

Применение метода нейтронно-активационного сканирования в системах безопасности и радиологического контроля

Никита Дернов,

10 класс МБОУ СОШ №4

Финалист Российского национального юниорского водного конкурса -2017

г. Тосно, Ленинградская область

Консультант: заместитель директора по перспективным разработкам

НИЦ "Курчатовский институт" – ПИЯФ Максимов В. И.

Детектирование взрывчатых веществ и радиоактивных материалов представляет собой в настоящее время наиболее приоритетную задачу в области контроля за перемещением потенциально опасных грузов:

взрывчатые вещества наиболее просто приобрести или произвести из готовых реагентов; взрывчатые вещества относительно просто можно транспортировать и доставить в целевое место; доступ к ядерным материалам получают все больше людей и организаций; потенциальный ущерб от применения самой небольшой атомной бомбы превосходит ущерб от всех взрывчатых веществ за всю историю терроризма.

- **Цель исследования и подготовки проекта:**

Исследовать и оценить уровень оснащенности мест скопления людей, объектов транспортной инфраструктуры в г. Санкт-Петербурге и Ленинградской области системами обнаружения опасных веществ.

- **Задачи проекта.**

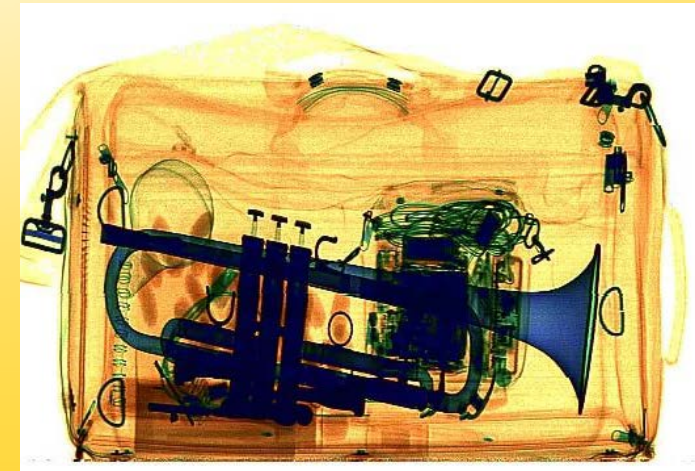
Составить карту контроля за передвижением опасных веществ в обозначенном регионе, выявить фактический уровень оснащенности обнаружения опасных веществ, с потенциально возможным в соответствии с имеющимися научно-техническими разработками.

Основные виды досмотровых систем, применяемых в Санкт-Петербурге и Ленинградской области: (приложение 1)

- рентгеновские системы прямого излучения (ИДК, Инспектор)
- рентгеновские системы обратного рассеяния (B-SCAN, Rapiscan)
- рентгеновские системы двойной энергии (HI-SCAN, Smiths Detection)
 - компьютерная томография (Rapiscan Real Time Tomography) ,
 - рентгентелевизионные установки (BERG, HI-SCAN, Alphascan, Филин)



HI-SCAN 7555si © Smiths Heimann



Недостатки рентгеновских сканеров

- Самым важным недостатком рентгеновских систем является то, что они строят изображение объекта основываясь на удельном весе материала. Многие безопасные материалы имеют этот показатель близкий к взрывчатым веществам, что производит большое количество ложных тревог.
- Безопасные материалы, такие как шерстяные свитера или пластиковые объекты могут быть использованы для маскировки взрывчатых веществ.
- Взрывчатка может быть любой формы, что не позволяет производить ее автоматическую идентификацию основываясь на изображении.

Безопасный материал	Взрывчатые вещества	Наркотики
Шерсть	Нитроглицерин	Героин
Шелк	Этиленгликольдинитрат	
Лавсан	Аммонит	Кокаин
Акрил (orlon)	Черный порох	
хлопок	PETN	Фенциклидин, ПСП
Полиэтилен	TNT	
Бумага	C3	
Алкоголь	C4	
сахар	Пикриновая кислота	

Нейтронные системы досмотра

- Досмотровые системы на основе нейтронных технологий способны детектировать большое количество веществ для различных целей от угроз национальной безопасности (например, ядерные материалы, взрывчатка, наркотики) до таможенных целей, таких как контроль и оценка грузовых перевозок, и защита окружающей среды. Подобные досмотровые системы в своей основе используют ядерные взаимодействия нейтронов с различными нуклидами и детектирование характеристического излучения. (Табл. Ключевые характеристики состава идентифицируемых веществ в нейтронных сканерах)

