П.Н. Афонин

РАБОТА НА ДОСМОТРОВЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ АППАРАТАХ

учебное пособие
для студентов по специальности «Таможенное дело»

ИЦ Интермедия
Санкт-Петербург
2017

ББК 32.005я73
А94

Рецензенты

Г.А. Родин – доктор технических наук, старший научный сотрудник, начальник отдела 1-го Центрального научно-исследовательского института Министерства обороны России;

А.В. Кулешов – кандидат технических наук, профессор кафедры Организации таможенного контроля Санкт-Петербургского имени В. Б. Бобкова филиала Российской таможенной академии.

Афонин П.Н.
А94 Работа на досмотровых рентгеновских аппаратах: учебное пособие / Афонин П.Н: учебное пособие. – СПб.: ИЦ Интермедия, 2017. –240 с.

Учебное пособие разработано в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования. Содержит сведения о видах и источниках ионизирующих излучений, их воздействии на биологические объекты, нормах и правилах организации труда при работе сотрудников таможенных органов с досмотровыми рентгеновскими аппаратами, дозиметрии ионизирующих излучений, основных видах досмотровой рентгеновской аппаратуры – от портативных установок до стационарных томографов и инспекционно-досмотровых комплексов. Приведены принципы поиска скрытых вложений с использованием досмотровой рентгеновской аппаратуры. Предназначен для государственных гражданских служащих таможенных органов Российской Федерации, слушателей факультетов повышения квалификации и студентов Российской таможенной академии.

© ООО «Издательский центр”Интермедия”», 2017
© П.Н. Афонин, 2017

Содержание

ВВЕДЕНИЕ **5**

ГЛАВА 1. ВИДЫ И ИСТОЧНИКИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ **6**

1.1. Открытие и применение рентгеновского излучения 6
1.2. Виды ионизирующих излучений 9
1.3. Единицы измерений ионизирующих излучений 11
1.4. Источники ионизирующего излучения 17

ГЛАВА 2. ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА **30**

2.1. Воздействие радиации на человека 30
2.2. Лучевая болезнь 35

ГЛАВА 3. ОХРАНА ТРУДА ПРИ РАБОТЕ С ДОСМОТРОВОЙ РЕНТГЕНОТЕЛЕВИЗИОННОЙ АППАРАТУРОЙ В ТАМОЖЕННЫХ ОРГАНАХ **43**

3.1. Техника безопасности при досмотровых мероприятиях с использованием досмотровой рентгенотелевизионной аппаратуры 43
3.2. Основы электробезопасности при работе с досмотровой рентгенотелевизионной аппаратурой 47
3.3. Порядок обучения вопросам охраны труда и проверки знаний требованиям охраны труда должностных лиц таможенных органов 56
3.4. Требования радиационной безопасности при использовании источников ионизирующего излучения (генерирующих) 61
3.5. Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при обращении с лучевыми досмотровыми установками 70
3.6. Радиационно-гигиеническая паспортизация организаций и территорий 82
3.6. Ответственность за нарушение санитарного законодательства РФ 83
3.7. Санитарные нормы и правила радиационной безопасности 85

ГЛАВА 4. ОСНОВЫ ДОЗИМЕТРИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ И КОНТРОЛЯ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ **98**

4.1. Основные виды приборов в дозиметрии 98
4.2. Порядок проведения индивидуального дозиметрического контроля 108
4.3. Организация и порядок проведения дозиметрического контроля на рентгеновском аппарате 111

ГЛАВА 5. РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ **117**

5.1. Природа рентгеновского излучения 117
5.2. Получение рентгеновских лучей. Рентгеновская трубка 119
5.3. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом 125
5.4. Поглощение рентгеновских лучей. Образование теневых картин 129

ГЛАВА 6. СОВРЕМЕННАЯ ДОСМОТРОВАЯ РЕНТГЕНОВСКАЯ ТЕХНИКА **135**

6.1. Классификация досмотровой рентгеновской техники 135
6.2. Рентгеновские аппараты сканирующего типа 137
6.3. Досмотровые рентгеновские системы для томографии грузов 155
6.4. Досмотровые флюороскопы 158
6.5. Рентгенотелевизионные системы «Homo-scan» для персонального досмотра 169

6.6. Комплексные досмотровые системы 172
6.7. Методика сравнительных испытаний рентгенотелевизионных установок (РТУ) 174
6.8. Об эксплуатации досмотровой рентгенотелевизионной техники на СВХ 177
6.9. Контроль качества изображений, получаемых с использованием ДРТ 178

ГЛАВА 7. ИНСПЕКЦИОННО-ДОСМОТРОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ 186

7.1. Стационарные инспекционно-досмотровые комплексы 187
7.2. Перемещаемые инспекционно-досмотровые комплексы 198
7.3. Мобильные инспекционно-досмотровые комплексы 204
7.4. Выявление нарушений таможенного законодательства с помощью ИДК 214
7.5. Проблемы применения ИДК в ФТС России 217

ЛИТЕРАТУРА 219

Введение

Любое государство, вне зависимости от политического строя и географического положения, не застраховано от трансграничной и внутренней преступности. Вот почему безопасность страны, защита права граждан на жизнь и здоровье, противодействие терроризму – первоочередные задачи, которые стоят сегодня не только перед Россией, но и перед всем мировым сообществом. Решить их можно только при соответствующем уровне развития технологий, которые позволяют государственным органам эффективно бороться с преступностью и терроризмом.

Средства и методы неразрушающего рентгеновского контроля: инспекционно-досмотровый таможенный контроль или контроль входящей корреспонденции, а также контроль качества промышленных сооружений, транспортных средств, нефте- и газопроводов, мостовых конструкций и т.п. – всегда призваны повышать безопасность. Но самой актуальной сегодня является проблема таможенного контроля, особенно в нашей стране. Известно, что незаконный ввоз в страну из-за границы груза, даже если это товары гражданского назначения, которые сами по себе не опасны, тем не менее опасен для государства, так как подрывает его экономику. Опасность же ввоза оружия и наркотиков не нуждается в объяснениях.
В условиях роста объемов международной торговли вероятность такого ввоза постоянно возрастает, поэтому противодействовать ему можно только с помощью современных средств таможенного контроля. По данным мировой статистики, инструментально проверяется лишь 5% грузов, проходящих через таможню, а из них только 30% соответствует поданным декларациям. И здесь рентгеновская техника просто необходима.

Однако работа на досмотровых рентгеновских аппаратах является весьма опасным видом деятельности, требующим особых знаний в области радиационной безопасности, электробезопасности, санитарных норм и правил.

В этой связи особую актуальность приобретает обеспечение необходимого профессионального уровня сотрудников таможенных органов, работающих с досмотровой рентгеновской аппаратурой.

Глава 1. Виды и источники ионизирующих излучений

1.1. Открытие и применение рентгеновского излучения

Рис. 1.1. Вильгельм Конрад Рентген (1845-1923)

Открытие рентгеновского излучения приписывается Вильгельму Конраду Рёнтгену[1]. Он был первым, кто опубликовал статью о рентгеновских лучах, которые он назвал икс-лучами (X-ray). Статья Рентгена под названием «О новом типе лучей» была опубликована 28-го декабря 1895 года в журнале Вюрцбургского физико-медицинского общества. Считается, однако, доказанным, что рентгеновские лучи были уже получены до этого. Катодолучевая трубка, которую Рентген использовал в своих экспериментах, была разработана Й. Хитторфом[2] и В. Круксом[3]. При работе этой трубки возникают рентгеновские лучи. Это было показано в экспериментах Крукса и с 1892 года в экспериментах Генриха Герца[4].

---

[1] Вильгельм Конрад Рентге́н – Wilhelm Conrad Röntgen (Рёнтген) (1845, Линнепе, Германская империя –1923, Мюнхен, Германия) – немецкий физик, работал в Вюрцбургском университете. С 1875 профессор в Гогенгейме, затем, с 1876 профессор физики в Страсбурге, с 1879 в Гиссене, с 1885 в Вюрцбурге, с 1899 в Мюнхене. Первый лауреат Нобелевской премии по физике.

[2] Хитторф Иоганн Вильгельм (Johann Wilhelm Hittorf) (1824, Бонн, Швейцария – 1914, Мюнстер, Германия), немецкий химик и физик. Установил, что при электролизе растворов скорости передвижения положительных и отрицательных ионов неодинаковы. Назвал доли общего количества электричества, переносимые каждым видом ионов, числами переноса, разработал методику их определения и выяснил числа переноса для многих электролитов. Исследовал спектры раскалённых газов (1864), прохождение электричества через сильно разреженные газы (1869-83), наблюдал катодные лучи (1869) и описал их свойства, положив тем самым начало их изучению.

[3] Сэр Уильям Крукс – Sir William Crookes (1832, Лондон, Англия – 1919, Лондон, Англия) – английский химик и физик, член (с 1863 года) и Президент (в 1913–1915 годах) Лондонского Королевского общества, от которого он в 1875 году получил Королевскую золотую медаль. В 1897 году королева Виктория пожаловала ему рыцарское звание. В 1910 году он получил «Орден заслуг». Крукс вошел в историю как человек, открывший таллий и впервые получивший гелий в лабораторных условиях.

[4] Генрих Рудольф Герц – Heinrich Rudolf Hertz (1857, Гамбург, Германия –1894, Бонн, Германия) – немецкий физик. Окончил университет в Берлине, где его учителями были Герман фон Гельмгольц и Густав Кирхгоф. С 1885 по 1889 был профессором физики технического университета в Карлсруэ. С 1889 – профессор физики университета в Бонне. Экспериментально подтвердил электромагнитную теорию света Джеймса Максвелла. Доказал существование электромагнитных волн, подробно исследовав их отражение, интерференцию, дифракцию и поляризацию. Именем Герца с 1933 года называется единица измерения частоты Герц, которая входит в международную метрическую систему единиц СИ.

Биография

Вильгельм Конрад Рентген родился в Линнепе (современное название Ремшайд) единственным ребёнком в семье. Отец был купцом и производителем одежды. Мать, Шарлотта Констанца (в девичестве Фровейн), была родом из Амстердама. В марте 1848 года, семья переезжает в Апельдорн (Голландия). Первое образование Вильгельм получает в частной школе Мартинуса фон Дорна. С 1861 он посещает Утрехтскую Техническую школу, однако в 1863 его отчисляют из-за несогласия выдать нарисовавшего карикатуру на одного из преподавателей.

В 1865 году Рентген пытается поступить в Утрехтский университет, несмотря на то, что по правилам он не мог быть студентом этого университета. Затем он сдаёт экзамены в Федеральный политехнический институт Цюриха, и становится студентом отделения механической инженерии, после чего в 1869 году выпускается со степенью доктора философии.

Однако, поняв, что его больше интересует физика, Рентген решил перейти учиться в университет. После успешной защиты диссертации он приступает к работе в качестве ассистента на кафедре физики в Цюрихе, а потом в Гиссене. В период с 1871 по 1873 год Вильгельм работал в Вюрцбургском университете, а затем вместе со своим профессором Августом Адольфом Кундтом перешёл в Страсбургский университет в 1874 году, в котором проработал пять лет в качестве лектора (до 1876 года), а затем в качестве профессора (с 1876 года). Также в 1875 году Вильгельм становится профессором Академии Сельского Хозяйства в Каннингеме (Виттенберг). Уже в 1879 году он был назначен на кафедру физики в университете Гиссена, которую впоследствии возглавил. С 1888 года Рентген возглавил кафедру физики в Университете Вюрцбурга, позже, в 1894 году, его избирают ректором этого университета. В 1900 году Рентген стал руководителем кафедры физики университета Мюнхена – она стала последним местом его работы. Позже, по достижении предусмотренного правилами предельного возраста, он передал кафедру Вильгельму Вину, но всё равно продолжал работать до самого конца жизни.

