

# ВЫБОР ПРИЗНАКОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ПРИ ПОИСКЕ СКРЫТЫХ ОБЪЕКТОВ

**А.Н. Логунов**

Ассистент

Кафедра оборудования электронной  
промышленности

Восточноукраинский национальный  
университет им. В. Даля

кв. Молодёжный, 20-а, г. Луганск, Украина,  
91034

Контактный тел.: 095-308-16-19

E-mail: logunov@ukr.net

**Г.Л. Логунова**

Старший научный сотрудник научно-  
исследовательской лаборатории  
специализированных технологий

Научно-исследовательский и проектно-  
конструкторский институт «Искра»

ул. Звейнека, 145 с, г. Луганск, Украина, 91033

Контактный тел.: (0642) 71-75-92

E-mail: official@iskra.lugansk.ua,

iskra\_nipki@mail.ru

*Запропонований метод пошуку прихованих об'єктів, заснований на класифікації зображень, сформованих з кривої енергетичного спектру зареєстрованого зворотно розсіяного гамма-випромінювання. Вибір найбільш інформативних моментних ознак класифікації зроблений за метричним критерієм. Використання обраних моментних ознак при розпізнаванні зображень спектрів дозволяє впевнено виявляти закладення, приховані за сталевими перешкодами товщиною до 6 мм*

*Ключові слова: оглядовий контроль,  $\gamma$ -випромінювання, спектр, класифікація*

*Предложен метод поиска скрытых объектов, основанный на классификации изображений, сформированных из кривой энергетического спектра зарегистрированного обратно рассеянного гамма-излучения. Выбор наиболее информативных моментных признаков классификации произведен по метрическому критерию. Использование выбранных моментных признаков при распознавании изображений спектров позволяет уверенно обнаруживать закладки, скрытые за стальными преградами толщиной до 6 мм*

*Ключевые слова: досмотровый контроль,  $\gamma$ -излучение, спектр, классификация*

## 1. Введение

При осуществлении процедур досмотра транспортных средств различными специальными службами применяются портативные ручные приборы, использующие гамма-излучение, обратно рассеянное объектом контроля, которое несет информацию о внутренней структуре объекта, и тем самым дает возможность обнаруживать скрытые закладки. Эта технология позволяет оперативно осуществлять контроль крупногабаритных объектов с односторонним доступом в условиях, когда невозможно использование стационарной досмотровой аппаратуры.

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Существует ряд приборов подобного типа, например детектор контрабанды; Buster K910B (США) [1], детектор изменения плотности ДИП-А01М ("Аспект", Дубна, Россия) [2], устройство поиска неоднородностей УПН-РМ1401М-П ("Полимастер", Беларусь) [3], детектор скрытых пустот «РОСЬ 4М» (НИПКИ «Искра», Луганск, Украина) [4] и др. Приборы оснащены источниками гамма-излучения с радионуклидом  $^{133}\text{Ba}$ , активность которых, из соображений безопасности, не превышает 1000 кБк.

Такие приборы обладают возможностью контроля объектов с толщиной стальной стенки до 6 мм и позволяют обнаруживать объекты, скрытые за преградой на глубине до 300 мм. В связи с тем, что улучшение технических возможностей прибора за счет увеличения активности источника излучения невозможно из соображений безопасности, одним из основных путей повышения эффективности контроля становится совершенствование алгоритмов обработки сцинтилляционной информации и методов ее интерпретации [5,6].

Существующие приборы работают по пороговым алгоритмам формирования и обработки радиометрической информации в счетном режиме. При толщине стальной преграды до 1 мм работа производится в режиме сканирования. При толщине стальной преграды, превышающей 2 мм, обнаружение производится при увеличенном времени накопления счетной информации в фиксированных местах объекта досмотра.

