

СТАЦИОНАРНЫЕ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ДРМ

ТУКЕЕВ Дмитрий Леонидович
доктор технических наук,
профессор кафедры
Технических средств таможенного
контроля и криминалистики

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

ДРМ являются источником повышенной опасности, таможенное оформление данной группы товаров должно производиться в приоритетном порядке по отношению к другим группам товаров, организация же данного вида таможенного контроля должна иметь структуру, позволяющую быстро и эффективно производить таможенный контроль.

Особенности данной группы товаров:

1. Являются сырьем для производства ядерного оружия.
2. Относятся к категории опасных грузов, которые в случае нарушения требований безопасности при их перевозке могут нанести вред здоровью людей и вызвать радиоактивное загрязнение окружающей среды.
3. Представляют значительную материальную ценность.
4. ДРМ связаны с проблемой захоронения радиоактивных отходов.
5. Товары с повышенным уровнем ионизирующего излучения, в том числе и бытового предназначения, опасны для здоровья граждан.

Перед службой таможенного контроля ДРМ стоят серьезные задачи, в том числе связанные с проблемой международного терроризма; проблемой государственной экономической и экологической безопасности, задачами защиты прав и интересов граждан, предприятий и учреждений Российской

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

По возможным последствиям попытка незаконного перемещения радиоактивного груза через таможенную границу должна рассматриваться как радиационная авария (аварийная ситуация). Это определяет особые требования к действиям персонала таможенных органов при обнаружении товара с повышенной радиоактивностью, необходимость четкого взаимодействия с органами государственного регулирования радиационной безопасности и оперативного проведения первичной идентификации задержанного товара с соблюдением необходимых требований радиационной безопасности.

При этом следует учитывать, что многие грузы могут иметь повышенную радиоактивность естественного происхождения (строительные материалы, некоторые виды минерального сырья, огнеупорные изделия и т.д.), либо являющуюся следствием аварии на Чернобыльской атомной электростанции (пищевые продукты, продукция лесной промышленности и т.д.), удовлетворяющую гигиеническим нормативам и не являющуюся препятствием для их перемещения через таможенную границу и реализации на территории России.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Пропуск таких грузов должен, в ряде случаев, производиться только по согласованию с органами Госсанэпиднадзора, оформленному в виде санитарно-эпидемиологического (гигиенического) заключения установленного образца. При этом на сельскохозяйственное сырье, пищевые продукты, стройматериалы и металлолом санитарно-эпидемиологическое (гигиеническое) заключение может выдаваться территориальными органами Госсанэпиднадзора. На иные виды продукции (минеральное сырье, огнеупорные изделия, иные товары, имеющие повышенное содержание естественных или техногенных радионуклидов) санитарно-эпидемиологическое (гигиеническое) заключение должно выдаваться Роспотребнадзором.

Радиоактивные материалы в процессе распада испускают ионизирующие излучения:

1. нейтронное излучение;
2. гамма-излучение;
3. бета-излучение;
4. альфа-излучение.

Указанные виды излучения можно использовать для инструментального определения наличия ДРМ в различных объектах.

ОБОРУДОВАНИЕ, ВКЛЮЧАЮЩЕЕ ИСТОЧНИКИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ, ЯВЛЯЮЩИХСЯ ИСТОЧНИКАМИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

**Источники ИИ
(α -, β -, γ -, n)**

```
graph LR; A[Источники ИИ (α-, β-, γ-, n)] --> B[Ядерные материалы, ядерные установки, ТВС, облученные ТВС]; A --> C[Радиоактивные вещества, радиационные источники]; A --> D[Радиоактивные отходы]; A --> E[Товары, имеющие повышенный уровень радиоактивных излучений]; A --> F[Физические лица, прошедшие лечение радиоактивными медпрепаратами];
```

Ядерные материалы, ядерные установки, ТВС, облученные ТВС

Радиоактивные вещества, радиационные источники

Радиоактивные отходы

Товары, имеющие повышенный уровень радиоактивных излучений

Физические лица, прошедшие лечение радиоактивными медпрепаратами

КЛАССИФИКАЦИЯ ДРМ ПО КОДАМ ТН ВЭД ТС

Код			Наименование позиции
позиция	субпозиция	Код ТН ВЭД	
2612	2612 10		Руды и концентраты урановые
	2612 20		Руды и концентраты ториевые
2844	2844 10		Уран природный и его соединения
	2844 20		Уран, обогащённый ураном-235, и его соединения; плутоний и его соединения
	2844 30		Уран, обеднённый ураном-235, и его соединения; торий и его соединения
	2844 40		Элементы радиоактивные, изотопы и соединения, кроме указанных в субпозиции 2844 10, 2844 20 или 2844 30
	2844 50		Отработанные (облученные) тепловыделяющие элементы (ТВЭЛы) ядерных реакторов
8401		8401 30 000 0	Тепловыделяющие элементы (ТВЭЛы), не облученные (для ядерных реакторов)
9022	9022 21 9022 29		Аппаратура, основанная на использовании ИИ для медицинского, хирургического, стоматологического, ветеринарного и другого использования

ОБЪЕКТЫ ЛЕГАЛЬНОЙ ТОРГОВЛИ

ДРМ, являющиеся непосредственными объектами ВЭД
либо входящие в состав иных товаров – объектов ВЭД

а. Ядерные материалы

- исходный материал
- специальный расщепляющийся

Делящиеся материалы

(Правила МАГАТЭ)

U-235

U-233

Pu-239

Pu-241

Pu-238

U

Th

Pu

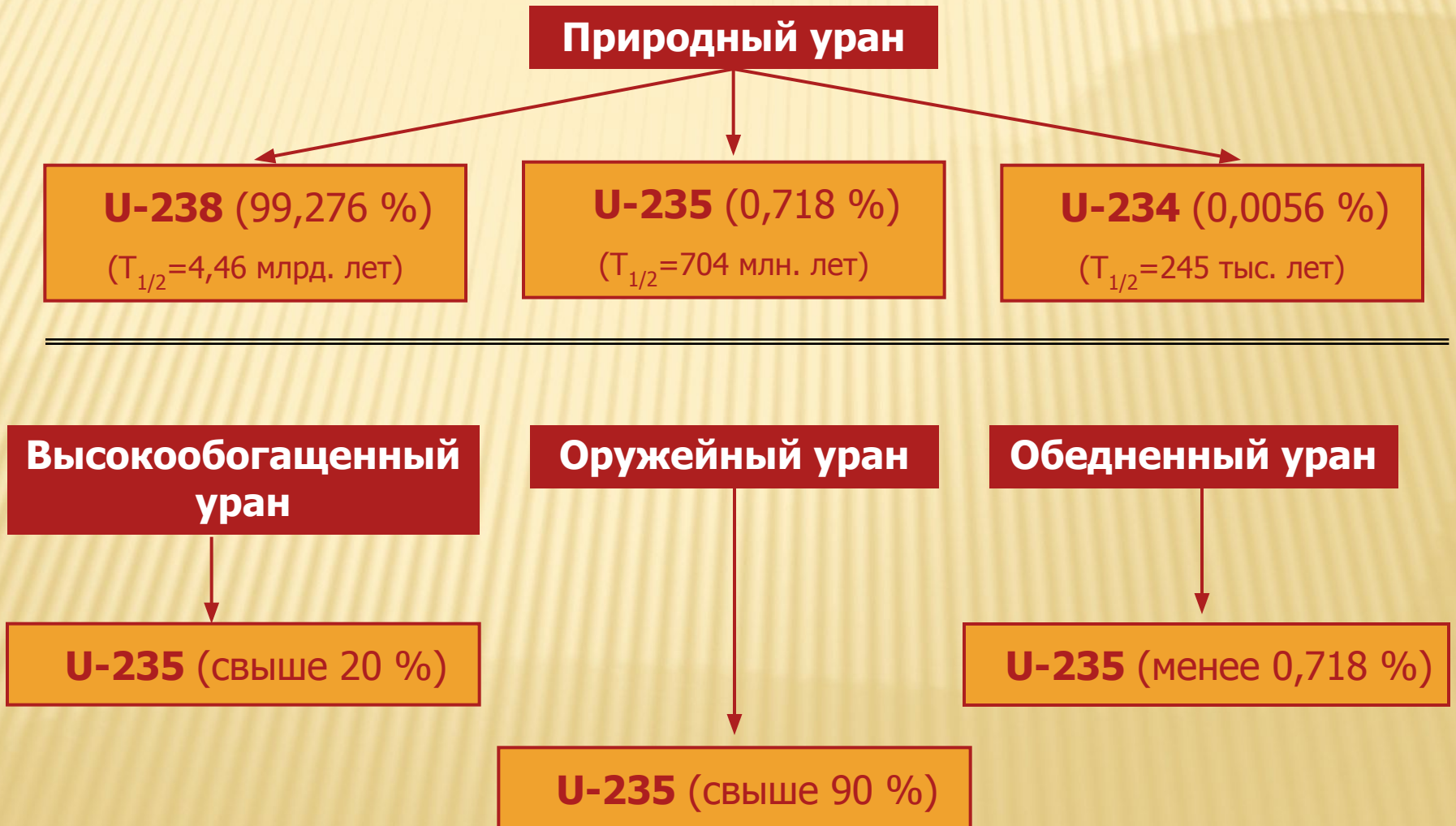
Np-237

б. Радиоактивные материалы

*Радиоактивные
элементы*

*Радиоизотопная
продукция*

КЛАССИФИКАЦИЯ УРАНА



ЯДЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ. УРАН. ТОРИЙ. ПЛУТОНИЙ

Уран – U-92

Открыт в 1789 г. М.Г. Клаптроном.