У Вильгельма Рентгена были родственники в США, и он хотел эмигрировать, но даже несмотря на то, что его приняли в Колумбийский университет в Нью-Йорке, он остался в Мюнхене, где и продолжалась его карьера.

Умер Вильгельм Конрад Рентген 10 февраля 1923 года от рака.

Карьера

Рентген исследовал пьезоэлектрические и пироэлектрические свойства кристаллов, установил взаимосвязь электрических и оптических явлений в кристаллах, проводил исследования по магнетизму, которые послужили одним из оснований электронной теории Хендрик Антон Лоренца.

Открытие лучей

Несмотря на то, что Вильгельм Рентген был трудолюбивым человеком и будучи руководителем физического института Вюрцбургского университета, имел обыкновение допоздна засиживаться в лаборатории, главное открытие в своей жизни – икс-излучение, он совершил когда ему было уже 50 лет. 8 ноября 1895 года, когда его ассистенты уже ушли домой, Рентген продолжал работать. Он снова включил ток в катодной трубке, закрытой со всех сторон плотной чёрной бумагой. Кристаллы платиноцианистого бария, лежавшие неподалёку, начали светиться зеленоватым цветом. Учёный выключил ток – свечение кристаллов прекратилось. При повторной подаче напряжения на катодную трубку свечение в кристаллах, никак не связанных с прибором, возобновилось.

В результате дальнейших исследований учёный пришёл к выводу, что из трубки исходит неизвестное излучение, названное им в последствии икс-лучами. Эксперименты Рентгена показали, что икс-лучи возникают в месте столкновения катодных лучей с преградой внутри катодной трубки. Учёный сделал трубку специальной конструкции – антикатод был плоским, что обеспечивало интенсивный поток икс-лучей. Благодаря этой трубке (она в последствии будет названа рентгеновской) он изучил и описал основные свойства ранее неизвестного излучения, которое получило название – рентгеновское. Как оказалось, икс-излучение способно проникать сквозь многие непрозрачные материалы; при этом оно не отражается и не преломляется. Рентгеновское излучение ионизирует окружающий воздух и засвечивает фотопластины. Также Рентгеном были сделаны первые снимки с помощью рентгеновского излучения.

Открытие немецкого учёного очень сильно повлияло на развитие науки. Эксперименты и исследования с использованием рентгеновских лучей помогли получить новые сведения о строении вещества, которые вместе с другими открытиями того времени заставили пересмотреть целый ряд положений классической физики. Через короткий промежуток времени рентгеновские трубки нашли применение в медицине и различных областях техники.

К Рентгену не раз обращались представители промышленных фирм с предложениями о выгодной покупке прав на использование изобретения. Но Вильгельм отказался запатентовать открытие, так как не считал свои иссле-дования источником дохода.

К 1919 году рентгеновские трубки получили широкое распространение и применялись во многих странах. Благодаря им появились новые направления науки и техники – рентгенология, рентгенодиагностика, рентгенометрия, рентгеноструктурный анализ и др.

Личная жизнь

Вильгельм был женат, но детей не имел. Жена умерла в 1919 году, на тот момент учёному было 74 года.

Награды

Рис. 1.2. Памятник В.К. Рентгену в Санкт-Петербурге

Рентген был честным и очень скромным человеком. Когда принц-регент Баварии за достижения в науке наградил учёного высоким орденом, дававшим право на дворянский титул и соответственно на прибавление к фамилии частицы «фон», Рентген не счёл для себя возможным притязать на дворянское звание. Нобе-левскую же премию по физике, которую ему, первому из физиков, присудили в 1901 году, Вильгельм принял, но отказался приехать на церемонию вручения, сославшись на заня-тость. Премию ему переслали почтой. Правда, когда правительство Германии во время Первой мировой войны обратилось к населению с просьбой помочь государству деньгами и ценностями, Вильгельм Рентген отдал все свои сбережения, включая Нобелевскую премию.

Память

Один из первых памятников Вильгельму Рентгену был установлен 29 января 1920 года в Санкт-Петербурге (временный бюст из цемента, постоянный из бронзы был открыт 17 февраля 1928 года), перед зданием Центрального научно-исследовательского рентгено-радиологического института.

В 1923 году, после смерти Вильгельма Рентгена, была названа его именем улица в Санкт-Петербурге. В честь учёного названа внесистемная единица дозы гамма-излучения Рентген.

Российские ученые были в числе тех, кто первым откликнулся на великое открытие Рентгена, и приняли активное участие в научных исследованиях и применении нового излучения. А.С. Попов в январе 1896 года создал первую в стране рентгеновскую трубку и провел медицинские исследования. В.Н. Тонков в феврале 1896 года сообщил о применении рентгеновских лучей для изучения скелета человека, он был одним из родоначальников рентгеноанатомии. А.К. Яновский в феврале 1896 года начал систематические рентгенологические исследования больных в Военно-медицинской академии. И.В. Тарханов одним из первых показал биологическое действие рентгеновского излучения. В 1918 году в Петрограде был открыт первый в мире специализированный рентгенологический институт.

В СССР в развитии исследований и применении рентгеновских лучей большую роль сыграл организованный в 1923 году Физико-технический институт, которым руководил А.Ф. Иоффе, ученик В.К. Рентгена.

1.2. Виды ионизирующих излучений

Ионизирующие излучения (ИИ) получили свое название по свойству, отличающему их от остальных излучений – по способности вызывать *ионизацию* атомов и молекул в облучаемом веществе. Элементарный акт взаимодействия излучения с веществом – это поглощение энергии кванта валентным электроном, приводящее к переходу атома или молекулы в возбужденное состояние вплоть до высвобождения электрона. Оставшаяся часть атома или молекулы, приобретая

положительный заряд, становится положительным ионом. Свободный электрон, ассоциируясь с одним из нейтральных атомов, порождает отрицательный ион. Для ионизации большинства химических элементов, входящих в состав биосубстратов, необходимо поглощение всего 10 – 12 эВ энергии. Это так называемый потенциал ионизации. Если энергия, передаваемая веществу меньше потенциала ионизации, происходит лишь возбуждение атомов или молекул.

Другое важное свойство ИИ – это *проникающая способность*. Глубина проникновения ИИ зависит, с одной стороны, от природы излучения, а с другой стороны – от состава и плотности облучаемого объекта.

По своей природе все ИИ подразделяются на электромагнитные и корпускулярные излучения. К электромагнитным относятся рентгеновское и γ-излучение. Электроны и позитроны (β-частицы), протоны (ядра водорода), дейтроны (ядра дейтерия), α-частицы (ядра гелия) и тяжелые ионы (ядра других элементов) имеют корпускулярную природу. Кроме того, к корпускулярным излучениям относят не имеющие заряда нейтроны и отрицательно заряженные мезоны, в частности π-мезоны, имеющие значительную перспективу использования в радиационной онкологии.

α- и β-излучения обладают слабой проникающей способностью. β-излучение полностью поглощается 2–3-миллиметровым слоем металла, а α-излучение – даже тонким слоем обычной бумаги. Однако, радионуклиды, излучающие α- и β-частицы, при попадании внутрь организма могут представлять большую опасность для человека.

Излучения, состоящие из заряженных частиц – электронов, позитронов (β-частиц), α-частиц (ядер гелия) и др., которые, при прохождении через вещество, непосредственно ионизируют атомы и молекулы называют *непосредственно ионизирующими*.

Незаряженные частицы нейтроны и фотоны могут создавать непосредственно ионизирующее излучение и (или), взаимодействуя с веществом, вызывать ядерные превращения, порождая вторичные заряженные частицы и передавая им часть своей энергии. Взаимодействие этих вторичных частиц с веществом также приводит к его ионизации. Такие излучения называют *косвенно ионизирующими*.

Фотонное излучение – электромагнитное косвенно ионизирующее излучение.

Рентгеновское излучение – фотонное излучение, состоящее из тормозного и (или) характеристического излучения, генерируемое рентгеновскими аппаратами.

Характеристическое излучение – фотонное излучение с дискретным энергетическим спектром, возникающее при изменении энергетического состояния атома.

Тормозное излучение – фотонное излучение с непрерывным энергетическим спектром, испускаемое при уменьшении кинетической энергии заряженных частиц.

Область, в которой распространяется излучение, называют полем излучения и характеризуют[5]:

– энергией частиц;

– направлением их распространения;

---

[5] Кутьков В.А., Ризин Ф.И., Фертман Д.Е., Шумов С.А. Терминология ядерного приборостроения. Справочное пособие в 2-х томах. Том I. Ядерное приборостроение. Физические явления и основные понятия. – М.: Издательский Дом «Технология», 2006.

– флюенсом частиц[6]; и т.д.

Существует несколько основных типов направленности излучения:

поле точечного изотропного источника – излучение, в поле которого частицы и фотоны распространяются из одной точки по всем возможным направлениям с одинаковой вероятностью;

мононаправленное – излучение, в поле которого все частицы и фотоны распространяются в одном направлении, образуя плоскопараллельный пучок излучения;

изотропное – излучение, в поле которого любые направления распространения частиц и фотонов являются равновероятными.

Свойства среды, в которой распространяется излучение, оказывает существенное влияние на его поле.

В частности, в вакууме поле излучения радионуклидного источника имеет вид поля точечного изотропного источника. Это утверждение справедливо, когда расстояние между источником и приемником излучения многократно превосходит линейные размеры источника. По мере увеличения расстояния от источника поле его излучения в вакууме переходит в мононаправленное.

При распространении излучения в рассеивающей среде, например, в теле человека, целесообразно рассматривать его состоящим из двух компонент. Первая – нерассеянное первичное излучение, которое распространяется подобно тому, как излучение источника распространяется в вакууме, с той лишь разницей, что эта компонента истощается вследствие взаимодействия первичного излучения с веществом. Испытавшие взаимодействие с веществом частицы образуют вторую компоненту – рассеянное первичное излучение. Вклад этой компоненты растет по мере проникновения излучения в облучаемый объект. С увеличением глубины проникновения излучения в вещество поле вторичного излучения становится все более изотропным в результате многократных актов рассеяния.

С необходимостью измерения ИИ столкнулись уже первые исследователи, пытавшиеся применить их в медицинской практике. Спустя неделю после доклада В.К. Рентгена о свойствах открытых им лучей американским физиком Эмилем Груббе был проведен сеанс лучевого лечения рака молочной железы и, по-видимому, был получен хороший результат, так как в позже Груббе получил медицинское образование и открыл частную рентгенотерапевтическую клинику. Однако интенсивность лучевых воздействий на раннем этапе практического применения ИИ определялась эмпирически, в основном по выраженности визуально наблюдаемых лучевых реакций организма. Широко применялось, например, понятие эритемной дозы (по аналогии с ультрафиолетовым излучением). Трудность получения при таком подходе сопоставимых и воспроизводимых результатов лучевого воздействия на организм, осуществляемого разными исследователями, заставила привлечь в медицинскую практику физические методы оценки интенсивности ИИ.