Вещество	Характеристика элементного состава
Взрывчатка	Относительно высокое содержание O Относительно высокое содержание N Относительно низкое содержание C Относительно низкое содержание H
Наркотики (кокаин/ героин)	Относительно высокое содержание C Относительно высокое содержание H Относительно низкое содержание O Умеренное содержание Cl (для наркотиков с HCl)
Минералы, Цемент	Ca, Si, Fe, Al, Mg
Ядерные материалы	^{232}Th , ^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu , ^{240}Pu

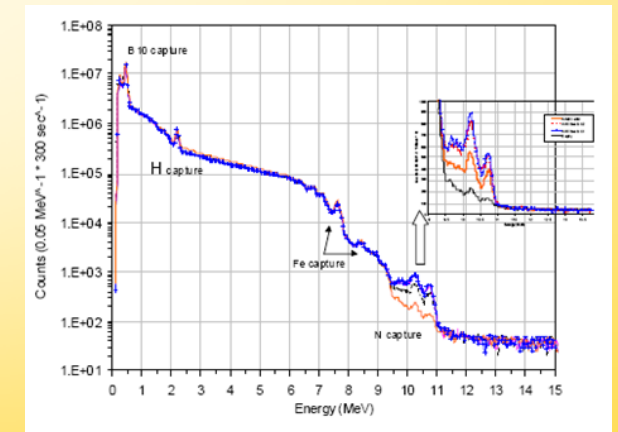


Рис. Спектр гамма квантов, полученный методом анализа на тепловых нейтронах при облучении контейнера, видны ключевые линии гамма квантов для азота и водорода 10.8 MeV N(n,γ), 2.2MeV H(n,γ).

- **Нейтронно радиационная установка УВП-5101 К (ОАО «РАТЭК»)**

Назначение:

Установка предназначена для контроля ручной клади и багажа с целью идентификации среди его содержимого компактных предметов с высокой концентрацией азота и последующим выявлением путем досмотра взрывчатых веществ, а так же для выявления источников ионизирующего излучения в исследуемых предметах.

Виды обнаруживаемого ВВ:

Широкий спектр ВВ вне зависимости от вида, формы и принятых мер маскировки.

Время обнаружения минимальной массы специального ядерного материала U_{235} : 2 с.

- **Переносной комплекс ДВИН-1 на основе технологии меченых нейтронов для обнаружения взрывчатых веществ при досмотре заминированного автомобиля, производство ООО «Нейтронные технологии», г. Дубна**
- **ООО «Научно технический центр прикладной физики», портативная установка SmartSENNА для обнаружения опасных взрывчатых и химических веществ**



Применение метода нейтронно-активационного сканирования для обнаружения радиоактивных веществ