Запасами высокообогащенного урана обладают 43 государства мира (в т. ч. 28 – развивающихся).

Торий – Th-90

- ◆ Открыт в 1828 г. Й.Я. Берцелиусом.
- ◆ Известно 7 изотопов тория, из них в природе наиболее распространен ${}_{90}\text{Th}^{232}$.

Плутоний – Pu-94

- ◆ Открыт в 1940 г. Г. Сиборгом, Э. Макмилланом, Кеннеди и А. Уолхом в Беркли при бомбардировке мишени из урана дейтронами из циклотрона.
- ◆ В результате испытаний ядерного оружия на землю выпало около 3,9 т плутония.
- ◆ Только в 35 странах накоплено 1830 т плутония, из которых 257 т приходилось на оружейный плутоний. Ежегодное пополнение запасов реакторного плутония составляет около 50 т.
- ◆ Запасами плутония обладают 12 стран.

ПРИМЕНЕНИЕ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В качестве топлива для ядерных реакторов (U-235, Pu-239).

В производстве ядерного оружия (U-235, U-233, Pu-239, U-238).

В качестве материалов для изготовления транспортных упаковочных контейнеров (U-238).

Как источник тепла в радиоизотопных термоэлектрических генераторах (РИТЭГ) (Pu-238).

Как легирующая добавка в конструкционные, электродные и другие материалы (Th-232).

Как добавка в светосоставы постоянного действия (Th-232).

В медицинских целях.

ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ (ВЕЩЕСТВ)

Область применения

■

- Промышленность
- Наука
- Медицина
- Биология
- Геология
- Навигация
- Космические исследования
- В военных целях

Особенности обнаружения ядерных материалов:

- ◆ **Признаком присутствия ядерных материалов (в т.ч. делящихся) в объектах контроля является наличие нейтронного излучения**
- ◆ **Для эффективного обнаружения ядерных материалов в объектах контроля в процессе таможенного наблюдения и таможенного осмотра в обязательном порядке используются двухканальные (гамма-, нейтронный) приборы.**

ОБЪЕКТЫ, КОТОРЫЕ МОГУТ ИМЕТЬ ПОВЫШЕННЫЙ УРОВЕНЬ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Строительные материалы

Руды и концентраты

Минеральные удобрения

Изделия из камня, гипса, цемента, асбеста

Керамические изделия

Отходы и лом металлов

Промышленные изделия, приборы и оборудование, имеющие в своем составе радиоизотопные источники

Материалы, не подпадающие под действие Норм радиационной безопасности



Физические лица, прошедшие лечение радиоактивными медицинскими препаратами

Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на расстоянии 1 м от пациента при его выписке из медицинского учреждения не должна превышать 3 мкЗв/ч.

п. 5.4.5. НРБ-99/2009

СУЩНОСТЬ ТКДРМ

Таможенный контроль делящихся и радиоактивных материалов (ТКДРМ) – это неотъемлемая часть таможенного контроля, представляющая собой совокупность:

- объектов контроля;**
- административных мер;**
- правовых документов;**
- технических средств;**
- технологических операций,**

осуществляемых таможенными органами РФ с целью обеспечения соблюдения участниками ВЭД законодательства в области использования атомной энергии, ядерной и радиационной безопасности в отношении перемещения ДРМ через таможенную границу Таможенного союза.

ЦЕЛЬ И ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ТКДРМ

Цель ТКДРМ – пресечение незаконного перемещения ДРМ через таможенную границу ТС в соответствии с функциями таможенных органов.

Задачи ТКДРМ:

- организация таможенного контроля и осуществления таможенных операций в отношении делящихся и радиоактивных материалов, перемещаемых через таможенную границу ТС;
- осуществление постоянного радиационного контроля всех транспортных средств, товаров и пассажиров (багажа), пересекающих таможенную границу ТС;
- обнаружение, локализация, идентификация и хранение в специально отведенных местах незаконно перемещаемых ИИИ с последующей передачей их компетентным органам.

ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПРИНЦИПЫ ТҚДРМ

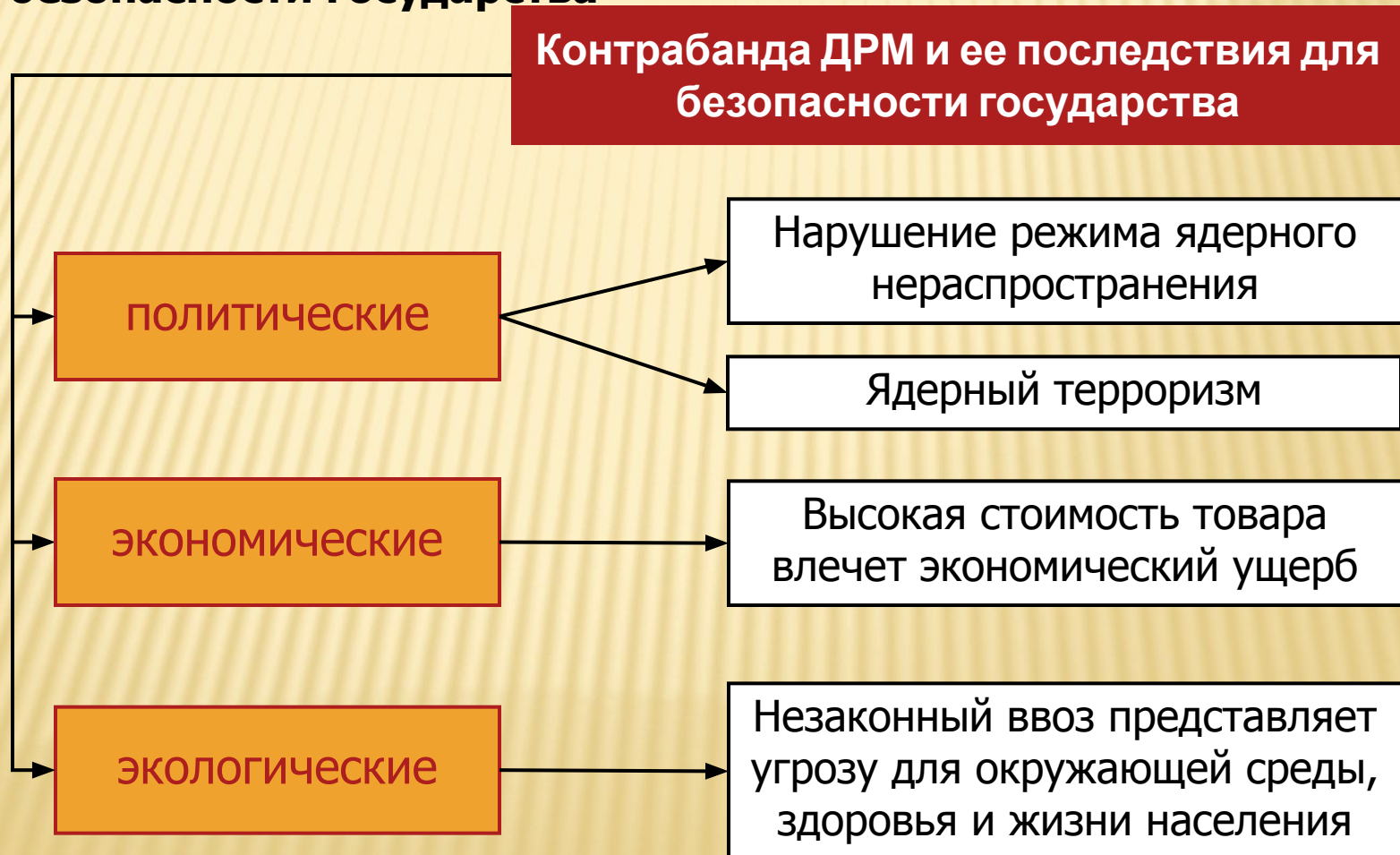
Осуществление **постоянного** радиационного контроля физических лиц, товаров и транспортных средств при их перемещении через таможенную границу ТС.

Приоритетность действий по обеспечению радиационной безопасности перед действиями процессуального характера, направленными на привлечение к ответственности нарушителя.

Организация **эффективного** контроля без ухудшения условий для участников внешнеэкономической деятельности и без причинения вреда контролируемым объектам.

ДРМ КАК ОБЪЕКТ КОНТРАБАНДЫ И НАРУШЕНИЯ ТАМОЖЕННЫХ ПРАВИЛ

Правовой аспект и последствия контрабанды для безопасности государства



ДРМ КАК ОБЪЕКТ КОНТРАБАНДЫ И НАРУШЕНИЯ ТАМОЖЕННЫХ ПРАВИЛ

Реагирование на срабатывание ТС ТКДРМ

В 2010 г. должностные лица таможенных органов в соответствии с профилями риска реагировали более 65 тыс. раз на срабатывания стационарных и переносных приборов. При этом было в 2010 г. выявлено более 2000 фактов незаконного перемещения ДРМ и товаров с повышенным уровнем ионизирующего излучения; в 2006 г. – 480 фактов.



**РЕАГИРОВАНИЕ
НА СРАБАТЫВАНИЕ**

65 000

**ВЫЯВЛЕНИ
Е**



≥ 2000

ДРМ КАК ОБЪЕКТ КОНТРАБАНДЫ И НАРУШЕНИЯ ТАМОЖЕННЫХ ПРАВИЛ

За последние 5 лет с использованием технических средств было выявлено 83 % фактов незаконного перемещения ДРМ от общего их количества и 17 % – по документам и оперативной информации.