Альтернативой традиционным пороговым алгоритмам может служить метод поиска скрытых объектов, основанный на анализе изображения, сформированного из кривой энергетического спектра зарегистрированного обратно рассеянного гамма-излучения. В отличие от традиционной спектрометрии этот метод требует меньших временных и аппаратных затрат.

С точки зрения теории распознавания образов задача обнаружения является классификационной: требу-

ется отнести анализируемую спектральную функцию к зарегистрированным при наличии объекта поиска или его отсутствии. Для решения задачи классификации необходимо сформировать наиболее информативную систему признаков для возможного различия изображений спектров.

Выбор наиболее информативных признаков, т.е. таких, которые являются наиболее эффективными для разделения классов, позволит уменьшить размерность признакового пространства и упростить процедуру классификации.

### 3. Цель работы

Целью работы является обоснование системы признаков, которые обеспечат возможность классификации изображений, сформированных из кривой энергетического спектра зарегистрированного обратно рассеянного гамма-излучения.

### 4. Метод обнаружения объектов

Для оценки возможности обнаружения скрытых предметов с использованием предложенного метода был проведен анализ спектров, полученных экспериментально на лабораторном стенде, который состоит из экспериментальной установки и блока детектирования, подключенного к спектрометру "Фортуна" (стенд разработан и создан в НИПКИ "Искра"). Экспериментальная установка представляет собой: источник ионизирующего излучения в биологической защите из свинца; набор преград; имитатор закладки. Схема измерения показана на рис. 1.

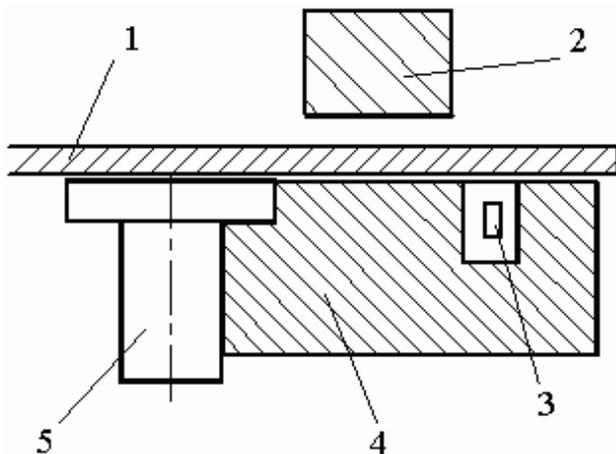


Рис. 1. Схема измерения: 1 - преграда; 2 - имитатор закладки; 3 - источник ионизирующего излучения; 4 - защита; 5 - детектор

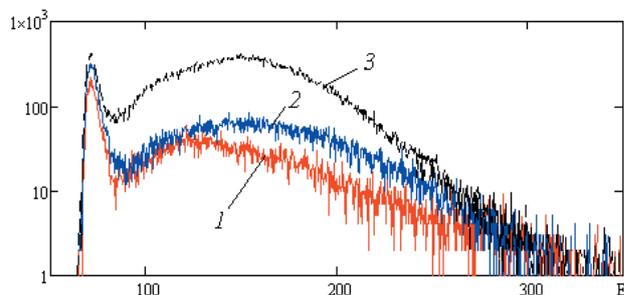
В качестве материала преграды из числа возможных конструкционных материалов транспортных средств (сталь, сплавы цветных металлов, пластики, резиновые смеси, дерево) была выбрана сталь, как материал, более препятствующий проникновению гамма-излучения.

В качестве закладок использовались имитаторы пачек денежных купюр, оружия и контрольный обра-

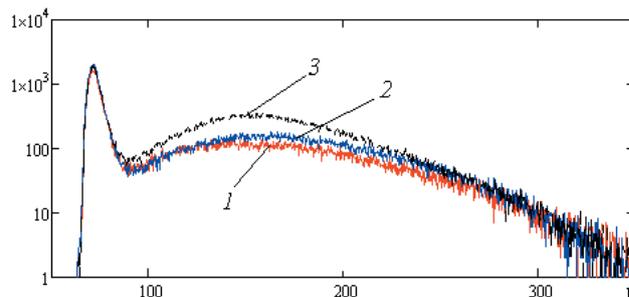
зец из полиметилакрилата, используемый для калибровки прибора.