1.3. Единицы измерений ионизирующих излучений

По аналогии с понятием, используемым в фармакологии, для оценки уровня лучевого воздействия было введено понятие дозы излучения.

---

[6] Флюенс (перенос) ионизирующих частиц (фотонов) – отношение числа ионизирующих частиц (фотонов) dN, проникающих в объем элементарной сферы, к площади центрального поперечного сечения dS этой сферы: $\Phi = dN/dS$.

Экспозиционная доза и мощность экспозиционной дозы

Исторически первым критерием, примененным для измерения ИИ, стал суммарный заряд частиц с электрическим зарядом одного знака, образовавшихся в единичном объеме воздуха вследствие его ионизации излучением. Именно таков физический смысл *экспозиционной дозы* (*X*), определяемой по формуле:

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

где: *dQ* – суммарный заряд всех ионов одного знака, возникающих в воздухе при полном торможении всех вторичных электронов, образованных фотонами ИИ в малом объеме пространства, *dm* – масса воздуха в этом объеме[7].

В системе СИ единицей экспозиционной дозы является кулон, деленный на килограмм (Кл/кг). Более часто, однако, применяется внесистемная единица экспозиционной дозы – рентген (Р), соответствующая образованию $2{,}1 \cdot 10^9$ пар ионов с зарядом, равным по абсолютной величине заряду электрона, в 1 $см^3$ сухого воздуха при нормальных условиях.

1 Кл/кг = 3876 Р

и наоборот

1 Р = $2{,}58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг.

Мощность экспозиционной дозы фотонного излучения определяется как:

$$X' = \frac{dX}{dt} = \frac{d^2Q}{dmdt}$$

В системе СИ она измеряется в Кл/кг·с = А/кг. Наиболее часто используются внесистемные единицы: Р/с и Р/ч, а также мкР/ч и мР/ч.

Поглощенная доза и мощность поглощенной дозы

Изменения, вызываемые излучением в воздухе и в других средах (в том числе в тканях организма), количественно различны. Это связано с разным количеством энергии, передаваемой излучением одинаковым по массе количествам разных веществ. Учесть этот фактор можно, выражая количество ИИ в единицах *поглощенной дозы* (*D*). Физический смысл поглощенной дозы – количество энергии, переданной излучением единичной массе вещества:

$$D = \frac{dE}{dm}.$$

В системе СИ поглощенную дозу выражают в греях (Гр): 1 Гр = 1 Дж/кг. Часто применяют внесистемную единицу поглощенной дозы – рад (аббревиатура «Radiation Absorbed Dose»). Рад равен сантигрею (1 рад = 10^{-2} Гр).

Если поглощенная доза распределяется в каком-то одном участке тела говорят о *локальном* облучении, а если облучению подвергается все тело или большая его часть – о *тотальном* облучении. Вариантами тотального облучения

[7] Согласно РД50-454-84 использование экспозиционной дозы и ее мощности после 01.01.1990 не рекомендуется.

являются *равномерное* (неравномерность по дозе на отдельные части тела не превышает 10 %) и *неравномерное* облучение.

Непосредственно измерить все биологически значимые величины поглощенных доз трудно из-за незначительности энергии, передаваемой организму излучением. Так, при облучении человека массой 76 кг в дозе 4 Гр его телу будет передана энергия 305 Дж. Ее достаточно лишь для подъема тела на высоту 40 см или для его нагревания на 0,001˚С. Поэтому непосредственно измеряется, как правило, экспозиционная доза ИИ, а поглощенная доза рассчитывается с учетом свойств среды, на которую действует облучение. В воздухе 1 рентген соответствует 0,89 рад, а в тканях организма в среднем составляет 0,95 рад.

Степень воздействия ИИ на облучаемый объект зависит не только от полученной дозы, но и от времени, за которое эта доза была получена. В радиационных расчетах также важно знать за какое время объект может получить ту или иную заранее заданную дозу в конкретной радиационной обстановке.

Поэтому важной характеристикой ИИ является мощность поглощенной дозы ИИ *D*', которая определяется как отношение приращения поглощенной дозы *dD* за интервал времени *dt* к этому интервалу времени:

$$D' = \frac{dD}{dt} = \frac{d^2E}{dmdt}$$

Другими словами, мощность поглощенной дозы – это скорость накопления дозы.

В системе СИ мощность поглощенной дозы (или «мощность дозы излучения») определяется как 1 Гр/1с. Наиболее часто используются внесистемные единицы: рад/с, Гр/ч, рад/ч.

Эквивалентная доза и мощность эквивалентной дозы

Различные ИИ вызывают в биосистемах количественно различные эффекты даже при одной поглощенной дозе. Это связано, главным образом с такими характеристиками излучений, как линейная передача энергии (ЛПЭ) и коэффициент ослабления μ. Для малоразмерных биологических объектов (например, для клеток) при одной и той же поглощенной дозе излучения его биологический эффект тем больше, чем больше величина ЛПЭ. Однако для крупных организмов такая зависимость нарушается, поскольку проникающая способность излучения находится, как правило, в обратной зависимости от ЛПЭ, и при высоких значениях последней распределение энергии ИИ внутри облучаемого объема оказывается неравномерным.

Для сравнительной оценки биологического действия различных видов ИИ введено понятие *эквивалентной дозы* (*H*). Она определяется как поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения:

$$H = D \cdot Q,$$

где: D – поглощенная доза в данной точке ткани, а Q – средний коэффициент качества излучения, который устанавливается для каждого вида излучения в зависимости от его ЛПЭ (табл. 1.1). Эквивалентную дозу, как правило, используют для оценки опасности хронического лучевого воздействия на организм.

В системе СИ единицей эквивалентной дозы служит зиверт (Зв), а внесистемной единицей является бэр (аббревиатура слов «биологический эквивалент рада»). 1 Зв = 100 бэр. Для рентгеновского, γ- и β-излучений 1 Зв соответствует поглощенной дозе в 1 Гр.

При кратковременных лучевых воздействиях эквивалентную дозу можно рассчитать по формуле: $H = D \cdot$ ОБЭ, где H – эквивалентная доза, бэр; D – поглощенная доза, рад; ОБЭ – коэффициент относительной биологической эффективности ИИ, который для рентгеновского и γ-излучения обычно принимают равным единице. Величина ОБЭ для других ИИ зависит от их природы и от выбранного критерия оценки биологической эффективности излучения. ОБЭ > 1 у излучений, более эффективных по конкретному критерию, чем рентгеновское или γ-излучения.

Иными словами, коэффициент качества показывает, во сколько раз рассматриваемый вид излучения опаснее для организма, чем γ-излучение при одной и той же величине полученной дозы.

Мощность эквивалентной дозы H' измеряется в Зв/с, а также в бэр/с, мкЗ/ч, мбэр/ч.

Таблица 1.1

Средние значения коэффициента качества для различных видов излучения

Вид излучения	Коэффициент качества, k
Фотоны любых энергий	1
Электроны и мюоны любых энергий	1
Нейтроны с энергией E < 10 кэВ	5
Нейтроны с энергией E =10…100 кэВ	10
Нейтроны с энергией E = 0,1…2 МэВ	20
Нейтроны с энергией E = 2…20 МэВ	10
Нейтроны с энергией E > 20 МэВ	5
Протоны с энергией E > 2 МэВ	5
α-частицы, осколки деления, тяжелые ядра	20

Средняя эквивалентная доза в органе – среднее значение эквивалентной дозы H_T в ткани или органе T массой m_T:

$$H_T = \frac{1}{m}\int H dm$$

где H – доза в элементе массы dm.

В повседневной практике радиационного контроля использование «микроретген в час» для описания мощности эквивалентной дозы исторически более привычно для людей.

Эффективная доза

Следует также учитывать, что одни органы и ткани более чувствительны к действию радиации, чем другие. Например, при одинаковой эквивалентной дозе облучения вероятность возникновения рака в легких больше, чем в щитовидной железе. Облучение половых желез особенно опасно из-за риска генетических последствий. Поэтому дозы облучения органов и тканей также следует учитывать с различными коэффициентами. Это положение положено в основу определения *эффективной дозы* (H_E), которая также измеряется в зивертах (Зв).

$$H_T = \sum H_T w_T$$

где w_T – взвешивающие коэффициенты («тканевые взвешивающие коэффициенты»), характеризуют отношение риска стохастического эффекта облучения данного органа (ткани) к суммарному риску стохастического эффекта при равномерном облучении всего тела. Они не зависят от энергии излучения и позволяют выровнять риск облучения вне зависимости от того, равномерно или неравномерно облучается все тело. Значения w_T рекомендованы МКРЗ и приняты НРБ для расчета эффективной дозы персонала и населения любого возраста с учетом радиочувствительности разных органов и тканей организма человека (табл.1.2).

Таблица 1.2

Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов при расчете эквивалентной дозы

Орган	w_T
Гонады	0,20
Грудная железа	0,05
Красный костный мозг	0,12
Желудок	0,12
Легкие	0,12
Толстый кишечник	0,12
Мочевой пузырь	0,05
Пищевод	0,05
Печень	0,05
Щитовидная железа	0,05
Кожа	0,01
Кость (поверхность)	0,01
Остальные органы (ткани)*	0,05

* – к остальным органам и тканям относят: надпочечник, мозг, верхнюю часть толстой и тонкой кишки, почки, мышцы, поджелудочную железу, селезенку, тимус (вилочковую железу) и матку. Имеется в виду селективное облучение этих органов и канцерогенный риск. Если будет установлена заметная канцерогенная опасность облучения других органов и тканей, они должны быть включены с соответствующим коэффициентом w_T.

В соответствии с НРБ-99 доза эффективная (*E*) – это величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности.

Для оценки опасности ИИ для группы людей или для популяции в целом следует пользоваться понятием *коллективная эффективная доза*. Она рассчитывается как сумма индивидуальных эффективных доз, полученных группой людей, и измеряется в человеко-зивертах (чел.-Зв). НРБ-99 дает следующее определение этой дозы: доза эффективная коллективная – это мера коллективного риска возникновения стохастических эффектов облучения, равная сумме индивидуальных эффективных доз.

Единицы основных видов дозы и соотношения между ними представлены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Единицы основных видов доз излучения*

Виды дозы	Единицы измерения		Соотношение единиц
	Внесистемные	СИ	
Экспозиционная	рентген (Р; R)	кулон на килограмм (Кл/кг; C/kg)	1 Кл/кг = 3876 Р
Поглощенная	рад (рад; rad)	грей (Гр; Gy)	1 Гр = 100 рад
Эквивалентная	бэр (бэр; rem**)	зиверт (Зв; Sv)	1 Зв = 100 бэр

* – в скобках даны обозначения единиц в русской и англоязычной литературе;

** – аббревиатура слов «rad equivalent for men»

Амбиентная доза

Амбиентная доза (амбиентный эквивалент дозы) – эквивалентная доза, которая была создана в шаровом фантоме МКРЕ[8] на глубине d (мм) от поверхности по диаметру, параллельному направлению излучения, в поле излучения, идентичном рассматриваемому по составу, флюенсу и энерге-тическому распределению, но мононаправленном и однородном (рис. 1.3).