– выявлений при использовании стационарных и переносных технических средств обнаружения ДРМ:



83 %

– выявлений при документальном контроле, по оперативной информации и др.:

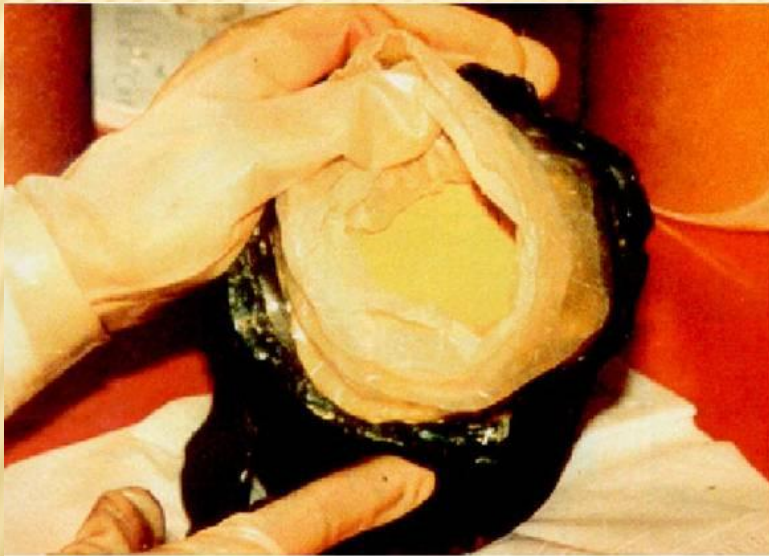


17 %

ОБЪЕКТЫ КОНТРАБАНДЫ

ЯДЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УРАН



«Желтый кек» – концентрированная окись урана (U_3O_8)



Топливные элементы

ОБЪЕКТЫ КОНТРАБАНДЫ

РАДИОАКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ЦЕЗИЙ



Стальные контейнеры с Cs-133

Cs-133 в контейнере

ОБЪЕКТЫ НАРУШЕНИЯ ПРАВИЛ

**ТОВАРЫ, ИМЕЮЩИЕ ПОВЫШЕННЫЙ
УРОВЕНЬ
ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ**



Часы

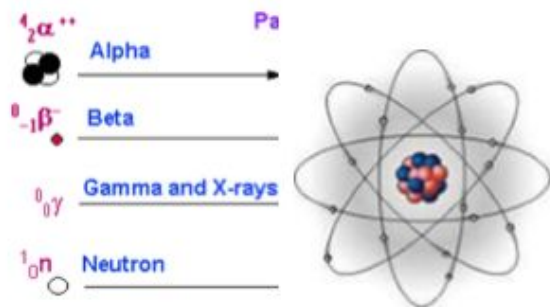


Статуэтка из чаройта

Методы регистрации ионизирующих излучений

МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Процессы, происходящие при взаимодействии ионизирующих излучений с веществом

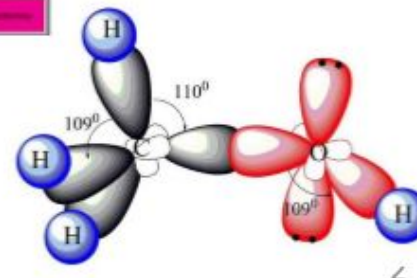
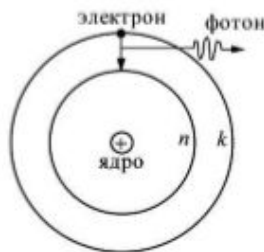
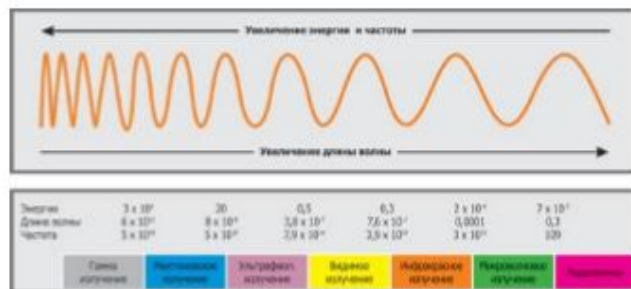
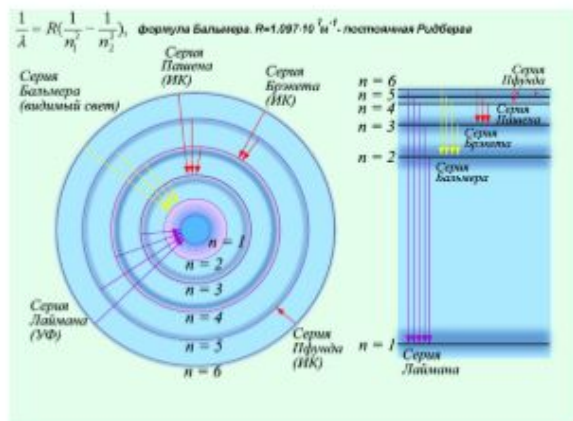


Воздействие ИИ на вещество проводит:

1. К возбуждению атомов и молекул, в результате происходят:

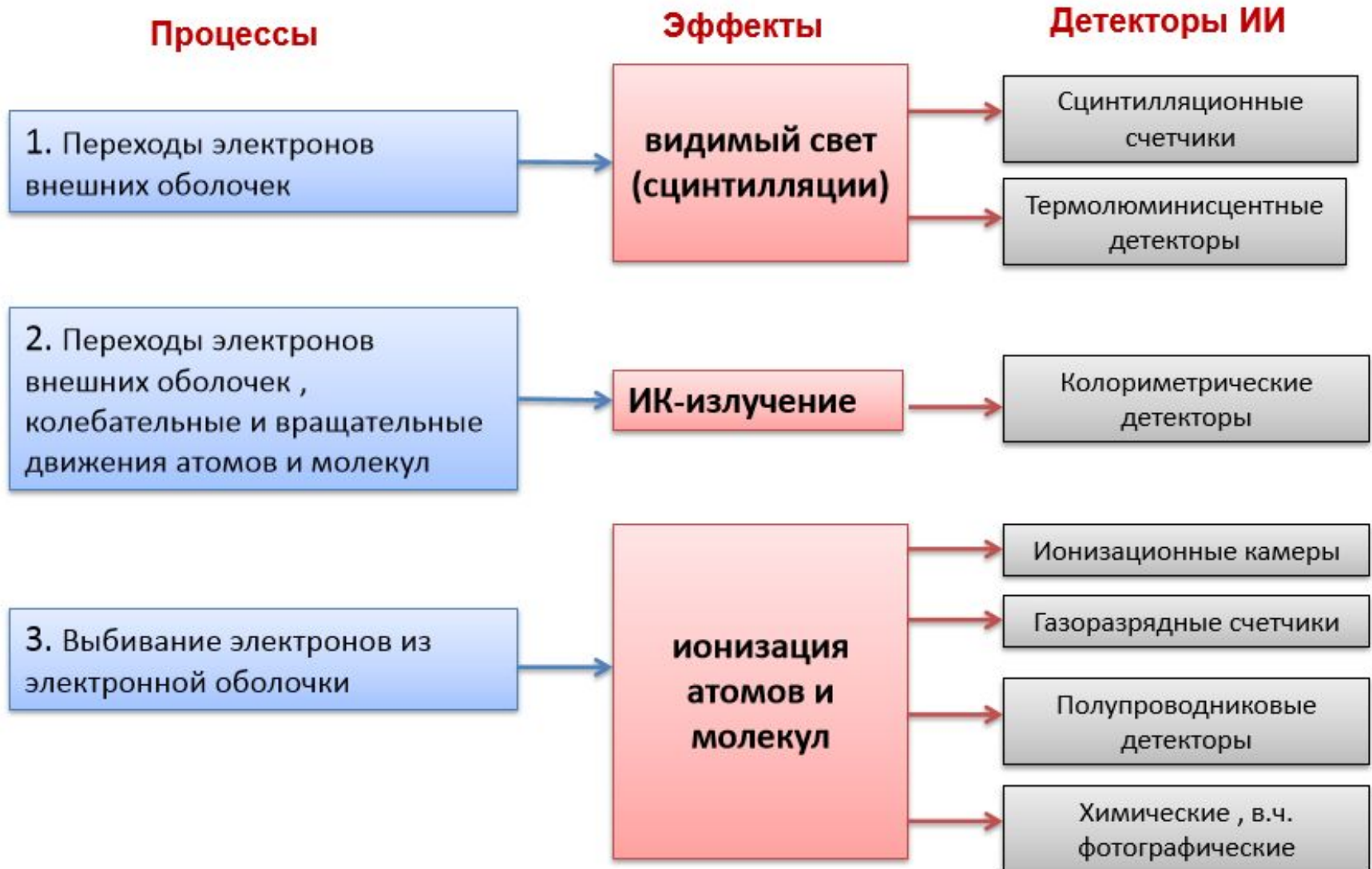
- Переходы электронов внутренних оболочек → **X- и УФ-излучение.**
- Переходы электронов внешних оболочек → **видимый свет, ИК-излучение.**
- Колебательные и вращательные движения атомов и молекул → **ИК-излучение** (нагревание вещества).