Снимались спектры по схеме рис. 1: преграды без закладки и преграды с установленной закладкой. Вид этих спектров показан на рис. 2.

Задачу обнаружения будем рассматривать с применением хорошо разработанных методов распознавания образов на изображении. Анализируемое изображение формируется из кривой энергетического спектра зарегистрированного излучения путем заполнения площади под кривой таким образом, чтобы получить бинарное изображение плоской фигуры (рис. 3).



а)



б)

Рис. 2. Примеры зарегистрированных спектров для стальных преград толщиной 1 мм (а) и 6 мм (б): 1 - спектр стальной преграды без закладок; 2 - спектр стальной преграды с установленным за ней имитатором пачки денежных купюр; 3 - спектр стальной преграды с установленным за ней имитатором оружия



Рис. 3. Преобразование измеренных спектров в бинарные изображения

### 5. Выбор признаков классификации

Для полученных фигур (силуэтов) вычисляются морфометрические признаки, которые используются для классификации. Общее выражение для вычисления стандартных моментов плоской фигуры при условии, что последняя образована пикселями, имеет вид [7]:

$$M_{ab} = \sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^n Z_{ij} j^a i^b, \quad a, b = 0 \dots 3,$$

где  $a, b$  – порядок момента;  $Z$  – яркость пиксела в  $ij$  позиции изображения (принимает значения 0 или 1);  $k+1, n+1$  – размеры изображения в пикселях.

Центральные моменты инерции до третьего порядка включительно рассчитывались по формуле:

$$m_{ab} = \sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^n Z_{ij} \cdot (j - c_j)^a \cdot (i - c_i)^b,$$

где  $c_i, c_j$  – координаты центра тяжести плоской фигуры.

Нормализованные центральные моменты:

$$\mu_{a,b} = \frac{m_{a,b}}{(m_{0,0})^{\frac{a+b+2}{2}}}.$$

Были вычислены также семь моментных инвариант [8].

$$\Phi_1 = \mu_{20} + \mu_{02},$$

$$\Phi_2 = (\mu_{20} - \mu_{02})^2 + 4\mu_{11}^2,$$

$$\Phi_3 = (\mu_{30} - 3\mu_{12})^2 + (3\mu_{21} - \mu_{03})^2,$$

$$\Phi_4 = (\mu_{30} + \mu_{12})^2 + (\mu_{21} + \mu_{03})^2,$$

$$\Phi_5 = (\mu_{30} - 3\mu_{12})(\mu_{30} + \mu_{12}) \left[ (\mu_{30} + \mu_{12})^2 - 3(\mu_{21} + \mu_{03})^2 \right] + (3\mu_{21} - \mu_{03})(\mu_{21} + \mu_{03}) \left[ (3\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2 \right],$$

$$\Phi_6 = (\mu_{20} - \mu_{02}) \left[ (\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2 \right] + 4\mu_{11}(\mu_{30} + \mu_{12})(\mu_{21} + \mu_{03}),$$

$$\Phi_7 = (\mu_{21} - \mu_{03})(\mu_{30} + \mu_{12}) \left[ (\mu_{30} + \mu_{12})^2 - 3(\mu_{21} + \mu_{03})^2 \right] + (\mu_{30} - 3\mu_{12})(\mu_{21} + \mu_{03}) \left[ 3(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2 \right].$$

Определяющее значение для правильной классификации имеет выбор информационных признаков объекта контроля. В качестве критерия информативности признаков используются статистические (вероятность правильной классификации) или метрические критерии.