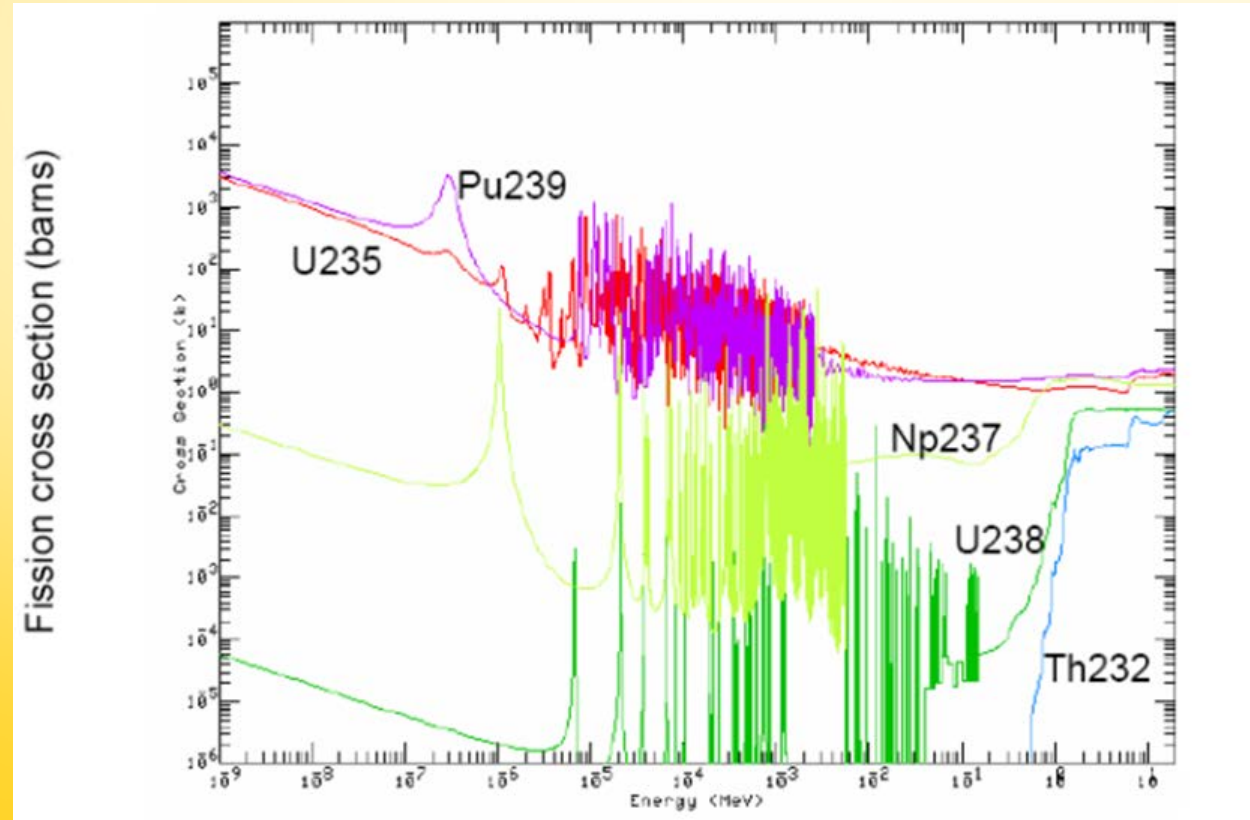
Изотоп	Период полураспада (годы)	Удельная радиационная активность (Ci/g).	Радиационная энергия (MeV)		
			Альфа	Бета	Гамма
Америций-241 Am-241	430	3.5	5.5	0.052	0.033
Калифорний-252 Cf-252	2.6	540	5.9	0.0056	0.0012
Цезий-137 Cs-137	30	88	-	0.19, 0.065	0.60
Кобальт-60 Co-60	5.3	1100	-	0.097	2.5
Иридий-192 Ir-192	0.2 (74 д.)	9200	-	0.22	0.82
Плутоний-238 Pu-238	88	17	5.5	0.011	0.0018
Полоний-210 Po-210	0.4 (140 д.)	4500	5.3	-	-
Радий-226 Ra-226	1600	1	4.8	0.0036	0.0060, 0.00367
Стронций-90 Sr-90	29	140	-	0.20, 0.94	-

Таблица. Основные радиационные свойства радионуклидов, которые могут быть применены для радиологического оружия.

Опасность использования радиоактивных веществ состоит в их пассивном и практически незаметном распространении радиации, а также в активном использовании, то есть с помощью «грязной бомбы». Использование бомб подразумевает комбинацию взрывчатых и радиоактивных веществ, которые распространяются при взрыве. Лишь небольшое количество радионуклидов могут быть доступно в концентрированном количестве. Используемые частицы (изотопы) и их свойства представлены в таблице.

Спектры излучения ядерных материалов при нейтронно-активационном сканировании

- При нейтронно-активационном сканировании возникает гамма-излучение от детектируемых веществ в зависимости от их состава. Подобное излучение представляет собой по энергии непрерывный спектр, отличающийся от фона по своим временным и энергетическим характеристикам, который хорошо регистрируется (рис.)



Применение портальных мониторов для обнаружения ядерных угроз, примеры

- Новые версии радиационных портальных мониторов с неорганическими детекторами на основе кристаллов NaI(Tl) имеют возможность идентификации радиационных изотопов.
- Высокоэнергетическое тормозное и гамма излучение способно проходить сквозь грузовой контейнер (430мм стали) и широко используется для досмотра с целью нахождения контрабанды в морских портах, аэропортах и пунктах досмотра на границе

(Россия, США, Аргентина, Великобритания, Китай)



Рис. ОАО «НТЦ «РАТЭК»
Мониторы обнаружения радиоактивности с возможностью идентификации изотопов



рис. Rapisan GaRDS™ Portal



Рис. SAIC AT-900S Radiation Portal Monitor (RPM)



Рис. НИИЭФА им. Д.В.Ефремова, ЭФАСКАН, инспекционный комплекс для таможенного контроля транспортных средств и контейнеров