2. К удалению электронов из электронной оболочки → **ионизация атомов и молекул.**



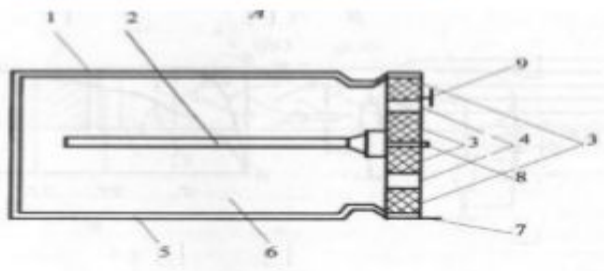
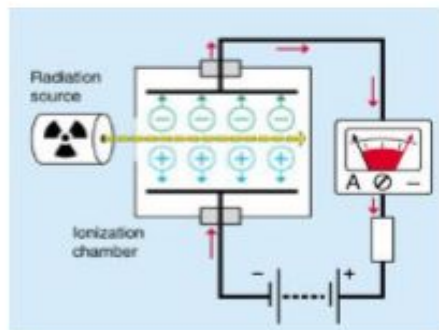
МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Виды детекторов ионизирующих излучений

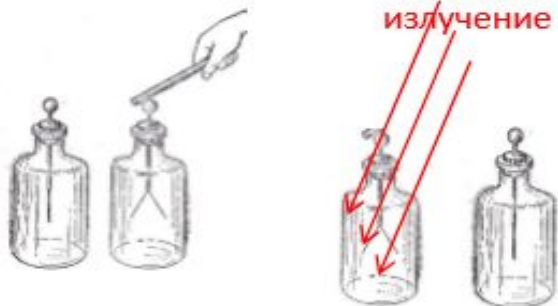


МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Ионизационная камера



Ионизирующее
излучение



Принцип работы:

Между электродами создается разность потенциалов (90 В).

При взаимодействии ИИ с воздухом образуются положительно заряженные ионы и электроны.

Под действием электрического поля электроны и положительные ионы движутся соответственно к положительному и отрицательному электродам камеры.

В цепи возникает суммарный ток камеры.

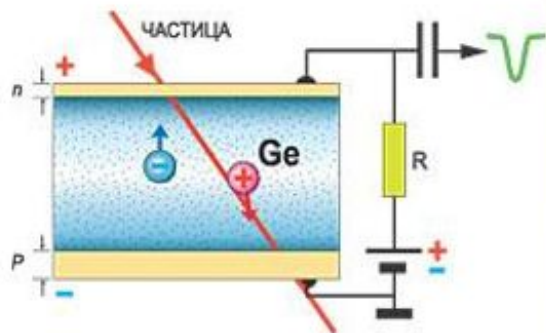
По величине падения напряжения определяется доза ионизирующего излучения.

Состав:

- 1, 2 - алюминиевые цилиндр и стержень - положительный и отрицательный электроды;
- 3 - изоляторы;
- 4 - охранное кольцо;
- 5 - аквадаг (суспензия графита в воде, применяемая для образования электропроводящего слоя);
- 6 - воздух;
- 7, 8 - выводы положительного и отрицательного электродов.

МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

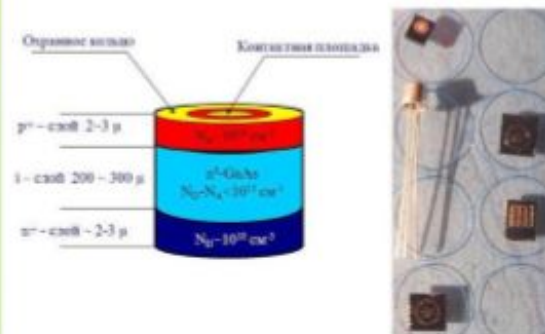
Полупроводниковый детектор



Устройство:

Полупроводниковый диод, на который подано обратное (запирающее) напряжение.

Слой полупроводника вблизи границы *p-n*-перехода «обеднён» носителями тока (электронами проводимости и дырками) и обладает высоким удельным сопротивлением.



Принцип работы:

Заряженная частица, проникая область *p-n*-перехода, создаёт электронно-дырочные пары, которые под действием электрического поля перемещаются к электродам.

Во внешней цепи возникает электрический импульс, который усиливается и регистрируется.

Количество импульсов соответствует количеству частиц, попавших в область *p-n*-перехода.

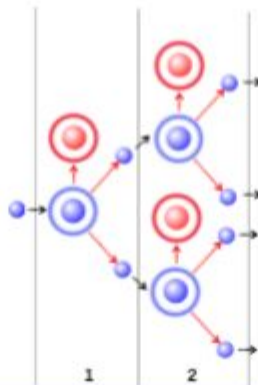
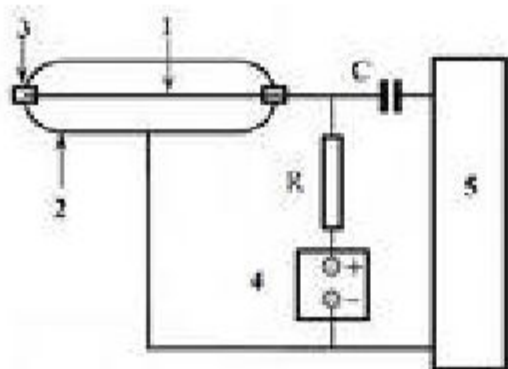
Величина импульсов соответствует энергии частиц.



Мобильный спектрометрический комплекс СКС-50М

МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Газоразрядный счетчик



Состав

1. Тонкая нить внутри цилиндра – *положительный* электрод.
2. Цилиндр, заполненный специальным газом (галогены или пары спирта) – *отрицательный* электрод;

Принцип работы:

Между электродами создается высокое напряжение (более 390 В).

При взаимодействии ИИ с газом образуются электроны и положительно заряженные ионы.

В электрическом поле электроны разгоняются и ионизируют нейтральные молекулы газа.

Возникает лавина электронов, которая разряжается на положительном электроде - тонкой нити внутри цилиндра.

В цепи появляется импульс напряжения.

Каждой частице попавшей в счетчик соответствует импульс напряжения.

По количеству импульсов определяется доза ионизирующего излучения.



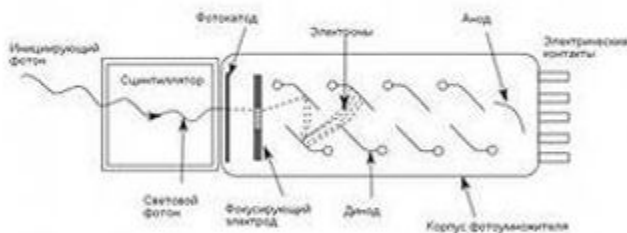
Дозиметр гамма-излучения ДКГ-PM1203



Дозиметр рентгеновского гамма-излучения ДКГ-PM1621

МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Сцинтилляционный счетчик



Состав:

- I — сцинтиллятор ZnS (Ag); NaI (Tl); антрацен, нафталин.;
- II — фокусирующий электрод;
- III — фотоэлектронный умножитель (ФЭУ).
- 1 — фотокатод;
- 2 — 7 — эмиттеры;
- 8 — коллектор (анод);
- 9 — нагрузочное сопротивление

Принцип работы:

При попадании ИИ в сцинтиллятор в объеме сцинтиллятора появляются вспышки света (кванты света):

- количество вспышек соответствует количеству частиц ИИ;
- интенсивность вспышек пропорциональна энергии частиц ИИ.

Кванты света попадают на фотокатод ФЭУ и выбивают из него электроны, которые ускоряются и умножаются системой его динодов.

В электрической цепи появляется импульс напряжения:

- каждой частице попавшей в сцинтиллятор соответствует импульс напряжения;
- величина импульса напряжения соответствует энергии частицы.

По количеству импульсов определяется доза ионизирующего излучения.

По величине импульса определяется энергия частиц, что позволяет идентифицировать радионуклид.



ФЭУ



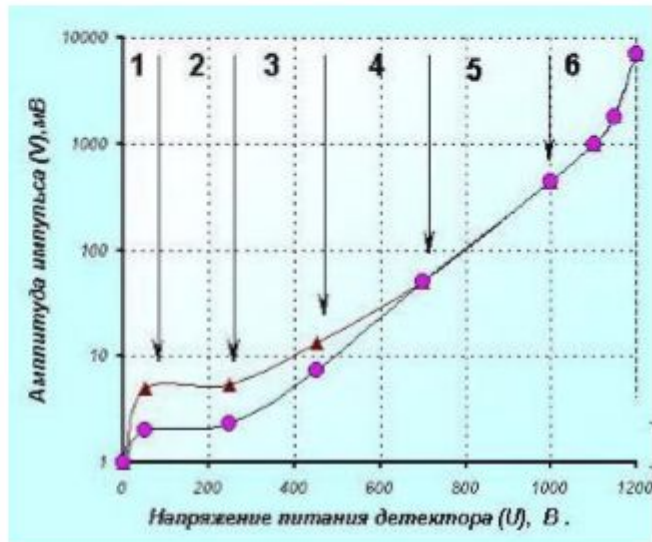
Радиометр-спектрометр
МКС- А02



Радиометр-спектрометр
МКС- А03

МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Вольтамперная характеристика газовых детекторов



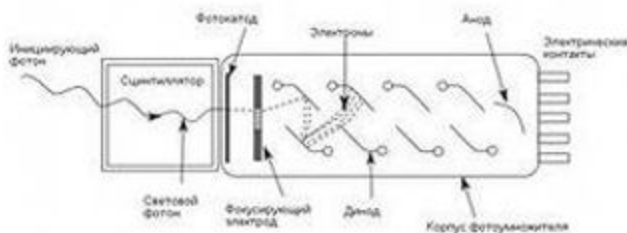
- 1 – область Ома;
- 2 – область ионизационной камеры;
- 3 – область пропорционального детектора;
- 4 – область ограниченной пропорциональности;
- 5 – область Гейгера;
- 6 – область непрерывного разряда



Рис. 5.4 Зависимость амплитуды импульса A от напряжения U для различных режимов работы импульсного ионизационного детектора

МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Сцинтилляционный счетчик



Состав:

- I — сцинтиллятор ZnS (Ag); NaI (Tl); антрацен, нафталин.;
- II — фокусирующий электрод;
- III — фотоэлектронный умножитель (ФЭУ).
- 1 — фотокатод;
- 2 — 7 — эмиттеры;
- 8 — коллектор (анод);
- 9 — нагрузочное сопротивление

Принцип работы:

При попадании ИИ в сцинтиллятор в объеме сцинтиллятора появляются вспышки света (кванты света):

- количество вспышек соответствует количеству частиц ИИ;
- интенсивность вспышек пропорциональна энергии частиц ИИ.