[8] Фантом шаровой МКРЕ – шар диаметром 30 см из тканеэквивалентного материала плотностью 1 г/см3. Под тканеэквивалентным веществом понимают вещество, имеющее следующий химический состав: 76,2% – кислород, 11,1% – углерод; 10,1% – водород и 2,6% – азот.

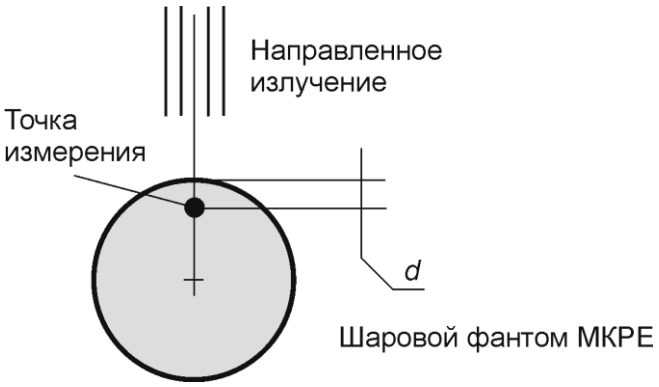


Рис. 1.3. Схема определения амбиентной дозы

Амбиентная доза используется для характеристики поля излучения в точке, совпадающей с центром шарового фантома. Эта величина является изотропной и применительно к реальному полю характеризует консервативную оценку дозы облучения человека. Единица амбиентной дозы – зиверт (Зв).

1.4. Источники ионизирующего излучения

1.4.1. Естественные источники ионизирующих излучений

Основную часть облучения население земного шара получает от естественных источников радиации, которые формируют примерно 4/5 общего радиационного фона. Суммарная годовая доза от перечисленных источников составляет около 2 мЗв. Большинство из естественных источников ИИ таковы, что избежать облучения от них совершенно невозможно. На протяжении всей истории существования Земли разные виды излучения падают на поверхность Земли из космоса и поступают от радиоактивных веществ, находящихся в земной коре. Человек подвергается облучению двумя способами. Радиоактивные вещества, как и другие источники ИИ, могут находиться вне организма и облучать его снаружи. В этом случае говорят о внешнем облучении. Если же радионуклиды оказываются в воздухе, которым дышит человек, в пище или в воде и попадают внутрь организма, они создают внутреннее облучение.

Облучению от естественных источников радиации подвергается любой житель Земли, однако, одни из них получают большие дозы радиации, чем другие. Это зависит, в частности, от того, где они живут. Уровень радиации в некоторых местах земного шара, там, где залегают особенно радиоактивные породы, оказывается значительно выше среднего. Доза облучения зависит и от образа жизни людей. Применение некоторых строительных материалов, использование газа или открытых угольных жаровень, герметизация помещений и даже полеты на самолетах – все это увеличивает уровень облучения за счет естественных источников радиации.

Земные источники радиации в сумме ответственны за большую часть облучения, которому подвергается человек за счет естественной радиации. В среднем

они обеспечивают более 5/6 годовой эффективной эквивалентной дозы, получаемой населением, в основном вследствие внутреннего облучения. Остальную часть в формирование дозы от естественных ИИ вносят космические лучи, главным образом путем внешнего облучения.

Космическое излучение

Радиационный фон, создаваемый космическими лучами, дает меньшую часть дозы внешнего облучения, получаемого населением от естественных источников радиации. Космические лучи в основном приходят к нам из глубин Вселенной, но некоторая их часть рождается на Солнце во время солнечных вспышек. Космические лучи могут достигать поверхности Земли или взаимодействовать с ее атмосферой, порождая вторичное излучение и приводя к образованию различных радионуклидов.

Нет такого места на Земле, куда бы не падал этот невидимый космический душ. Но одни участки земной поверхности более подвержены его действию, чем другие. Из-за наличия у Земли магнитного поля, отклоняющего заряженные частицы (из которых в основном и состоят космические лучи), Северный и Южный полюсы получают больше радиации, чем экваториальные области. Существеннее, однако, то, что уровень облучения растет с высотой, поскольку при этом над нами остается все меньше воздуха, играющего роль защитного экрана.

Люди, живущие на уровне моря, получают из-за космических лучей эффективную дозу около 300 мкЗв в год. При увеличении высоты проживания людей увеличивается и получаемая ими эффективная доза. Так, при подъеме с высоты 4000 м (максимальная высота, на которой расположены человеческие поселения: деревни шерпов на склонах Эвереста) до 12000 м (максимальная высота полета трансконтинентальных авиалайнеров) уровень облучения за счет космических лучей возрастает примерно в 25 раз.

При перелете из Нью-Йорка в Париж пассажир обычного турбореактивного самолета получает дозу около 50 мкЗв, а пассажир сверхзвукового самолета, летящего на высоте 20000 м, на 20 % меньше, хотя и подвергается более интенсивному облучению. Это объясняется тем, что во втором случае перелет занимает гораздо меньше времени. Всего за счет использования воздушного транспорта человечество получает в год коллективную эффективную дозу около 2000 чел.-Зв.

Земная радиация

Основные радиоактивные изотопы, встречающиеся в горных породах Земли, это калий-40, рубидий-87 и члены двух радиоактивных семейств, берущих начало соответственно от урана-238 и тория-232 – долгоживущих изотопов, включившихся в состав Земли с самого ее рождения.

Разумеется, уровни земной радиации неодинаковы для разных мест земного шара и зависят от концентрации радионуклидов в том или ином участке земной коры. В местах проживания основной массы населения они примерно одного порядка. Так, согласно исследованиям, проведенным во Франции, ФРГ, Италии,

Японии и США, примерно 95 % населения этих стран живет в местах, где мощность дозы облучения от земных источников радиации составляет в среднем от 0,3 до 0,6 мЗв в год. Но некоторые группы населения получают значительно большие дозы облучения: около 3 % получает в среднем 1 мЗв в год, а около 1,5 % более 1,4 мЗв в год.

Есть и такие места, где уровни земной радиации намного выше. Неподалеку от города Посус-ди-Калдас в Бразилии, расположенного в 200 км к северу от Сан-Паулу, есть небольшая возвышенность. Как оказалось, здесь уровень радиации в 800 раз превосходит средний и достигает 250 мЗв в год. По каким-то причинам возвышенность оказалась необитаемой.

Однако лишь чуть меньшие уровни радиации были зарегистрированы на морском курорте, расположенном в 600 км к востоку от этой возвышенности. Гуарапари – небольшой город с населением 12 тыс. человек – каждое лето становится местом отдыха примерно 30 тыс. курортников. На отдельных участках его пляжей зарегистрирован уровень радиации 175 мЗв в год. Радиация на улицах города оказалась намного ниже: от 8 до 15 мЗв в год, но все же значительно превышала средний уровень. Сходная ситуация наблюдается в деревушке Меаипе, расположенной в 50 км к югу от Гуарапари. Оба населенных пункта стоят на песках, богатых торием.

В другой части света, на юго-западе Индии, 70 тыс. человек живут на узкой прибрежной полосе длиной 55 км, вдоль которой также тянутся пески, богатые торием. Исследования, охватившие 8513 человек из числа проживающих на этой территории, показали, что данная группа лиц получает в среднем 3,8 мЗв в год на человека. Из них более 500 человек получают свыше 8,7 мЗв в год. Около шестидесяти получают годовую дозу, превышающую 17 мЗв, что в 50 раз больше средней годовой дозы внешнего облучения от земных источников радиации.

Эти территории в Бразилии и Индии являются наиболее хорошо изученными «горячими точками» нашей планеты. Но в Иране, например, в районе городка Рамсер, где бьют ключи, богатые радием, были зарегистрированы уровни радиации до 400 мЗв в год. Известны и другие места на земном шаре с высоким уровнем радиации, например во Франции, Нигерии, на Мадагаскаре.

По подсчетам НКДАР[9] ООН средняя эффективная доза внешнего облучения, которую человек получает за год от земных источников естественной радиации, составляет примерно 350 мкЗв, то есть чуть больше средней индивидуальной дозы облучения из-за радиационного фона, создаваемого космическими лучами на уровне моря.

[9] Научный Комитет по действию атомной радиации (НКДАР) – United Nations Scientific Committe on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), созданного в рамках ООН в 1955 году.

Внутреннее облучение от естественных радионуклидов

Примерно 2/3 эффективной дозы облучения, которую человек получает от естественных источников радиации, поступает от радиоактивных веществ, попавших в организм с пищей, водой и воздухом, и создающих внутреннее облучение.

Совсем небольшая часть этой дозы приходится на радиоактивные изотопы типа углерода-14 и трития, которые образуются под воздействием космической радиации. Все остальное поступает от источников земного происхождения. В среднем человек получает около 180 мкЗв в год за счет калия-40, который усваивается организмом вместе с нерадиоактивными изотопами калия, необходимыми для жизнедеятельности организма. Однако значительно большую дозу внутреннего облучения человек получает от нуклидов радиоактивного ряда урана-238 и, в меньшей степени, от радионуклидов ряда тория-232.

Некоторые из них, например, нуклиды свинца-210 и полония-210, поступают в организм с пищей. Они концентрируются в рыбе и моллюсках, поэтому люди, потребляющие много рыбы и других даров моря, могут получить относительно высокие дозы облучения.

Десятки тысяч людей на Крайнем Севере питаются в основном мясом северного оленя (карибу), в котором оба упомянутых выше радиоактивных изотопа присутствуют в довольно высокой концентрации. Особенно велико содержание полония-210. Эти изотопы попадают в организм оленей зимой, когда они питаются лишайниками, в которых накапливаются оба изотопа. Дозы внутреннего облучения человека от полония-210 в этих случаях могут в 35 раз превышать средний уровень. А в другом полушарии люди, живущие в Западной Австралии в местах с повышенной концентрацией урана, получают дозы облучения, в 75 раз превосходящие средний уровень, поскольку едят мясо и требуху овец и кенгуру.

Радон

Лишь недавно ученые поняли, что одним из наиболее весомых по вкладу в эффективную дозу облучения естественных источников радиации является радон. Согласно оценке экспертов НКДАР ООН, радон вместе со своими дочерними продуктами радиоактивного распада ответствен примерно за 3/4 годовой эффективной дозы облучения, получаемой населением от земных источников радиации, и примерно за половину этой дозы от всех естественных источников радиации. Большую часть этой дозы человек получает от радона и его дочерних продуктов, попадающих в его организм с воздухом, особенно в непроветриваемых помещениях.

В природе радон существует в виде трех α-активных изотопов, принадлежащих к радиоактивным семействам урана-238 (радон-222), тория-232 (радон-220 или торон) и актиния-227 (актинон) с периодами полураспада, соответственно, около 3,8 сут, 55 сек и 3,9 с. С точки зрения радиационной гигиены наиболее важным изотопом является радон-222: его вклад в формирование эффективной дозы облучения примерно в 20 раз больше, чем торона и актинона. Вообще гово-

ря, большая часть облучения исходит от дочерних продуктов распада радона, а не от самого радона.

Радон высвобождается из земной коры повсеместно, но его концентрация в наружном воздухе существенно различается для разных точек земного шара. Как ни парадоксально это может показаться на первый взгляд, но основную часть дозы облучения от радона человек получает, находясь в закрытом, непроветриваемом помещении. В зонах с умеренным климатом концентрация радона в закрытых помещениях в среднем примерно в 8 раз выше, чем в наружном воздухе.