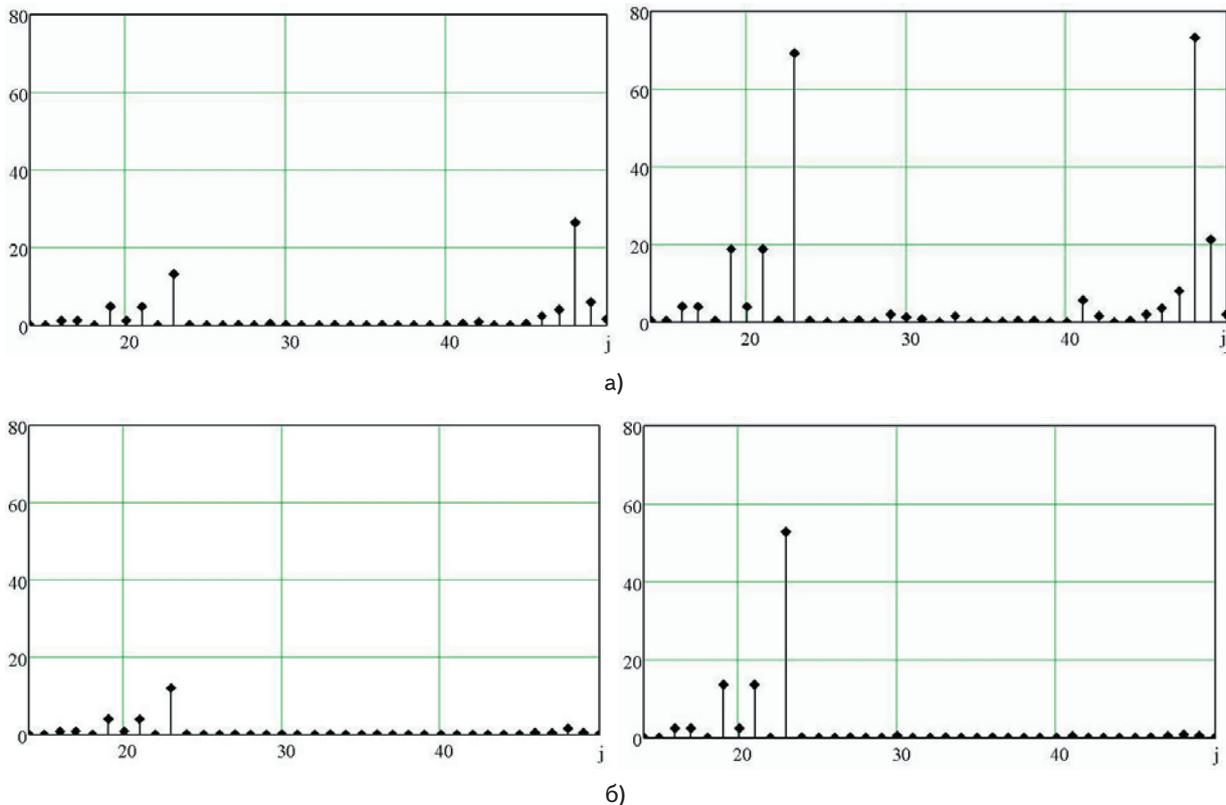


Рис. 4. Влияние моментных признаков разных порядков на нормированное евклидово расстояние при толщине преграды 1 мм (а) и 6 мм (б)  $j$  – номер признака:

14...23 стандартные моменты, соответственно,  $M_{00}, M_{01}, M_{10}, M_{11}, M_{02}, M_{20}, M_{12}, M_{21}, M_{03}, M_{30}$ ;

24...33 центральные моменты  $m_{00}, m_{01}, m_{10}, m_{11}, m_{02}, m_{20}, m_{12}, m_{21}, m_{03}, m_{30}$ ;

34...43 нормализованные центральные моменты, соответственно,  $\mu_{00}, \mu_{01}, \mu_{10}, \mu_{11}, \mu_{02}, \mu_{20}, \mu_{12}, \mu_{21}, \mu_{03}, \mu_{30}$ ;