Кванты света попадают на фотокатод ФЭУ и выбивают из него электроны, которые ускоряются и умножаются системой его динодов.

В электрической цепи появляется импульс напряжения:

- каждой частице попавшей в сцинтиллятор соответствует импульс напряжения;
- величина импульса напряжения соответствует энергии частицы.

По количеству импульсов определяется доза ионизирующего излучения.

По величине импульса определяется энергия частиц, что позволяет идентифицировать радионуклид.



ФЭУ



Радиометр-спектрометр
МКС- А02



Радиометр-спектрометр
МКС- А03

Термолюминесцентные детекторы

Принцип работы:

Термолюминесценция возникает при нагревании вещества, предварительно возбуждённого светом или жёстким излучением.

Термолюминесценцией обладают минералы, содержащие примеси редкоземельных элементов (флюорит, апатит, ангидрит и др.), а также многие силикаты (полевой шпат, кварц, содалит и др.), карбонаты, сульфаты.

В кристаллофосфоре под действием излучения образуются свободные носители заряда (электроны и дырки).

Носители заряда локализуются в электронно-дырочных центрах захвата (ловушках) и удерживаются в них длительное время.

При нагревании (до 240-300°C) кристаллофосфора захваченные носители заряда освобождаются из ловушек и вызывают свечение (термолюминесценцию).

Количество квантов света пропорционально поглощенной дозе излучения.

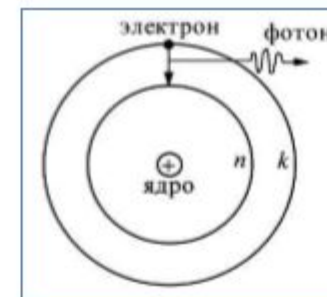
Образующийся световой поток регистрируется с помощью термолюминесцентных приборов (ФЭУ и др.).



Поглощение излучения в ТЛ-таблетке



Испускание света при нагревании ТЛ-таблетки



Анализ кривой термолюминесценции с помощью программного обеспечения ПЭС.
Вычисление отклика детектора.
Расчет величины поглощенной дозы



Система регистрации термолюминесценции и преобразования отклика в цифровой вид

Система преобразования

ФЭУ

Детектор

Система управления нагрева детектора

Способы регистрации нейтронов

Для регистрации нейтронов используются процессы :

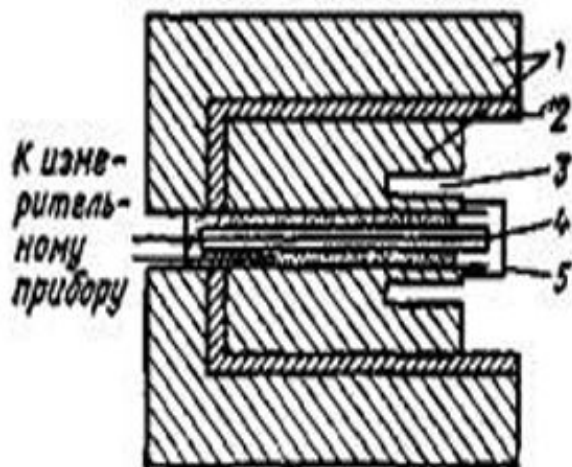
1. Рассеяния нейтронов на ядрах с передачей им энергии.
2. Захват нейтрона ядром, возбуждение ядра , переход ядра в невозбужденное состояние:
 - а). Расщепление ядра с испусканием заряженной частицы: ядерные реакции $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$, $^6\text{Li}(n, \alpha)^3\text{H}$, $^3\text{He}(n, p)^3\text{H}$.
 - б). Разделяется на осколки: деления тяжелых ядер ^{235}U и ^{239}Pu .
 - в). Испускание гамма-кванта.

Виды детекторов нейтронов:

- Пропорциональные счетчики.
- Камеры деления.
- Сцинтилляционные счетчики.
- Трековые детекторы.
- Термолюминесцентные дозиметры.
- Ядерные фотографические фотоэмульсии.

МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

1. Пропорциональные счетчики



1 - парафиновые блоки;
2 - экран слоя окиси бор; 3-
отверстия для повышения
эффективности счетчика;
4 - пропорциональный
борный счетчик;
5 - кадмиевый колпачком
для экранировки от
прямого пучка тепловых
нейтронов.

Назначение: регистрация быстрых нейтронов.

Способ регистрации: ядерная реакция $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$.

Энергия альфа-частиц и ядер лития, соответственно ,1,6
и 0,9 МэВ

Устройство:

Бор включается в наполнение двумя способами:

- счетчик заполняется газом BF_3 ;
- внутренняя поверхность стенки счетчика покрывается слоем твердого вещества B_4C .

Замедление быстрых нейтронов достигается помещением детектора в водородсодержащее вещество (парафин, полиэтилен).

МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

2. Камеры деления

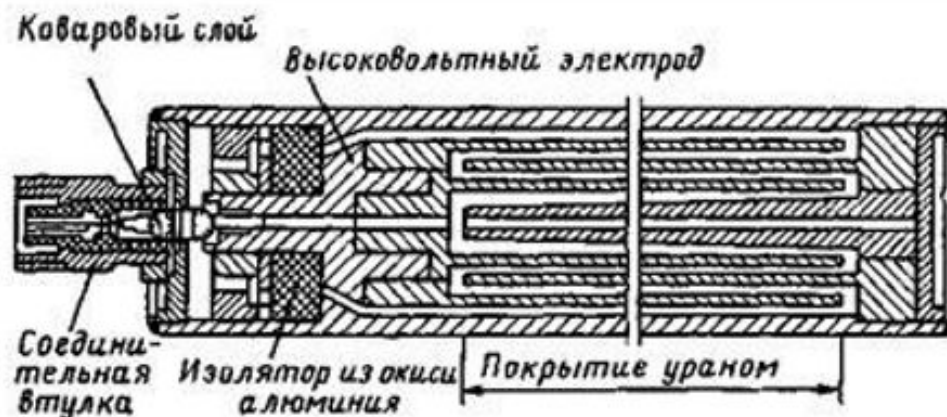
Назначение: регистрация нейтронов любых энергий.

Способ регистрации: деление тяжелых ядер (^{235}U и ^{239}Pu).

Устройство:

Делящееся вещество (^{235}U и ^{239}Pu) наносится тонким слоем (0,02 - 2 мг/см²) на электроды ионизационной камеры.

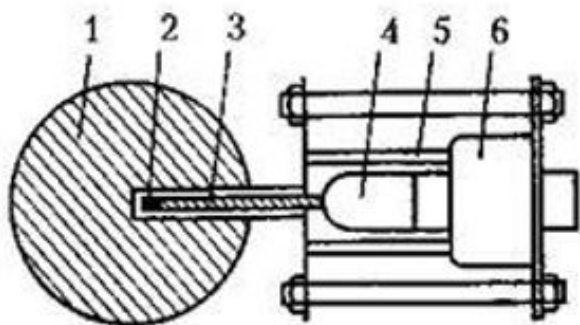
Ионизационная камера заполнена аргоном.



По сравнению с борными счетчиками камеры деления более долговечны и могут работать при высокой температуре.

Эффективность камер деления с ^{235}U равна 0,6%, что значительно ниже, чем для борных счетчиков.

3. Сцинтилляционные счетчики



1 - замедлитель; 2-
сцинтиллятор LiI(Eu);
3 - световод;
4 - ФЭУ;
5 - экран;
6 - предусилитель

Назначение: регистрация тепловых и быстрых нейтронов.

Способы регистрации быстрых нейтронов:

- смесь $ZnS(Ag)$ с плексигласовым порошком (замедлитель);
- смесь $ZnS(Ag)$ с парафином и полиэтиленом (замедлитель);
- сцинтилляторы содержащие водород (замедлитель) и бор

Регистрируются протоны отдачи и альфа-частицы с ядрами лития по реакции $^{10}B(n, \alpha)^7Li$.