Вдыхание радона, находящегося в помещениях, обусловливает накопление эффективной дозы облучения около 1 мЗв в год. В неблагоприятных случаях дозы от радона могут быть гораздо больше. В отдельных домах содержание радона такое же, как в урановых шахтах. Некоторые люди, не подозревая об этом, в течение жизни систематически получают за счет радона эффективные дозы в десятки мЗв в год. В Великобритании выявлено более 20 тыс. домов, в которых эффективные дозы за счет радона превышают 20 мЗв в год. Иногда показатель концентрации радона и его дочерних продуктов в воздухе (эффективная равновесная объемная активность) достигает более 1000 Бк/м3, что соответствует дозе свыше 40 мЗв в год. Относительное число таких домов составляет от 0,01 до 0,1 %, как это имеет место в ряде районов США, Великобритании и Швеции.

Радон поступает внутрь помещений не только из грунта. К сожалению, целый ряд строительных материалов содержит радиоактивные изотопы, выделяющие в процессе распада радон. Самые распространенные строительные материалы – дерево, кирпич и бетон – выделяют относительно немного радона. Гораздо большей радиоактивностью обладают гранит и пемза, а еще более опасны в этом отношении глиноземы, фосфогипс и кальций-силикатный шлак.

В России целые регионы в предгорьях Алтая, Кавказа, Урала, на Северо-Западе и в других местах можно отнести к опасным зонам, в которых за счет радона формируется до 90 % коллективной дозы облучения населения от естественных источников. По данным НИИ радиационной гигиены МЗ РФ сотни тысяч россиян получают за счет радона ежегодно более 15 мЗв, то есть более 1 Зв в течение жизни. Коллективная эффективная доза облучения населения за счет радона в помещениях составляет около 150 тыс. Зв за год или 10,5 млн. Зв за всю жизнь. Для сравнения можно привести коллективную эффективную дозу облучения населения России за всю жизнь, обусловленную радиоактивными выпадениями от Чернобыльской аварии: по расчетам специалистов она составляет около 120 тыс. Зв. Другими словами, коллективная эффективная доза от воздействия радона почти в 100 раз превышает дозу от Чернобыльской аварии для населения России. Соответственно, от радона выше и ущерб здоровью населения, который проявляется дополнительной смертностью от заболеваний раком (международным агентством по исследованию рака радон отнесен к канцерогенам I класса). Так, например, в США радон сейчас считают одной из основных причин возникновения рака легких у некурящих людей.

Другие естественные источники радиации

Уголь, подобно большинству других природных материалов, содержит ничтожные количества первичных радионуклидов. Последние, извлеченные вместе с углем из недр земли, после сжигания угля попадают в окружающую среду, где могут служить источником облучения людей.

Хотя концентрация радионуклидов в разных угольных пластах различается в сотни раз, в основном уголь содержит меньше радионуклидов, чем земная кора в среднем. Но при сжигании угля большая часть его минеральных компонентов спекается в шлак или золу, куда в основном и попадают радиоактивные вещества. Большая часть золы и шлаки остаются на дне топки электросиловой станции. Однако более легкая зольная пыль уносится тягой в трубу электростанции. Количество этой пыли зависит от отношения к проблемам загрязнения окружающей среды и от средств, вкладываемых в сооружение очистных устройств.

Облака, извергаемые трубами тепловых электростанций, приводят к дополнительному облучению людей, а, оседая на землю, частички могут вновь вернуться в воздух в составе пыли. Согласно текущим оценкам, производство каждого гигаватт-года электроэнергии обходится человечеству в 2 чел.-Зв ожидаемой коллективной эффективной облучения. Например, в 2000 году расчетная коллективная эффективная доза от всех работающих на угле электростанций во всем мире составила более 2000 чел.-Зв.

На приготовление пищи и отопление жилых домов расходуется меньше угля, но зато больше зольной пыли летит в воздух в пересчете на единицу топлива. Таким образом, из печек и каминов всего мира вылетает в атмосферу зольной пыли, возможно, не меньше, чем из труб электростанций. Кроме того, в отличие от большинства электростанций жилые дома имеют относительно невысокие трубы и расположены обычно в центре населенных пунктов, поэтому гораздо большая часть загрязнений попадает непосредственно на людей. До последнего времени на это обстоятельство почти не обращали внимания, но по весьма предварительной оценке из-за сжигания угля в домашних условиях для приготовления пищи и обогревания жилищ во всем мире ожидаемая коллективная эффективная доза облучения населения Земли возросла на 100 000 чел.-Зв.

Не изучен в полной мере также вопрос о вкладе в облучение населения от зольной пыли, собираемой очистными устройствами. В некоторых странах более трети ее используется в хозяйстве, в основном в качестве добавки к цементам и бетонам. Иногда бетон на 4/5 состоит из зольной пыли. Она используется также при строительстве дорог и для улучшения структуры почв в сельском хозяйстве. Все эти применения могут привести к увеличению радиационного облучения, но сведений по этим вопросам крайне мало.

Еще один источник облучения населения – это термальные водоемы. Некоторые страны эксплуатируют подземные резервуары пара и горячей воды для производства электроэнергии и отопления домов. Один такой источник вращает турбины электростанции в Лардерелло в Италии с начала нашего века. Измерения эмиссии радона на этой и еще на двух, значительно более мелких, электро-

станциях в Италии показали, что на каждый гигаватт-год вырабатываемой ими электроэнергии приходится коллективная эффективная доза 6 чел.-Зв, то есть в три раза больше аналогичной дозы облучения от электростанций, работающих на угле. Однако, поскольку в настоящее время суммарная мощность энергетических установок, работающих на геотермальных источниках, составляет всего 0,1 % мировой мощности, геотермальная энергетика вносит ничтожный вклад в радиационное облучение населения. Но этот вклад может стать весьма весомым, поскольку запасы этого вида энергетических ресурсов очень велики.

Во многих странах мира ведется и добыча фосфатов, которые используются главным образом для производства удобрений. Большинство разрабатываемых в настоящее время фосфатных месторождений содержит уран, присутствующий там, в довольно высокой концентрации. В процессе добычи и переработки руды выделяется радон, да и сами удобрения радиоактивны, и содержащиеся в них радиоактивные изотопы проникают из почвы в пищевые культуры. Радиоактивное загрязнение в этом случае бывает обычно незначительным, но возрастает, если удобрения вносят в землю в жидком виде или если содержащие фосфаты вещества скармливают скоту. Такие вещества широко используются в качестве кормовых добавок, что может привести к значительному повышению содержания радиоактивности в молоке. Все эти аспекты применения фосфатов дают за год коллективную эффективную дозу, равную примерно 6000 чел.-Зв.

Напомним, что средние годовые эффективные дозы облучения населения Земли составляют немногим более 2,4 мЗв. За счет освобождаемых при получении электроэнергии и производстве удобрений природных радионуклидов происходит обогащение биосферы радиоактивными веществами и дополнительное облучение человека в дозах, которые, если их отнести к общей численности населения Земли, составят 0,001 мкЗв в год на 1 человека, что не превышает 1 % естественного облучения от инкорпорированных природных радионуклидов. Уровни дополнительного облучения населения крупных промышленных центров, вблизи электроцентралей и заводов по переработке руд могут быть существенно выше, но все же соизмеримы с природным радиационным фоном. Но гораздо более высокими могут быть дозы облучения, получаемые человеком от искусственных источников ИИ. Именно об этих источниках и пойдет речь далее.

1.4.2. Искусственные источники ионизирующих излучений

За последние десятилетия человек создал несколько сотен искусственных радионуклидов и научился использовать энергию атома в самых разных целях: в медицине и для создания ядерного оружия, для производства электроэнергии и обнаружения пожаров, для изготовления светящихся циферблатов часов, приборов ночного видения и для поиска полезных ископаемых. К сожалению, все это приводит к увеличению дозы облучения как отдельных людей, так и населения Земли в целом.

Индивидуальные дозы, получаемые разными людьми от искусственных источников ИИ, сильно различаются. В большинстве случаев эти дозы весьма неве-

лики, но иногда облучение за счет техногенных источников ИИ оказывается во много сильнее, чем за счет естественной радиации.

Как правило, для искусственных источников радиации вариабельность получаемых людьми доз выражена гораздо больше, чем для естественных. Кроме того, порождаемое ими излучение обычно легче контролировать, хотя облучение, связанное с радиоактивными осадками от ядерных взрывов, почти так же невозможно контролировать, как и облучение, обусловленное космическими лучами или земными источниками.

Источники ионизирующих излучений, использующиеся в медицине

Основной вклад в дозу, получаемую человеком от техногенных источников радиации, в настоящее время вносят медицинские процедуры и методы лечения, связанные с применением ионизирующих излучений. Ориентировочные дозы, которые получают люди при проведении некоторых медицинских процедур, представлены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Ориентировочные значения поглощенной дозы при некоторых медицинских процедурах, Зв

Медицинская процедура	Доза, сЗв
Флюорография легких	2
Рентгеновский снимок зубов (ортопантография)	5
Рентгеноскопия органов грудной полости	10
Рентгеноскопия органов брюшной полости	15
Лечение злокачественных опухолей	до 5000

Коллективная эквивалентная доза в год для всего населения Земли оценивается в этом случае величиной 1,6 млн. чел.-Зв, или около 1/5 дозы от естественного фона. Эта доза по-разному распределяется среди жителей разных стран. Наибольший вклад в коллективную дозу от источников медицинского предназначения вносят диагностические обследования, которым ежегодно подвергаются сотни миллионов людей. В среднем, при медицинских обследованиях на одного жителя Земли в год приходится доза облучения, эквивалентная 0,4 мЗв.

Наиболее распространенным видом излучения, применяемым в диагностической практике, являются рентгеновские лучи. Согласно данным по развитым странам, на каждую 1000 жителей приходится от 300 до 900 обследований в год. И это, не считая рентгенологических обследований зубов и массовой флюорографии. Внедрение технических усовершенствований (компьютерной томографии, использования более чувствительных пленок, электрографии, рационального экранирования и пр.) позволяет резко снизить дозы облучения без уменьшения диагностической и лечебной эффективности процедур.

Радиоизотопы применяются для исследования различных процессов, протекающих в организме, и для локализации опухолей. За последние годы их применение сильно возросло, но все же они используются реже, чем рентгенологические исследования: в промышленно развитых странах на 1000 населения приходится около 10–40 радиоизотопных исследований. Как это не парадоксально звучит, но одним из наиболее эффективных методов лечения опухолевых заболеваний является лучевая терапия.

Ядерные взрывы

Значительно меньше по сравнению с влиянием естественного фона и доза, получаемая от радиоактивных выпадений в результате испытаний ядерного оружия. Максимум этих испытаний пришелся на период с 1954 по 1958 годы, когда взрывы проводили США, СССР и Великобритания. Еще более мощные испытания, в которых участвовали и другие страны (но наиболее сильно США и СССР), проводили в 1961–1962 годах. По статистике только за период с 1945 по 1998 годы было проведено 2056 ядерных взрывов (табл. 1.5).