44...50 моментные инварианты, соответственно,  $\Phi_1 \dots \Phi_7$

Эффективность признаков при распознавании тем выше, чем больше расстояние между распределениями дискриминантной функции по j-му признаку. Степень различия спектров для двух рассматриваемых случаев (преграда без закладки и преграда с закладкой) будем оценивать нормированным евклидовым расстоянием:

$$d_{ik} = \sqrt{\sum_j \frac{(P_{i,j} - P_{k,j})^2}{P_{i,j} \cdot P_{k,j}}}$$

где  $P_{i,j}, P_{k,j}$  – соответствующие признаки для рассматриваемых фигур;

$i, k$  – номера спектров;  $j$  – номер признака.

Для оценки вклада каждого признака в суммарное расстояние на рис. 4 представлены графики отдельных слагаемых для случаев выявления закладок за стальными преградами толщиной 1 и 6 мм.

Легко видеть, что основной вклад вносят пять признаков: стандартные моменты  $M_{20}, M_{21}, M_{30}$  и моментные инварианты  $\Phi_5, \Phi_6$ .

Для сравнения эффективности рассматриваемого метода с применяемым, в настоящее время счетным, в табл. 1 приведены результаты расчета нормированного евклидова расстояния.

В качестве признака для счетного метода использовался стандартный момент  $M_{00}$ , отражающий интенсивность регистрируемого излучения. На графиках рис. 4 видно, что данный момент относится к числу наименее информативных, что ограничивает возможности счетного метода. Использование наиболее информативных моментных признаков позволяет

улучшить возможности классификации при поиске скрытых объектов.

**Таблица 1**

Вид закладки	Толщина стальной преграды, мм	Нормированное евклидово расстояние	
		Счетный метод	Моментные признаки
Имитатор пачки денежных купюр	1	0,191	8,37
	6	0,041	5,203
Имитатор оружия	1	0,489	15,73
	6	0,112	9,628

**Выводы**

Для поиска скрытых объектов может быть применен метод классификации изображений, сформированных из кривой энергетического спектра зарегистрированного обратно рассеянного гамма-излучения.

Выбор признаков классификации произведен по метрическому критерию информативности - нормированному евклидову расстоянию.

В качестве признаков классификации выбраны стандартные моменты  $M_{20}, M_{21}, M_{30}$  и моментные инварианты  $\Phi_5, \Phi_6$ .

Использование выбранных моментных признаков при распознавании изображений спектров позволяет уверенно обнаруживать закладки, установленные за стальными преградами толщиной до 6 мм.

**Литература**

1. Buster K910B Contraband Detector Specifications. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.sasrad.com/products/buster/specifications.php>.
2. Детектор изменения плотности (Детектор "контрабанды") ДИП-А01М [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://aspect.dubna.ru/new/page.php?page=381>.
3. Polimaster Устройство поиска неоднородностей УПН-PM1401М-П (Детектор контрабанды) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://www.polimaster.ru/products/contraband\\_detector/pm1401t/](http://www.polimaster.ru/products/contraband_detector/pm1401t/).
4. НИПКИ «Искра». Детектор скрытых пустот «РОСЬ 4М». [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://iskra.lugansk.ua/index.php?lang=ru&page=sci-tech-prod/contraband>.
5. Логунова Г.Л. Аспекты безопасности радиоизотопных приборов в технологиях досмотрового контроля транспортных средств / Г.Л. Логунова // Науковий вісник Укр НДПБ – № 2 (24 ), 2011. – С. 87-93.
6. Логунова Г.Л. Моделирование параметров радиоизотопных приборов досмотрового контроля / Г.Л. Логунова // Искусственный интеллект: Научно-теоретический журнал. – Донецк. – 2011. – С. 299-302.
7. Анисимов Б. В. Распознавание и цифровая обработка изображений: [Учеб. пособие для студентов вузов] / Б. В. Анисимов, В.Ф. Курганов, В.К. Злобин. – М.: Высш. шк., 1983. – 295 с.
8. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В.А. Сойфера. – 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2003. – 784 с.