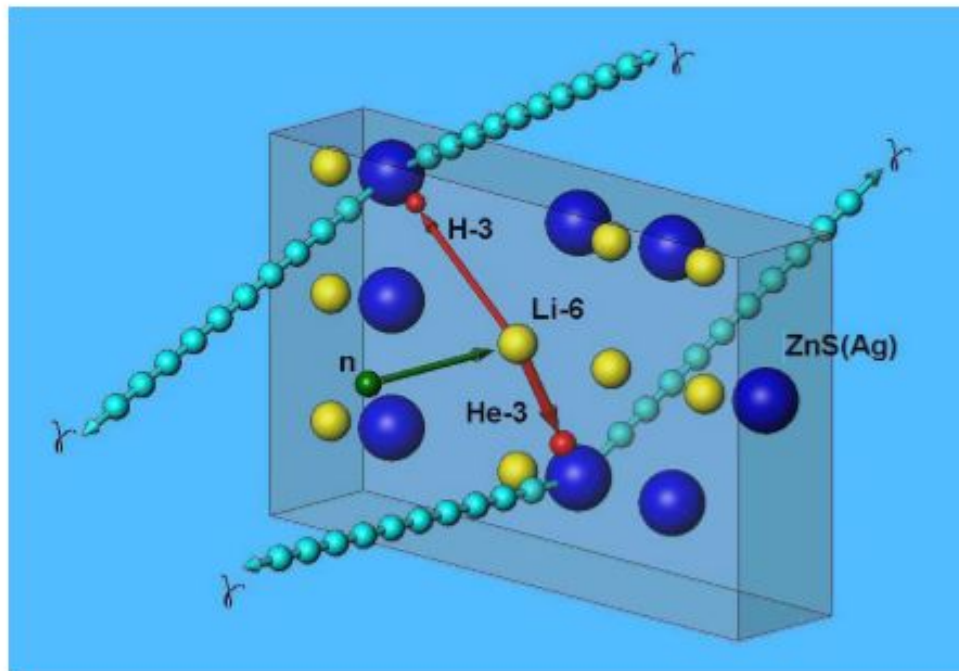
Способы регистрации тепловых нейтронов:

- сцинтилляторы из смеси $ZnS(Ag)$ с B_2O_3 ;
- смесь $ZnS(Ag)$ и делящееся вещество $^{238}UO_2(NO_3)_2$

МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Принцип работы нейтронного сцинтиллятора

Реакция захвата нейтрона: $6\text{Li} + n \rightarrow \text{He} + 3\text{H} + 4.8 \text{ MeV}$



4. Трековые детекторы

Трековый детектор:

При взаимодействии тяжелых заряженных частиц с твердыми веществами с большим электрическим сопротивлением (слюда, стекло, поликарбонат и др.) образуют ионные пары.

Электроны быстро удаляются от траектории частицы, а положительные ионы взаимно отталкиваются, повреждая кристаллическую структуру детектора (зону структурных повреждений диаметром порядка 5 мкм).

После облучения производится протравливание: слюда и стекло – плавиковой кислотой, полимерные материалы – щелочью.

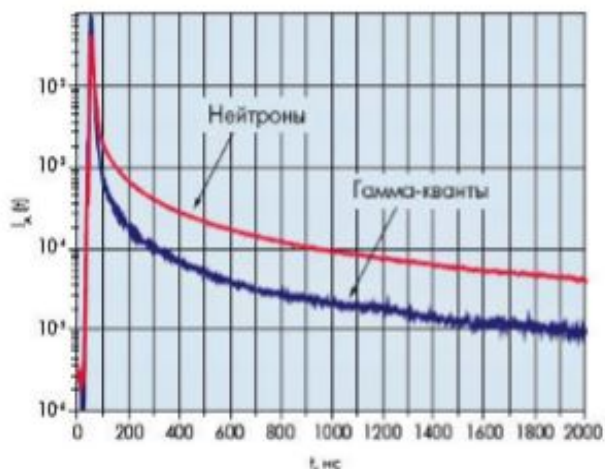
Треки сосчитаются с помощью обычного оптического микроскопа.

Трековый нейтронный детектор:

трековый детектор + делящийся материал (^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th , ^{237}Np , ^{239}Pu).

Повышение чувствительности за счет увеличения массы делящегося нуклида ограничено высокой удельной гамма – активностью ^{237}Np : один мг нуклида обуславливает дозу ~ 1.4 рад/год

5. Идентификация нейтронов и гамма-квантов на основе цифровых методов



Сложность дозиметрии нейтронов в том, что в потоке ионизирующего излучения обычно кроме нейтронов присутствуют и гамма-кванты, сигналы от которых трудно различить.

Задача может быть решена на основе цифровых методов.

Лучшие результаты дают методы идентификации нейтронов и гамма-квантов по форме *сцинтилляционного* импульса.

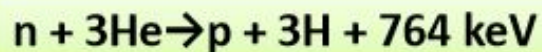
Суть метода: При использовании органических монокристаллов (стильбен, паратерфинил) и жидких сцинтилляторов форма импульсов радиолюминесценции характеризуется наличием двух компонент, высвечивание которых затухает в e раз за время порядка $\tau_1 \approx 5$ нс и $\tau_2 \approx 300$ нс соответственно (см. рис.).

Метод цифровой идентификации позволяет:

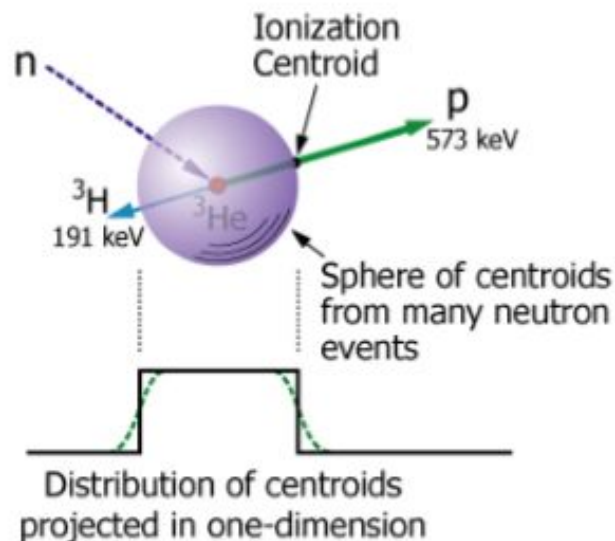
- измерять экв. дозу и мощность дозы одновременно и отдельно от нейтронов и гамма-квантов,;
- погрешность $\sim 10\%$.

МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Газовый детектор нейтронов



~25,000 электрон-ионных пар FWHM



Преимущества газовых детекторов:

- Практически нечувствительны к гамма
- высокое временное разрешение сигналов
- высокое пространственное разрешение

FWHM $\sim 0.8 \times$ пробег
протона (~ 4.2 мм при 1 атм. пропана)

МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

5. Термолюминесцентные дозиметры

1. Люминофор – фосфоры содержащие лития ${}^6\text{Li}$ (имеет большое сечение захвата тепловых нейтронов). Природный литий содержит 7,5% ${}^6\text{Li}$ и 92,5% ${}^7\text{Li}$.

Изотопный состав фосфоров, выпускаемых фирмой Harshaw:

Фосфор	${}^6\text{Li}$ %	${}^7\text{Li}$, %	Что регистрируется
ТЛД-100	7,5	92,5	
ТЛД-600	95,6	4,4	n тепловые + гамма-излучение
ТЛД-700	0,07	99,93	гамма-излучение

2. Люминофор на основе тетрабората лития. ${}^{10}\text{B}$ имеет большое сечение захвата тепловых нейтронов.

Чувствительность тетрабората лития и эффективность фильтров

Ионизирующее излучение	${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_2\text{O}_7$	${}^7\text{Li}_2{}^{10}\text{B}_4\text{O}_7$	Sn	Cd
n тепловые	нечувств.	очень чувств.	проходят	поглощаются
n надтепловые	нечувств.	чувств.	проходят	проходят
n быстрые	нечувств.	нечувств.	проходят	проходят
гамма-излучение	Чувств.	(эквивалентно)	частично проходит	проходят

ПРЕСЕЧЕНИЕ НЕЗАКОННОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДРМ ЧЕРЕЗ ТАМОЖЕННУЮ ГРАНИЦУ ТАМОЖЕННОГО СОЮЗА

Последовательность применения форм таможенного контроля ДРМ:

Таможенное наблюдение с использованием ТС ТКДРМ (**первичный радиационный контроль**).

Таможенный осмотр с использованием ТС ТКДРМ (дополнительный радиационный контроль товаров и транспортных средств без их вскрытия).

Таможенный досмотр с использованием ТС ТКДРМ (дополнительный радиационный контроль и углубленное радиационное исследование).

По результатам осуществления таможенного контроля (в формах таможенного осмотра и досмотра) назначается экспертиза ИИИ.

ТАМОЖЕННОЕ НАБЛЮДЕНИЕ (ПЕРВИЧНЫЙ РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ)

Цель – выявление объектов с повышенным относительно естественного радиационного фона уровнем ИИ.

Осуществляют – должностные лица таможенных органов, участвующие в таможенном контроле товаров и транспортных средств (требования по допуску к работам с ИИИ к указанным должностным лицам не предъявляются).

Используются ТС – **стационарные таможенные системы обнаружения ДРМ типа «Янтарь»** или переносные поисковые приборы типа РМ1401 с детекторами гамма- и нейтронного излучения.

Осуществляется постоянно – в пунктах пропуска через Государственную границу РФ, местах и пунктах международного почтового обмена, а также в местах доставки, являющихся одновременно и СВХ и местонахождением таможенного органа.

В иных случаях таможенное наблюдение (первичный РК) носит разовый характер.