Таблица 1.5

Общее количество ядерных взрывов на территории земного шара

Страна	Год	Число взрывов
США	1945–1992	1030
СССР – Россия	1949–1991	716
Франция	1960–1997	210
Великобритания	1950–1960	44
Китай	1964–1996	45
Индия	1974, 1998	6
Пакистан	1998	5

В частности, на территории США было проведено 1030 ядерных взрывов, в том числе в Неваде – 935, Нью-Мексико – 3, Миссисипи – 2, Колорадо – 2, на Аляске – 3 взрыва. На территории России состоялось 214 ядерных взрывов (в том числе на Новой Земле – 132), в Казахстане – 496, на Украине – 2, в Узбекистане – 2 и в Туркменистане – 1 взрыв. На полигоне Лобнор в Китае (штат Синьцзян) провели 45 взрывов, в Алжире –17, в Австралии – 12. Индия испытывала ядерное оружие 6 раз (на площадке Покхаране), а Пакистан – 5 (горный район Чагаи, провинция Белуджистан). Кроме того, ядерные взрывы проводились на атоллах Муруроа (175) и Эниветок (43), на островах Рождества (30), Бикини (23), Джонстон (12), Фангатофа (12), Молден (3), в Тихом океане (4) и Южной Атлантике (3).

Высокодисперсные фракции продуктов ядерных взрывов поднимаются в верхние слои атмосферы и годами и даже десятилетиями циркулируют там, распространяясь вначале над своим полушарием, а затем и над всей территорией

земного шара, и лишь постепенно выпадают на поверхность Земли. В течение 10 лет, когда испытания проводились наиболее интенсивно, население Земли получило за счет глобальных выпадений дополнительно 2 мЗв (одна годовая доза от естественного фона).

Атомная энергетика

Другим техногенным источником радиационного фона является атомная энергетика, которая включает добычу и обогащение урановой руды, производство ядерного топлива, эксплуатацию ядерных энергетических установок, регенерацию отработанного ядерного топлива, захоронение и хранение радиоактивных отходов. И на всех этих стадиях в окружающую среду поступают радионуклиды. Однако в целом ядерная энергетика в условиях нормальной эксплуатации оказывает на человека весьма слабое радиационное воздействие, приблизительно 0,05 % от дозы, создаваемой естественным фоном.

Следует подчеркнуть, что если сравнить систематические выбросы радиоактивных продуктов атомными и тепловыми электростанциями на мегаватт выработанной электроэнергии, то доза облучения населения в результате этих выбросов оказывается во втором случае всего в 3 раза ниже. Экологические последствия выбросов сажи, смол, CO, CO_2, окислов серы, азота, других токсических веществ, содержащихся в продуктах, поступающих в атмосферу при работе тепловых электростанций и практически не образующихся при работе атомных, несравненно тяжелее. В расчете на единицу выработанной электроэнергии ущерб здоровью только от канцерогенных (наиболее значимых при воздействии малых доз радиации) эффектов в результате эксплуатации АЭС оказывается по самым жестким оценкам в 100 раз меньше, чем при работе электростанций на угле.

Профессиональное облучение

Самые большие дозы облучения от всех техногенных источников радиации получают люди, работающие на объектах атомной энергетики. Профессиональные дозы почти повсеместно являются самыми большими из всех видов доз.

Оценки показывают, что доза, которую получают рабочие урановых рудников и обогатительных фабрик, составляет в среднем 1 чел.-Зв на каждый гигаватт-год электроэнергии. Примерно 90 % этой дозы приходится на долю рудников, причем персонал, работающий в шахтах, подвергается большему облучению. Коллективная эффективная доза от заводов, на которых получают ядерное топливо, составляет 1 чел.-Зв на гигаватт-год.

Для людей, работающих с ядерными реакторами, индивидуальные дозы еще больше. Наиболее типичное значение среднегодовой коллективной эффективной дозы для этой категории профессионалов составляет 10 чел.-Зв на гигаватт-год электроэнергии.

Рабочие, выполняющие разные виды работ по обслуживанию ядерных реакторов, получают неодинаковые дозы. Наиболее велики дозы облучения при ремонтных работах: рабочие, участвующие в текущих или аварийных ремонтах, по-

лучают примерно половину всей коллективной дозы, а по некоторым оценкам – до 70 % коллективной эффективной дозы.

Дозы, которые получают люди, занятые научно-исследовательской работой в области ядерной физики и энергетики, очень сильно различаются для разных предприятий и разных стран. В Японии и Швейцарии, например, они достаточно малы, а в Великобритании относительно высоки. В среднем по всем странам доза составляет около 5 чел.-Зв на гигаватт-год.

Все эти величины добавляют к среднегодовой коллективной эффективной дозе менее 30 чел.-Зв на каждый гигаватт-год электроэнергии, что составляет примерно 0,03 % дозы, получаемой людьми от естественных источников радиации.

Облучению подвергаются и работники обычных промышленных предприятий, а также медицинский персонал. Последние составляют многочисленную группу, получая в среднем относительно небольшие дозы. Так, средняя эффективная доза, получаемая медицинским персоналом при снятии одной рентгенограммы, составляет от 1 до 4 мкЗв. Для стоматологов среднегодовые дозы облучения еще меньше. В целом считается, что вклад дозы, получаемой медицинским персоналом, занимающимся рентген-радиологическими обследованиями, в коллективную эффективную дозу всего населения в странах с высоким уровнем жизни составляет около 1 чел.-Зв на миллион жителей.

В промышленно развитых странах дополнительный вклад в годовую коллективную дозу в 0,5 чел.-Зв на миллион жителей дает облучение персонала обычных промышленных предприятий. Впрочем, число людей, получающих довольно высокие индивидуальные среднегодовые дозы (тех, например, кто участвует в производстве люминофоров с использованием радиоактивных материалов), сравнительно невелико.

В довольно примитивных условиях (например, непосредственно на строительных площадках) часто работают и установки промышленной дефектоскопии. Считается, что рабочие, обслуживающие эти установки, подвергаются наибольшему облучению, хотя доказать это не так просто.

Представители некоторых профессий могут подвергаться воздействию более высоких доз естественной радиации. Самую большую группу таких работников составляют экипажи самолетов. Полеты совершаются на большой высоте, и это приводит к увеличению дозы из-за воздействия космических лучей. Так, например, около 70 тыс. членов экипажей в США и 20 тыс. в Великобритании получают дополнительно 1–2 мЗв в год.

Повышенные дозы облучения получают также шахтеры, добывающие каменный уголь или другие руды в подземных условиях. Индивидуальные дозы сильно различаются, а при некоторых видах подземных работ эти дозы могут быть даже выше, чем в урановых рудниках.

Очень высокие дозы (более 300 мЗв в год, что в 6 раз выше международного стандарта, принятого для работников атомной промышленности) полу-

чает персонал курортов, на которых применяются радоновые ванны, и куда люди едут, чтобы поправить свое здоровье.

Другие источники облучения

Источниками дополнительного облучения могут являться и многие общеупотребительные предметы, содержащие радиоактивные вещества.

В недавнее время едва ли не самым распространенным источником облучения являлись часы со светящимся циферблатом. По приблизительным оценкам, они дают в 4 раза большую годовую дозу, чем утечки на АЭС. Такую же коллективную эффективную дозу получают работники предприятий атомной промышленности и экипажи авиалайнеров. При изготовлении таких часов использовали радий, что приводило к облучению всего организма, хотя на расстоянии 1 м от циферблата излучение в 10000 раз слабее, чем на расстоянии 1 см. Радиоактивные изотопы используются также в светящихся указателях входа-выхода, в компасах, телефонных дисках, прицелах и т.п.

Принцип действия многих детекторов дыма основан на использовании α-излучения. К концу 1980 года в США было установлено более 26 млн. таких детекторов, содержащих америций-241, однако при правильной эксплуатации они должны давать ничтожную дозу облучения. Радионуклиды применяют также в дросселях флуоресцентных светильников и в других электроприборах и устройствах.

При изготовлении особо тонких оптических линз применяется торий, который может привести к существенному облучению хрусталика глаза. Для придания блеска искусственным зубам раньше использовали уран, который естественно служил дополнительным источником облучения тканей полости рта. Радиоактивные вещества в этих случаях применяли с чисто эстетической целью, что, вероятно, совершенно неоправданно.

Источниками рентгеновского излучения являются также цветные телевизоры и дисплеи компьютеров, но при правильной настройке и эксплуатации дозы облучения от современных моделей ничтожны. Рентгеновские аппараты для проверки багажа пассажиров в аэропортах также практически не вызывают облучения авиапассажиров.

1.4.3. Источники рентгеновского излучения, применяемые в таможенном деле

В таможенном деле применяют как естественные, так и искусственные источники рентгеновского излучения.

Естественные источники хороши тем, что не требуют источника питания. Они постоянно, без всякого «принуждения» излучают рентгеновские лучи, их невозможно «выключить». Они могут использоваться в переносных приборах. Однако в связи с тем, что естественные источники постоянно излучают, существенно усложняется вопрос защиты человека от вредного воздействия излучения. По-

этому такие источники всегда помещают в специальные защитные контейнеры. Существуют приборы с источниками естественного излучения, которые применяются для досмотра багажа, определения полостей в металлических и иных конструкциях, определения химического состава вещества и др.

В настоящее время в таможенном деле для создания рентгеновского излучения используются в основном два типа искусственных источников излучения: линейные ускорители электронов и рентгеновские трубки. Первые применяются в тех случаях, когда надо просвечивать толстые и плотные объекты. В частности, они находят применение в стационарных инспекционно-досмотровых комплексах.

Наиболее применяемым искусственным источником рентгеновского излучения является генератор на основе рентгеновской трубки. Он генерирует излучение только во включенном состоянии. При выключенном питании такие генераторы совершенно безопасны для обслуживающего персонала. Это является одной из причин их широкого применения в досмотровой технике, используемой для досмотра багажа пассажиров. В таможенных органах практически завершена замена приборов с естественными источниками на приборы с рентгеновской трубкой в качестве излучателя.

Контрольные вопросы по главе 1

1. История открытия x-ray Вильгельмом Конрадом Рентгеном.
2. Виды ионизирующих излучений (электромагнитные и корпускулярные).
3. Характеристики поля ионизирующего излучения (энергия частиц, направленность излучения, флюенс частиц).
4. Экспозиционная доза и мощность экспозиционной дозы: физический смысл, единицы измерения.
5. Поглощенная доза и мощность поглощенной дозы: физический смысл, единицы измерения.
6. Эквивалентная доза и мощность эквивалентной дозы: физический смысл, единицы измерения, коэффициент качества различных видов излучения.
7. Эффективная доза: физический смысл, единицы измерения, назначение взвешивающих коэффициентов для тканей и органов при расчете эквивалентной дозы.
8. Амбиентная доза: физический смысл, единицы измерения, шаровой фантом МКЭ.
9. Естественные источники ионизирующих излучений (космическое излучение, земная радиация, внутреннее облучение от естественных радионуклидов).
10. Искусственные источники ионизирующих излучений.

Глава 2. Влияние ионизирующего излучения на организм человека

2.1. Воздействие радиации на человека

Действие ионизирующей радиации на живые организмы интересовало мировую общественность с момента открытия и первых шагов применения радиоактивного излучения. Это неслучайно, так как с самого начала исследователи столкнулись с его отрицательными эффектами. Так, в 1895 году помощник Рентгена В. Груббе получил радиационный ожог рук при работе с рентгеновскими лучами, А. Беккерель, открывший радиоактивность, получил сильный ожог кожи от излучения радия. Известная ученая Мария Склодовская-Кюри умерла от лучевой болезни, и до сих пор ее могила испускает излучение.