Выводы

- Все объекты транспортной инфраструктуры, пограничные пункты пропуска обеспечены досмотровым и детекторным оборудованием.
- Большая часть досмотровых систем- рентгеноскопическое оборудование. Самое современное рентгенотелескопическое и рентгенодуальное оборудование установлено в Международных аэропорте и морпортах.
- Контроль за радиоактивными и делящимися материалами осуществляется в пограничных пунктах пропуска через порталыные мониторы, а на пассажирском транспорте- также ручными детекторами. Применяются пассивные технологии детектирования гамма излучения и нейтронов.
- Самым важным недостатком рентгеновских систем является то, что они строят изображение объекта, основываясь на удельном весе материала. Это производит большое количество ложных тревог, сохраняется вероятность маскировки опасных веществ.
- Портальные мониторы не могут идентифицировать источник радиации.
- Для создания систем досмотра ручной клади, багажа, почты и личных вещей наиболее эффективно применять установки на основе метода анализа на тепловых нейтронах. Они применимы для высокоточного решения различных задач элементного анализа.
- Портальные мониторы контроля радиоактивности на основе кристаллов NaI (Tl) дают возможность идентификации источников радиоактивности для контроля людей, багажа, различных видов транспорта, а также контейнеров и поездов и перспективны для внедрения.

Список литературы

- 1. The atomic fingerprint: neutron activation analysis B. Keisch, Bernard Honolulu, Hawaii : University Press of the Pacific, с 2003
- 2. Орлова Е.Ю. Химия и технология бризантных взрывчатых веществ. Под редакцией Мясниковой Л.Б. - Л.: «Химия», 1973. — 688 с.
- 3. Светлов Б. Я., Яременко Н. Е. Теория и свойства промышленных взрывчатых веществ- М., «Недра», 1973.
- 4. Бекман И.Н. Ядерная физика. Курс лекций. Учебное пособие. Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова Химический факультет Кафедра радиохимии, 2010.
- 5. Болодзыня А.И. Введение в ядерную физику. Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2017.
- 6. Инструкция о пропускном и внутриобъектовом режиме на объекте транспортной инфраструктуры. Универсальный морской терминал ОАО «Морской порт Санкт-Петербург». Приложение к Приказу №547 от 6 июня 2016 г.
- 7. Постановление Правительства РФ от 05.04.2017 N 410 "Об утверждении требований по обеспечению транспортной безопасности, в том числе требований к антитеррористической защищенности объектов (территорий), учитывающих уровни безопасности для различных категорий метрополитенов".
- 8. Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», ПИЯФ им. Б.П. Константинова Научное обоснование комплекса экспериментальных станций на реакторе ПИК. Научные редакторы Аксенов В.Л., Ковальчук М.В. Гатчина, 2014.
- 9. Анализ возможностей применения нейтронного анализа.

Приложение 1

место нахождения объекта исследования	тип оборудования	Технология досмотра	вероятность обнаружения, генерирование ложных тревог		
			ВВ, наркотики	радиационных грузов, СЯМ,	оружия
г. Светогорск, п. Брусничное, пункт пограничного и таможенного контроля	стационарные таможенные системы «Янтарь», приборы радиационного контроля	автоматический досмотр транспорта, ручной досмотр багажа переносным дозиметром		высокая вероятность наличия источника ДРМ и СЯМ без идентификации материала.	
	ИДК- инспекционно досмотровый комплекс	путем рентгеновского излучения и отображения на мониторе изображения высокого качества.	обнаружение по удельному весу	-	обнаруживает по характеру изображения
Морской порт Аэропорт «Пулково» метрополитен РЖД	система «Янтарь»	Досмотр производится в отношении физических лиц, ТС, крупногабаритных объектов на наличие ДРМ согласно		При срабатывании системы ТС перемещается на досмотровую площадку под контроль теленаблюдения.	
	Сканеры для досмотра человека Хомоскан (Homo Scan), Rapiscan	за счет применения рентгеновских лучей, действующих по принципу обратного рассеивания (полученная доза не более 0,1 микрозивертов). Проникающая способность 32 мм	Обнаруживает, изображение высокого качества. Не идентифицирует		обнаруживает, в т.ч. скрытые на теле, в обуви
	Smiths Detection B-Scan 16HR-LD «Инспектор», BERG	технология проникающего рентгеновского излучения, линейное сканирование веерным лучом	обнаруживает, объектов	электронное изображение	обнаруживает, в т.ч. скрытые
	Рентгенотелевизионные интроскопы (РТИ) HI-SCAN 6040aX Smiths Detection	Двухракурсный рентгенотелевизионный интроскоп, детекторы высокого разрешения. Проникающая способность лучей 29-31 мм(сталь)	гарантированное обнаружение твердых и жидких взрывчатых веществ		обнаруживает
	ручные дозиметры радиации			обнаруживают наличие радиации, не идентифицируя источник	