ТАМОЖЕННЫЙ ОСМОТР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТС ТКДРМ (ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ТОВАРОВ И ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ БЕЗ ИХ ВСКРЫТИЯ)

Цель – определение на поверхности объекта точек (участков) с максимальной интенсивностью ИИ, измерение радиационных характеристик и оценка степени радиационной опасности.

Осуществляют – ДЛТО, имеющие допуск к работам с ИИИ (должностные лица досмотровых подразделений, уполномоченные на проведение ТКДРМ).



Используются ТС – поисковые приборы радиационного контроля, дозиметры, радиометры-спектрометры.

Основания для проведения:

- результаты таможенного наблюдения (первичного РК);
- выявление косвенных признаков наличия ДРМ (например, наличие на упаковке знака радиационной опасности);
- оперативная информация;
- сведения, содержащиеся в товаросопроводительных документах, которые указывают на наличие в товарах ДРМ.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ В РАМКАХ ТАМОЖЕННОГО ДОСМОТРА ТОВАРОВ И ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ



Цель – поиск и локализация ИИИ в составе объекта, предусматривающие вскрытие объекта, измерение радиационных характеристик и оценку степени радиационной опасности.

Осуществляют – должностные лица подразделений ТКДРМ.

Используются ТС – поисковые приборы радиационного контроля, дозиметры, радиометры-спектрометры.

Основание для проведения

- ▣ результаты таможенного наблюдения и дополнительного радиационного контроля в рамках таможенного осмотра.

УГЛУБЛЕННОЕ РАДИАЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ В РАМКАХ ТАМОЖЕННОГО ДОСМОТРА ТОВАРОВ И ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Цель – максимально возможная локализация, первичная идентификация ИИИ и предварительное отнесение ИИИ к одной из следующих групп:

ядерные материалы или изделия на их основе;

радиоактивные вещества или изделия на их основе;

радиоактивные отходы;

иные товары и транспортные средства с повышенным содержанием радионуклидов.



Осуществляют – должностные лица подразделений ТКДРМ.

Используются ТС – радиометры-спектрометры, гамма-спектрометры.

Основание для проведения

- результаты дополнительного радиационного контроля.

УГЛУБЛЕННОЕ РАДИАЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ В РАМКАХ ТАМОЖЕННОГО ДОСМОТРА ТОВАРОВ И ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Дальнейшие действия:

- обеспечение безопасного обращения с выявленным ИИИ (в т.ч. во взаимодействии с другими органами исполнительной власти);**
- при выявлении товаров с повышенным содержанием радионуклидов – контроль наличия разрешительных документов государственных органов, осуществляющих санитарно-эпидемиологический надзор;**
- привлечение к ответственности за нарушение таможенного законодательства.**

ПРЕСЕЧЕНИЕ НЕЗАКОННОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДРМ ЧЕРЕЗ ТАМОЖЕННУЮ ГРАНИЦУ ТАМОЖЕННОГО СОЮЗА

Основные этапы первичного реагирования при срабатывании технических средств ТКДРМ:

установление местонахождения объекта, вызвавшего срабатывание ТС, в зоне таможенного контроля (ЗТК);

повторное использование ТС, фиксирование канала (гамма- или нейтронного) ТС, по которому произошло срабатывание;

рассмотрение сопроводительных документов;

размещение объекта на определённом участке в ЗТК и обеспечение охраны;

дополнительный радиационный контроль;

документирование результатов таможенного контроля.

ПРЕСЕЧЕНИЕ НЕЗАКОННОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДРМ ЧЕРЕЗ ТАМОЖЕННУЮ ГРАНИЦУ ТАМОЖЕННОГО СОЮЗА

Основные направления повышения эффективности ТКДРМ с использованием ТС:

- ▣ объединение ТС ТКДРМ в единые системы реагирования на базе автоматизированных комплексов радиационного контроля;
- ▣ создание многоуровневой автоматизированной системы поддержки принятия решений (проект «Интеграция»).

ТАМОЖЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ДРМ, ПЕРЕМЕЩАЕМЫХ В РАМКАХ ВЭД

Таможенный контроль ДРМ в пунктах пропуска:

- ▣ при прибытии на таможенную территорию ТС, помещении под процедуру таможенного транзита (ТТ);
- ▣ при убытии с таможенной территории ТС.

Осуществляют – должностные лица таможенного органа, имеющие допуск к работам с ИИИ.

Используются ТС – поисковые приборы радиационного контроля, дозиметры, радиометры-спектрометры.

Таможенный контроль ДРМ при декларировании и выпуске ДРМ

Осуществляют – должностные лица подразделений ТКДРМ, имеющие допуск к работам с ИИИ.

Таможенный орган (место декларирования) должен обладать правомочиями на совершение таможенных операций в отношении ДРМ.

Используются ТС – поисковые приборы радиационного контроля, дозиметры, радиометры-спектрометры, гамма-спектрометры.

ТАМОЖЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ДРМ, ПЕРЕМЕЩАЕМЫХ В РАМКАХ ВЭД



Таможенный контроль ДРМ в пункте пропуска

ТАМОЖЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ДРМ, ПЕРЕМЕЩАЕМЫХ В РАМКАХ ВЭД

Особенности осуществления таможенного контроля ДРМ при их декларировании и выпуске

- ▣ **Документальный контроль** – предусматривает участие специалистов подразделения ТКДРМ при проверке сведений, заявленных в декларации на товары, контроле правильности определения кода товара по ТН ВЭД ТС, а также при контроле соблюдения запретов и ограничений.
- ▣ **Фактический контроль** – осуществляется специалистами подразделения ТКДРМ в форме таможенного досмотра (без вскрытия контейнера).
- ▣ **Таможенный досмотр** – предусматривает:
 - измерение МЭД и поверхностного загрязнения радионуклидами;
 - определение с использованием γ -спектрометров количественных и качественных характеристик ДРМ (наименование, изотопный состав – для ЯМ, активность – для РВ).

**Стационарная таможенная
система обнаружения ДРМ
«Янтарь»**

Стационарная таможенная система обнаружения ДРМ «Янтарь»

Назначение и модификации

Назначение: обнаружение незаконного перемещения через таможенную границу ДРМ и иных товаров с повышенным уровнем ИИ.



Янтарь-1СН



Янтарь-2П



Янтарь-1А



Янтарь-1Ж

Модификации: пешеходный (П), автомобильный (А, У), железнодорожный (Ж), пешеходно-багажный (1С), автомобильно-железнодорожный (2С).

Стационарная таможенная система обнаружения ДРМ «Янтарь»

Технические характеристики

- режим работы – автоматический, непрерывно, круглосуточно;
- обнаруживаемое излучение – гамма и нейтроны, гамма (1С и 2С) (Для целей таможенного контроля должны использоваться только модификации СТСО ДРМ «Янтарь», имеющие детекторы γ - и нейтронного излучений).
- ширина полосы контроля – 1.5м (П), 10м (1Ж);
- сигнализация – звуковая, световая (на стойке и на пульте);
- скорость движения объекта контроля: 15 км/ч (автомобили), 25 км/ч (ж/д транспорт)
- гамма-детектор – на основе органических пластмассовых сцинтилляторов;
- нейтронный детектор – на основе ^3He -пропорциональных счетчиков;
- автоматическая адаптация к изменению естественного фона;
- запись в архив информации о событии: дата, время, скорость счета детекторов, тип канала (гамма- или нейтронный). При комплектовании системой видеорегистрации дополнительно записывается видеоролик объекта тревоги;
- диапазон рабочих температур – От -50°C до $+50^\circ\text{C}$;
- соответствие требованиям к аппаратуре ядерного приборостроения по ЭМС;
- возможность удаленного доступа;
- срок службы - 12 лет;



Пешеходные и почтово-багажные



Транспортные

Стационарная таможенная система обнаружения ДРМ «Янтарь»

Характеристики модификаций системы «Янтарь»

Условное обозначение прибора	Типичное применение	Рекомендуемая ширина полосы контроля, м	Каналы регистрации
Янтарь-1П	Пешеходный	0,7–1,5	Гамма и нейтроны
Янтарь-2П	Пешеходный	0,3–3,0	Гамма и нейтроны
Янтарь-1А	Автомобильный (грузовой)	6,0	Гамма и нейтроны
Янтарь-2А	Автомобильный (грузовой)	4,0	Гамма и нейтроны
Янтарь-1Ж	Железнодорожный	6,2	Гамма и нейтроны
Янтарь-2Ж	Железнодорожный	5,0	Гамма и нейтроны
Янтарь-1СН	Пешеходный, багажный	3,0	Гамма и нейтроны
Янтарь-2СН	Автомобильный, железнодорожный	6,0	Гамма и нейтроны

Стационарная таможенная система обнаружения ДРМ «Янтарь»

Минимальные значения масс ядерных материалов, обнаруживаемые системой «Янтарь», (г)

Тип системы	Плутоний-239	Уран-235	Плутоний-239 в защите
Янтарь-1П	0,36	12,5	26,4
Янтарь-2П	0,30	5,7	22,0
Янтарь-1Ж	11,00	1747	348
Янтарь-1А	3,50	374	80

Чувствительность по гамма-излучению – 400тыс.расп./сек (Cs-137) для
Янтарь-2П.

