра транспортных средств. Однако, для поиска скрытых полостей в конструкционных материалах (стены бетонные и кирпичные, фундаменты и т.д.) этого недостаточно, а этот вопрос весьма актуален и требует проведения исследований в данной области.

Важной технической характеристикой досмотровой аппаратуры является надежность. Степень защиты IP54 по ГОСТ14254 позволяет пользоваться прибором в дождливую погоду и в условиях запыленности, без снижения пропускной способности досмотровой организации.

По массо-габаритным показателям первое место делят K910B Buster и ДИП-АО1М, на втором месте УПН-РМ1401М-Н и Рось-4М, соответственно на третьем. Все это связано с конструктивными особенностями.

Применение современных элементов питания в ДИП-АО1М позволяет прибору автономно работать в течение 20 часов, что в 2.5 раза превышает аналогичный показатель отечественного прибора.

В отличие от аналогов, Рось-4М выполнен в виде двух отдельных блоков, что позволяет оператору всегда видеть показания прибора. Для расширения возможностей при досмотре труднодоступных мест прибор комплектуется съемной удлиняющей штангой-ручкой.

Немаловажный момент – наличие сервисного обслуживания на территории Украины (по данным Счетной палаты Украины руководством Галицкой и Рава-Русской таможен направлялись обращения в Западную региональную таможенную и Государственную таможенную службу, в которых неоднократно возникал вопрос ремонта технических средств та-

моженного контроля [20]).

Для решения вопроса создания приборного обеспечения для поиска скрытых пустот, обладающего широкой сферой применения (силовые структуры, строительство, гуманитарное разминирование, диагностика) и отвечающего современным требованиям, необходимо решить ряд вопросов, а именно: анализ сферы применения, работа в различных геометриях, с различными материалами и разными размерами полостей и материалов в этих полостях, разработка физической схемы прибора. Это потребует создания математической модели, а также проверки адекватности этой модели, которая будет определять параметры прибора, в зависимости от предъявляемых требований.

Новый прибор должен отличаться повышенной вероятностью обнаружения и глубиной сканирования, иметь оптимальные массо-габаритные показатели, обладать высоким быстродействием и усовершенствованным алгоритмом обработки информации.

4 Выводы

1. На основе проведенного анализа можно сделать вывод о том, что контроль скрытых пустот является актуальной задачей, поскольку позволяет производить диагностику материалов и изделий методом неразрушающего контроля, проводить мероприятия по гуманитарному разминированию, геологическую и археологическую разведку, а также выявлять контрабанду, что в свою очередь обеспечивает экономическую безопасность государства.
2. Для контроля скрытых пустот наиболее приемлемым является метод регистрации обратно рассеянного излучения, который обладает рядом присущих только этому методу достоинств, а именно: односторонний доступ к объекту исследования, большая проникающая способность, большая вероятность обнаружения делящихся материалов и источников ионизирующего излучения (близкая к 100%), отсутствие остаточной радиации, возможность получения качественной и количественной характеристик (при наличии специального программного обеспечения).
3. По данным анализа наиболее часто встречаемых мест закладок и предметов сокрытия современный прибор для поиска скрытых пустот должен соответствовать следующим требованиям:
 - глубина сканирования – 1 – 1000 мм.
 - материал преграды – бетон, кирпич, сталь, алюминий, дерево, пластик, различные композитные материалы.
 - толщина преграды – 0.5 – 25 мм для металлических преград, 1 – 100 мм для преград из дерева и до 500 мм для строительных материалов.
 - минимальный размер обнаруживаемого объекта за преградой из стали толщиной 1 мм – алюминиевый брусок размером 30х30х30 мм,

полиэтиленовый брусок размером 70x70x20 мм, стальной брусок размером 30x30x10 мм.

- простота процесса контроля.
 - время, затрачиваемое на контроль (единичное измерение) – до 10 с.
4. Для решения задачи построения оптимальных геометрических схем контролирующих приборов необходима разработка и исследование математической модели радиационного метода контроля с использованием отраженного потока.

Литература

1. Контроль автотранспортных средств (технологическая инструкция)/ НИПКИ “Искра” – “Лугань” – Луганск, 1998. – 71с.
2. Контроль железнодорожного транспорта (технологическая инструкция)/ НИПКИ “Искра” – “Лугань” – Луганск, 1998. – 72 с.
3. Контроль воздушных судов (технологическая инструкция)/ НИПКИ “Искра” – “Лугань” – Луганск, 1998. – 80 с.
4. Контроль морских и речных судов (технологическая инструкция)/ НИПКИ “Искра” – “Лугань” – Луганск, 1998. – 88с.
5. <http://luch.ru/index.htm>
6. <http://www.neotest.com.ua/>
7. <http://www.ndt-market.ru>
8. <http://www.rslab.ru>
9. <http://st.ess.ru/index.htm>
10. <http://st.ess.ru/publications/articles/tplvzr/tplvzr1.pdf>
11. <http://www.introscop.ru/>
12. http://www.beta.ru/analytics/cat/urd_expert.html
13. Т.Джонс. Обзор технологии нелинейной радиолокации. Специальная техника. № 3, 1999 г.
14. Н.С.Вернигоров. Принцип обнаружения объектов нелинейным радиолокатором. Конфидент, ¹ 5, 1998 г.
15. <http://www.iskra.lugansk.ua>
16. <http://www.polimaster.ru>
17. <http://aspect.dubna.ru/rus/>
18. Лейпунский А. И., Новожилов Б. В., Сахаров В. Н., Распространение гамма-квантов в веществе., М., “Физматгиз”.
19. Варганов В. А., Самойлов П. С., Практические методы сцинтилляционной гамма-спектрометрии., М., “Атомиздат”, 1964 г.
20. <http://www.acrada.gov.ua/achamber/control/uk/publish/category>