**Abstract**

*During the inspection of transport facilities, various special services apply portable radioisotopic devices. Gamma radiation, dispersed backwards by the unit under the test, carries information about the internal structure of the object and thus, gives the possibility to detect hidden beetles. As the improvement of technical capabilities of the device for the account of the activity growth of the radiation source is impossible on security grounds, one of the basic ways of control effectiveness increase is the improvement of the algorithm of data processing.*

*The hidden objects search method was suggested, based on the analysis of image, formed from energy spectral curve of registered gamma radiation, dispersed backwards. The problem of classification of spectral images was solved by the image discrimination method. The target of the work is the formation of the most informative system of classification attributes. The attributes are chosen according to the metric criterion of informativity – standardized Euclidian distance. The morphometric attributes, necessary for classification, were calculated for spectrograms, obtained experimentally. The spectrum differential for the obstruction with and without a beetle is estimated by the standardized Euclidian distance. The moment attributes of various procedures, which influence most on the standardized Euclidian distance, were determined. The usage of the chosen moment attributes for image spectrum recognition helps to reveal hidden beetles, placed behind the steel 6 mm obstacles*

**Keywords:** control examination,  $\gamma$ -radiation, spectrum, classification

УДК 621.391.626

# ВИЗУАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ ВИБРАЦИИ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

**Б. И. Исмаилов**

Научный сотрудник

Кафедра "Информационно-измерительная и компьютерная техника"

Азербайджанская государственная нефтяная академия  
пр. Азадлыг 20, г. Баку, Азербайджанская республика,  
AZ1010

Контактный тел.: +99-412-498-62-20

E-mail: ismbahram@mail.ru

*У статті, на додаток до відомих методів і алгоритмів контролю та аналізу часових рядів вібраційної виміральної інформації, пропонується їх візуалізація на підтримку прийняття рішення в складних експлуатаційних ситуаціях*

**Ключові слова:** контроль, вібрація, візуалізація, прийняття рішення

*В статье, в дополнение к известным методам и алгоритмам контроля и анализа временных рядов вибрационной измерительной информации, предлагается их визуализация в поддержку принятия решения в сложных эксплуатационных ситуациях*

**Ключевые слова:** контроль, вибрация, визуализация, принятие решения

## 1. Введение

Проведение измерительных экспериментов по исследованию вибрационной активности силового оборудования ГЭС является трудоёмкой и ответственной задачей, сопровождаемой сбором, статистической обработкой и представлением большого объёма эксплуатационных данных и параметров.

Исследуемый объект является динамической системой, в связи с чем, к нему применимы методы нелинейного анализа. Анализ и аргументированная интерпретация протекающих процессов требует от исследователя наличия определённого опыта и технических знаний в предметной области. В результате проведения измерительных экспериментов и их обработки, исследователь располагает большим объёмом информации, представленной в различных формах, как в виде первичных данных, формализованных знаний, так и рекомендаций экспертной системы и др. [1].

Визуализация результатов контроля при проведении измерительных экспериментов имеет большое значение. От наглядности и информативности визуальной информации зависит скорость оценки технического состояния объекта исследования и принятие соответствующего решения. Собранная измерительная информация, представленная в виде текста, таблиц, графиков или гистограмм требует от исследователя большого напряжения и внимания для их осмысления и интерпретации [1]. В тоже время от удобства работы человеко-машинного интерфейса (human-machine interface) и информативности представленной им информации зависит скорость восприятия, оценки и принятие решения в сложных эксплуатационных ситуациях. Следовательно, возникает потребность в получении новых сведений о протекающих процессах, которые не были известны ранее и снизили бы неопределённость. Одним из подходов для решения этой проблемы может быть применение выразительных и универсальных способов гра-