Обеспокоенные такими эффектами, специалисты всего мира создали в конце 20-х годов Международную комиссию по радиационной защите (МКРЗ), которая разрабатывала и разрабатывает правила работы с радиоактивными веществами. Используя рекомендации МКРЗ, национальные эксперты комиссии разрабатывают в странах, так называемых «ядерных державах», национальные нормативы. Помимо МКРЗ этими проблемами занимается еще одна между-народная организация – Научный Комитет по действию атомной радиации (НКДАР) – United Nations Scientific Committe on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), созданного в рамках ООН в 1955 году. НКДАР отчитывается перед секретариатом ООН по результатам своей деятельности. К сожалению, в настоящее время доступ к этим докладам в полном объеме возможен лишь ограниченному кругу специалистов. С другой стороны, НКДАР изначально не предназначена для принятия каких-либо решений, она может только вырабатывать рекомендации.

Влиянию внешнего облучения организм подвергается только в период пребывания человека в сфере воздействия излучения. В случае прекращения радиации прерывается и внешнее воздействие, а в организме могут развиваться изменения – последствия излучения. В результате внешнего воздействия нейтронного излучения в организме могут образовываться различные радиоактивные вещества, например радионуклиды натрия, фосфора и др. Организм в подобных случаях временно становится носителем радиоактивных веществ, вследствие чего может наступить его внутреннее облучение.

Разные виды излучения обладают различными свойствами, неодинаковой биологической активностью и поэтому представляют неодинаковой степени опасность для работающих в контакте с ними. При эксплуатации и обслуживании таможенной досмотровой рентгенотелевизионной техники, снабженной генерирующими источниками ионизирующего излучения, персонал в той или иной мере подвергается воздействию рентгеновских лучей.

Ионизирующее излучение возникает и при работе с различными радиоактивными веществами – естественными (уран, радий, торий) и изотопами. В радиоактивных изотопах ядра атомов нестабильны. Они обладают способностью распадаться, превращаться в ядра других элементов, при этом меняются их фи-

зико-химические свойства. Это явление сопровождается испусканием ядерных излучений и называется *радиоактивностью.*

При работе с радиоактивными веществами возможно попадание их внутрь организма через легкие или желудочно-кишечный тракт, а также через неповрежденную кожу. Особенно опасны в этом отношении работы по разработке радиоактивных руд. Радиоактивное излучение вызывает не только ионизацию воздуха, но приводит к аналогичному процессу в тканях организма, значительно при этом изменяя их. Выраженность возможных биологических сдвигов зависит от проникающей способности излучения, его ионизирующего эффекта, дозы, времени облучения и состояния организма.

Попадая в организм, радиоактивные вещества могут заноситься кровью в различные ткани и органы, становясь источником внутреннего излучения. Особую опасность при этом представляют долгоживущие изотопы, которые на протяжении почти всей жизни пострадавшего могут быть источниками ионизирующего излучения. Выводятся радиоактивные соединения в основном через желудочно-кишечный тракт, почки и органы дыхания. Основной особенностью действия ионизирующего излучения является ионизация атомов и молекул живой материи. Этот процесс считается начальным этапом биологического действия излучения и в дальнейшем вызывает функциональные и органические поражения тканей, органов и систем.

Когда ионизирующее излучение проходит через тело или когда в каких-либо тканях организма присутствуют радиоактивные вещества, энергия волн и частиц передается тканям, подвергающимся облучению. При передаче энергии от радиоактивных частиц клеткам и жидкостям тела происходит возбуждение атомов и молекул, составляющих тело. Эта передача энергии приводит к повреждению клеток, нарушению их деятельности и даже гибели, в зависимости от полученной дозы облучения и состояния здоровья человека на момент облучения.

При этом поглощенная энергия в биологических тканях распределяется не равномерно, а отдельными разрозненными «пачками». В результате, большее количество энергии излучения может быть передано в определенные участки ткани, и совсем небольшое, если таковое вообще имеется в другие.

Подобный неравномерный характер поглощения энергии объясняет особенности воздействия радиации на организм. Общее количество поглощенной тканями энергии может быть небольшим, но некоторые клетки живой материи из-за такой неравномерности распределения энергии излучения будут значительно повреждены.

Поглощенная энергия в живом организме вызывает в нем возбуждение и ионизацию атомов и молекул, их смещение, т.е. образование дефектов, расщеплением устойчивой в организме молекулы на атомы или более простые комплексы молекул, превращением одних элементов в другие.

Ничтожность поглощенного количества энергии, вызывающего тяжкие последствия, можно продемонстрировать несколькими способами.

Например, энергию (дозу) рентгеновского излучения, несомненно, смертельного для человека при общем облучении, можно сравнить с тепловой энергией. При этом смертельная энергия рентгеновского излучения будет меньше тепловой энергии, поглощенной организмом после выпитой чашки горячего кофе, или после нескольких минут принятия солнечных ванн в теплый день. В свою очередь энергию смертельной дозы поглощенного рентгеновского излучения можно сравнить и с механической энергией: она будет соответствовать работе, выполняемой одним человеком при подъеме тела другого человека на высоту 40 см над уровнем пола.

Тепловая или механическая энергия поглощается в тканях одинаково и равномерно. Поэтому, чтобы вызвать повреждение в живом организме, энергию подобного типа потребуется намного больше, чем энергии ионизирующего излучения. Для ионизирующего излучения нет барьеров в организме. Любая молекула может быть ионизирована и отсюда начинается путь радиоактивного поражения в виде разнообразных радиационно-химических реакций, биохи-мических сдвигов, разрегуляции, структурно-функциональных нарушений.

Радиация увеличивает (неблагоприятным для тела образом) активность всех биологических систем. Основными элементами, составляющим тело, являются углерод, кислород, водород и сера. Кислород играет главную роль в расщеплении углеводов и жиров для получения энергии. Эта энергия используется клетками для построения белков, необходимых для формирования тканей тела. Кислород также играет ключевую роль в образовании ферментов, действующих в качестве катализаторов в биохимических реакциях.

Взаимодействуя с атомом или молекулой тела, ионизирующее излучение может выбить оттуда электрон. Обычно свободные электроны захватываются молекулами кислорода. Имея лишний электрон, такая молекула кислорода становится нестабильной, она приобретает большую способность реагировать с другими молекулами, и будет пытаться «отобрать» электрон у другой, находящейся по соседству молекулы для восстановления своего стабильного состояния. Молекула, из которой был взят этот добавочный электрон, тоже становится нестабильной, и будет «отнимать» электрон у другой молекулы.

Результатом этого будет настоящая цепная реакция в теле человека. Таким образом, химически активные молекулы кислорода нарушают функции и структуру клеток. Поскольку кислород присутствует в больших количествах внутри и вне клеток, образование большого количества химически активного кислорода при радиационном облучении приведет к разрушению других химических соединений в клетках, так как их молекулы будут стремиться к возвращению в стабильное состояние.

Пораженными веществами в теле могут быть жиры или белки, жизненно необходимые для нормальной деятельности клеток. При поражении определенных белков, находящихся в клетке, результатом могут быть мутации, которые, в свою очередь, могут сделать организм предрасположенным к раку.

Таким образом, радиация вызывает образование большого количества свободных электронов в организме человека. Это затем приводит к образованию химически активного кислорода и других измененных веществ, которые разъедают ткани, вызывая:

- нарушение структуры клетки;
- подавление активности ферментов;
- образование аномальных белков;
- образование веществ, вызывающих мутации и рак;
- гибель клеток.

В ответ на действие радиации в организме включаются защитные силы, возникает альтернативные восстанавливающие процессов и биологические реакции, направленных на исправление, адаптацию, компенсацию. Это противоборство, начавшись на молекулярном, невидимом и не чувствуемом уровне, постепенно поднимается на всё более высокие этапы биологического организма: от клетки к отдельным органам далее ко всему организму. Исход борьбы зависит от дозы (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Дозы и степень их воздействия на организм человека

№	Значение поглощенной дозы, рад	Степень воздействия на человека
1	*Летальные дозы:* 10000 рад. (100Гр.)	Смерть наступает через несколько часов или дней вследствие повреждения центральной нервной системы
	1000-5000 рад. (10-50Гр.)	Смерть наступает через одну - две недели вследствие внутренних кровоизлияний (главным образом в желудочно-кишечном тракте)
	300-500 рад. (3-5Гр.)	50% облученных умирают в течении одного-двух месяцев вследствие поражения клеток костного мозга
2	150-200рад. (1,5-2Гр.)	Возникновение первичной лучевой болезни
3	100рад. (1Гр)	Уровень кратковременной стерилизации, потери и воспроизводства потомства
4	25рад. (0,25Гр.)	Доза оправданного риска в чрезвычайных обстоятельствах
5	10рад. (0,1Гр.)	Уровень удвоения генных мутаций
6	2рад. (0,02Гр.) в год	Предельно допустимая доза в Украине профессионального облучения в год для персонала категории "А" (лица которые постоянно или временно работают непосредственно с источниками ионизирующих излучений)

7	0,2рад. (0,002Гр.) (200 миллирад) в год	Допускаемая доза в год для лиц категории "Б" (лица которые могут получать дополнительное облучение в связи с расположением рабочих мест в помещениях и на промышленных площадках объектов с радиационно-ядерными технологиями)
8	0,1рад (0,001Гр.)в год	Допустимая доза для лиц категории "В" (все население)
9	0,1-0,2 рад в год	Доза от естественного (космического и природного) фона, получаемая каждым человеком за
10	3рад	Облучение при рентгенографии зубов
11	30 рад	Облучение при рентгеноскопии желудка (местное)
12	1 микрорад	Просмотр одного хоккейного матча по телеви-
13	84 микрорад/час	При полёте в самолёте на высоте 8 км

При больших дозах радиация может разрушать клетки, повреждать ткани различных органов и явиться причиной скорой гибели организма. Повреждения, вызываемые большими дозами облучения, обыкновенно проявляются в течение нескольких часов или дней. Раковые заболевания, однако, проявляются спустя много лет после облучения – как правило, не ранее чем через одно-два десятилетия. А врождённые пороки развития и другие наследственные болезни, вызываемые повреждением генетического аппарата, по определению появляются лишь в следующем или последующих поколениях: это дети, внуки и более отдалённые потомки индивидуума, подвергшегося облучению.

Воздействие малых доз облучения обнаружить почти всегда оказывается очень трудно. Частично это объясняется тем, что для их проявления должно пройти очень много времени. Но даже и обнаружив какие-то эффекты, требуется ещё доказать, что они объясняются действием радиации, поскольку и рак, и повреждения генетического аппарата могут быть вызваны не только радиацией, но и множеством других причин.

Чтобы вызвать острое поражение организма, дозы облучения должны превышать определённый уровень, но, нет никаких оснований считать, что это правило действует в случае таких последствий, как рак или повреждение генетического аппарата. По крайней мере, теоретически для этого достаточно самой малой дозы. Однако в то же самое время никакая доза облучения не приводит к этим последствиям во всех случаях. Даже при относительно больших дозах облучения далеко не все люди обречены на эти болезни: действующие в организме человека защитные механизмы обычно ликвидируют все повреждения.