Стационарная таможенная система обнаружения ДРМ «Янтарь»

Минимальные значения активности источников гамма-излучения, обнаруживаемые системой «Янтарь», (кБк)

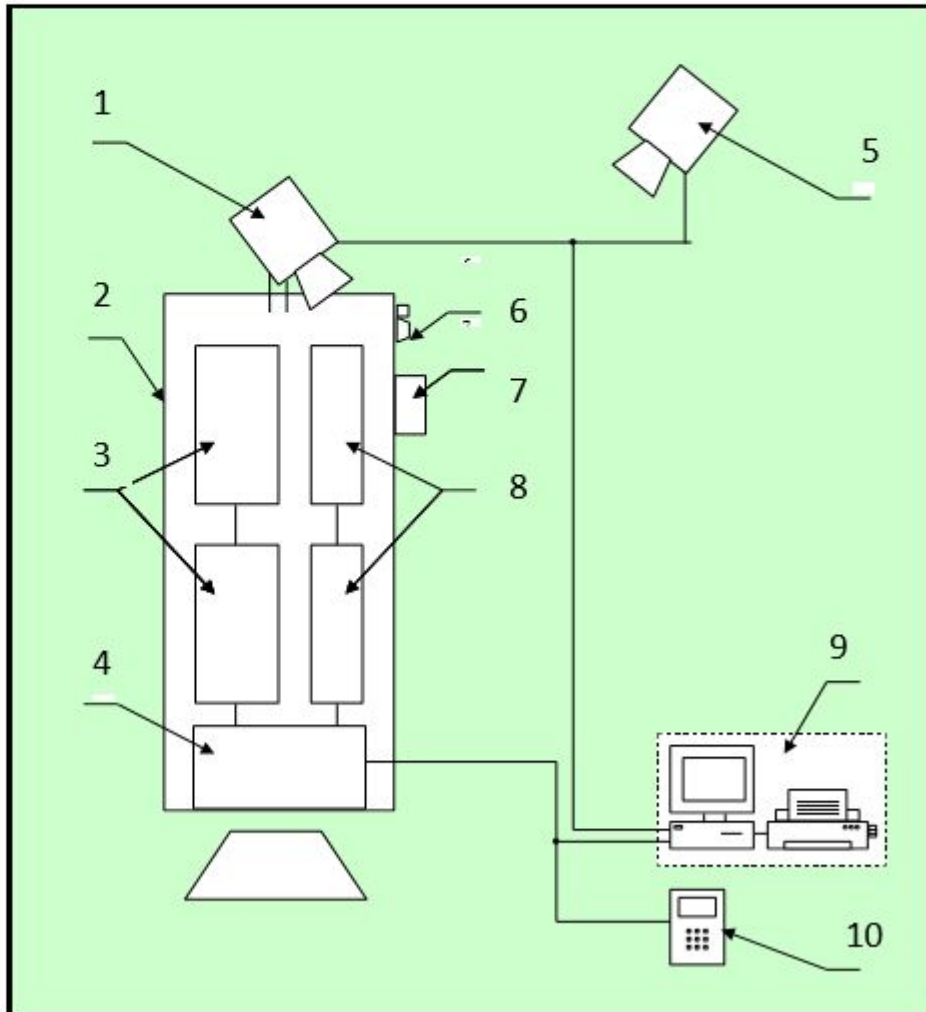
Тип системы	Cs-137	Co-60	Ra-226	Th-232	K-40
Янтарь-1С	420	118	177	180	2360
Янтарь-1П	40	56	43	43	1133
Янтарь-2П	11	7,4	7,4	7,4	444
Янтарь-1Ж	900	300	400	450	5400
Янтарь-1А	300	91	136	143	1800

Проверка чувствительности систем «Янтарь» производится с использованием:

- источников гамма-излучения *Ba-133*, *Cs-137*, *Co-60* (проверка гамма-канала);
- источников нейтронов: *Cf-252* и *Sm-244* (проверка нейтронного канала).

Стационарная таможенная система обнаружения ДРМ «Янтарь»

Схема устройства СТСО ДРМ «Янтарь-1П»



1. Камера видеонаблюдения
2. Корпус стойки
3. Блок детектирования гамма-излучения
4. Блок питания и обработки информации
5. Камера видеонаблюдения обзорная
6. Световая и звуковая сигнализации
7. Датчик присутствия
8. Блок детектирования нейтронов
9. Рабочее место оператора (АРМ)
10. Пульт ПВЦ-01 (в комнате оперативного дежурного.)

Стационарная таможенная система обнаружения ДРМ «Янтарь»

Принцип работы

Режим измерения фона (объект контроля отсутствует):

1. Непрерывно измеряется естественный радиационный фон по нейтронному и гамма-излучению N_{ϕ} (количество зарегистрированных частиц в единицу времени).
2. Определяется порог срабатывания по формуле: $N_{\text{пор}} = N_{\phi} + L \cdot \sqrt{N_{\phi}}$
 L – число устанавливаемое при настройке – 4, 6, 8

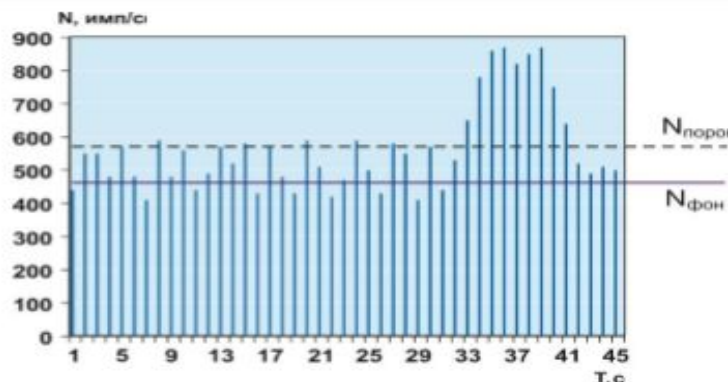
Режим контроля (после срабатывания датчика присутствия).

Сигнализация срабатывает если $N \geq N_{\text{пор}}$

N - значение скорости счета при наличии объекта контроля.

Длительность режима контроля – несколько секунд.

Ложное срабатывание возможно если перед измерением очередного объекта предыдущий объект контроля задержался и началось измерение фона. Наличие при этом объекта в месте измерения приводит к снижению фона и, следовательно, к снижению порога срабатывания.

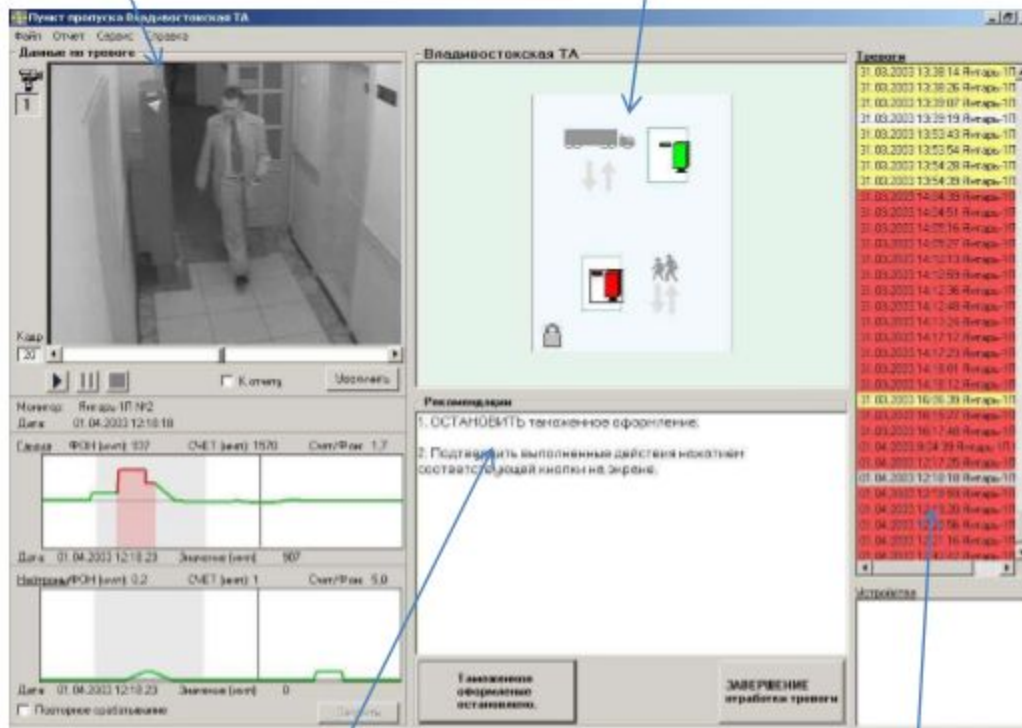


Стационарная таможенная система обнаружения ДРМ «Янтарь»

Окно данных при тревоге

Видеоролик

К серверу подключены пешеходный и автомобильный варианты системы



В окно выводятся:

1. Видеоролик
2. Название монитора
3. Время тревоги
4. Максимальная скорость счета, фон и их отношение
5. График счета
6. Рекомендации оператору по первому этапу обработки тревоги
7. Карта объекта, где сработал монитор
8. Запись о тревоге в списке тревог

Рекомендации для оператора

Журнал срабатываний

Стационарная таможенная система обнаружения ДРМ «Янтарь»

Техническое обслуживание

№№ пп	Вид технического обслуживания	Периодичность
1	Внешний осмотр	Ежедневно
2	Чистка и протирка наружных частей от пыли	
3	Промывка спиртом розеток и вилок	1 раз в 6 месяцев
4	Удаление пыли с внутренних узлов стойки	
5	Проверка параметров калибровки	
6	Проверка работы нейтронного и гамма-каналов	
7	Проверка количества ложных срабатываний	1 раз в год
8	Проверка состояния аккумуляторов	
9	Профилактические работы	При появлении неисправностей