Точно так же любой человек, подвергшийся действию радиации, совсем не обязательно должен заболеть раком или стать носителем наследственных болезней; однако вероятность, или риск, наступления таких последствий у него больше, чем у человека, который не был облучён. И риск этот тем больше, чем больше доза облучения.

2.2. Лучевая болезнь

В настоящее время решены основные вопросы радиационной безопасности. Однако при нарушении техники безопасности или при определенных обстоятельствах ионизирующее излучение может быть причиной развития *лучевой болезни* (острой и хронической).

В основе генеза лучевой болезни лежат сложные механизмы прямого и непрямого воздействия на организм ионизирующего излучения.

Прямое действие радиации (больших доз) на молекулы белка приводит к их денатурации. В результате молекула белка коагулируется и выпадает из коллоидного раствора, в дальнейшем подвергаясь распаду под влиянием протеолитических ферментов. При этом в клетке наблюдаются нарушения физико-химических процессов с деполимеризацией нуклеиновых кислот, что сопровождается изменением структуры поверхности клетки и проницаемости мембран. Разработана так называемая *теория мишени*, в соответствии с которой предполагается, что не вся клетка чувствительна к облучению. В каждой клетке имеется чувствительный участок – «мишень», которая воспринимает действие ионизирующего излучения. Установлено, что особо чувствительны к действию радиации хромосомы ядер и цитоплазма.

Непрямое действие ионизирующего излучения объясняется механизмом радиолиза воды. Как известно, вода составляет около 80% массы всех органов и тканей человеческого организма. При ионизации воды образуются радикалы, обладающие как окислительными, так и восстановительными свойствами. Свободные окисляющие радикалы вступают в реакцию с ферментами, которые превращаются в неактивные соединения. В результате этих реакций и пре-вращений нарушается каталитическая активность важных ферментных систем, принимающих активное участие в синтезе нуклеопротеидов и нуклеиновых кислот, имеющих огромное значение для жизнедеятельности организма. Количество ДНК и РНК в ядрах клеток резко снижается, нарушается процесс их обновления. Изменения биохимизма ядер при этом морфологически выражаются в виде различных нарушений структуры хромосом, а, следовательно, и всей гене-тической системы. Угнетение митотической[10] активности тканей рассматривается как одно из специфических проявлений биологического действия ионизирующей радиации.

На течение биохимических процессов в ядрах пораженных радиоактивным излучением тканей определенное влияние оказывают образующиеся радиотоксины и изменения нейрогуморальной и гормональной регуляции тканей и клеток. Нарушаются обменные процессы, приводящие к накоплению чуждых для организма веществ, таких, как гистаминоподобных, токсических аминокислот. Все это усиливает биологическое действие ионизирующего излучения и способствует

---

[10] *Митоз* (от греч. mítos — нить), кариокинез, непрямое деление клетки, наиболее распространённый способ воспроизведения (репродукции) клеток, обеспечивающий тождественное распределение генетического материала между дочерними клетками и преемственность хромосом в ряду клеточных поколений. Биологическое значение митоза определяется сочетанием в нём удвоения хромосом путём продольного расщепления их и равномерного распределения между дочерними клетками.

интоксикации организма. Тканевая интоксикация проявляется клиническими симптомами нарушения нервной деятельности, изменением функций внутренних органов.

Одно из ведущих мест в патогенезе лучевой болезни занимает поражение органов кроветворения. Кроветворная ткань наиболее чувствительна к радиации, особенно бластные клетки костного мозга[11]. Поэтому развивающаяся под влиянием радиации аплазия костного мозга является следствием угнетения митотической активности кроветворной ткани и массовой гибели малодифференцированных костномозговых клеток. Резкое снижение кроветворения обусловливает развитие геморрагического синдрома.

В формировании лучевой болезни определенное значение имеет тот факт, что ионизирующие излучения оказывают специфическое – повреждающее – действие на радиочувствительные ткани и органы (стволовые клетки кроветвор-ной ткани, эпителий яичек, тонкого кишечника и кожи) и неспецифическое – раздражающее – действие на нейроэндокринную и нервную системы. Доказано, что нервная система обладает высокой функциональной чувствительностью к радиации даже в малых дозах.

Острая лучевая болезнь

В настоящее время случаи острой лучевой болезни в нашей стране – исключительно редкое явление. Острая форма лучевой болезни в мирное время может наблюдаться в аварийных ситуациях при однократном (от нескольких минут до 1 – 3 дней) внешнем облучении большой мощности – свыше 100 рад. Клиническая картина острой лучевой болезни полиморфна, тяжесть ее течения зависит от дозы облучения.

Хроническая лучевая болезнь

Это общее заболевание организма, развивающееся в результате длительного действия ионизирующего излучения в относительно малых, но превышающих допустимые уровни дозах. Характерно поражение различных органов и систем.

Хроническая лучевая болезнь характеризуется медленным развитием отдельных симптомов и синдромов, своеобразием симптоматики и наклонностью к прогрессированию. Ведущими симптомами являются изменения в нервной системе, кроветворном аппарате, сердечно-сосудистой и эндокринной системах, желудочно-кишечном тракте, печени, почках; происходит нарушение обменных процессов. Полиморфность и многообразие симптоматики зависят от суммарной дозы облучения, характера распределения поглощенной дозы и чувствительности организма.

---

[11] *Бластные клетки* – самые незрелые клетки костного мозга, которые можно идентифицировать с помощью световой микроскопии. Бласты составляют около 1% всех нормально развивающихся клеток костного мозга.

В соответствии с современной классификацией выделяют два варианта хронической лучевой болезни:

а) вызванную воздействием общего внешнего излучения или радиоактивных изотопов с равномерным распределением их в организме (^{3}H, ^{24}Na, ^{27}Cs и др.);

б) обусловленную действием изотопов с избирательным депонированием (^{226}Ra, ^{89}Sr, ^{210}Po и др.), либо местным внешним облучением.

В развитии хронической лучевой болезни выделяют три периода:

1) период формирования, или собственно хроническая лучевая болезнь;

2) период восстановления;

3) период последствий и исходов лучевой болезни.

Первый период, или период формирования патологического процесса, составляет примерно 1-3 года – время, необходимое для формирования при неблагоприятных условиях труда клинического синдрома лучевой болезни с характерными для него проявлениями. Своевременная диагностика заболевания, рациональное трудоустройство больного позволяют приостановить болезнь на определенной стадии и предупредить ее прогрессирование.

Второй период, или период восстановления, определяется обычно через 1-3 года после прекращения облучения или при резком снижении его интенсивности. В этот период можно четко установить степень выраженности первично-деструктивных изменений и составить определенное мнение о возможности репаративных процессов. Заболевание может закончиться полным восстановлением здоровья, восстановлением с дефектом, стабилизацией бывших ранее изменений или ухудшением (прогрессирование процесса).

В случае лучевой болезни, обусловленной *локальным внешним облучением* (в том числе рентгеновским излучением), возможны следующие особенности:

1) постепенное формирование патологического процесса в «критическом» органе без отчетливых клинических признаков его поражения, длительный скрытый период;

2) определенное несоответствие даже в отдаленные сроки между степенью тяжести патологического процесса в «критическом» органе и степенью отклонений в других органах и системах;

3) большая выраженность приспособительных механизмов вследствие преимущественно локального характера лучевого поражения.

Диагностика этой формы лучевой болезни часто затруднена вследствие строго локального поражения, довольно хорошо сохранившейся функции пораженного органа и нормальных функций других поврежденных систем.

Хроническая лучевая болезнь, обусловленная *общим облучением*, встречается у лиц, подвергающихся воздействию ионизирующей радиации в течение 3–5 лет и получивших разовую и суммарную дозы, превышающие предельно допустимые (встречается крайне редко).

Одно из ранних проявлений этой формы – неспецифические реакции вегетативно-сосудистых нарушений, протекающих на фоне функционального измене-

ния ЦНС с обязательными изменениями в периферической крови. В начале заболевания отмечается лабильность показателей крови, в последующем – стойкая лейкопения и тромбоцитопения. Нередко в этот период (доклинический) появляются симптомы геморрагического диатеза. Больные предъявляют жалобы на общее недомогание, головную боль, повышенную раздражительность, кровоточивость десен, диспепсические расстройства и т. п. Однако в этот период все жалобы носят преходящий характер, а симптомы быстрообратимы.

В дальнейшем, если эта стадия не диагностирована и больной продолжает работать в условиях воздействия ионизирующего излучения, происходит формирование болезни, проходящей все этапы своего развития. Только динамическое наблюдение за лицами с признаками отдельных симптомов, подозрительных на наличие лучевой болезни, позволяет установить их клиническую сущность и причину. При дальнейшем развитии процесса появляются и прогрессируют симптомы общей астенизации организма, нарушение обменных процессов и различные нервно-трофические расстройства. Могут наблюдаться симптомы угнетения секреторной и моторной функций желудка и кишечника, снижение функции эндокринных желез (особенно половых), трофические нарушения кожи (снижение эластичности, сухость, ороговение) и ногтей. Как правило, резко снижается сопротивляемость организма, что способствует возникновению различных инфекционных осложнений. Особенностью является возможность развития лейкозов и злокачественных новообразований.

В зависимости от тяжести заболевания и клинического течения различают четыре степени тяжести хронической лучевой болезни.

Хроническая лучевая болезнь I (легкой) степени характеризуется ранним развитием функциональных обратимых нарушений неспецифического характера. По проявлению отдельных синдромов болезнь в этой стадии мало отличается от доклинического периода. Однако по мере формирования заболевания отмечается симптоматика многообразных нарушений нервно-висцеральной регуляции. Клиническая картина складывается из вегетативно-сосудистых расстройств, начальных астенических проявлений и изменений в периферической крови. Основными жалобами являются общая слабость, недомогание, головные боли, снижение работоспособности, ухудшение аппетита, нарушение сна (сонливость днем и бессонница ночью). При объективном осмотре обращает на себя внимание: эмоциональная лабильность, стойкий красный дермографизм, дрожание пальцев вытянутых рук, неустойчивость в позе Ромберга, общий гипергидроз[12], лабильность пульса. Вегетососудистая дистония сопровождается астенизацией[13] организма. На фоне астеновегетативного синдрома четко проявляются симптомы нейроциркуляторной дистонии по гипотоническому типу, тахикардия, синусовая аритмия на

---

[12] *Гипергидроз* представляет собой нарушение функции системы потоотделения, при котором продуцируется избыточное количество пота.

[13] *Астения* (от гр. astheneia – бессилие, слабость) – (1) гипостеническая астения – нервно-психическая слабость, повышенная утомляемость и истощаемость, снижение порога чувствительности, нарушения памяти и внимания; (2) гиперстеническая астения – крайне неустойчивое настроение, несдержанность, раздражительность, недостаточный самоконтроль, нарушения сна.

ЭКГ с некоторым нарушением вольтажа зубцов. В основном изменения на ЭКГ носят экстракардиальный характер.

Один из постоянных симптомов – функциональное нарушение желудочно-кишечного тракта в виде диспепсических явлений, дискинезии кишечника и желчных путей, хронического гастрита со снижением секреторной и моторной функций желудка. Имеет место нарушение функции эндокринных желез – половых и щитовидной: у мужчин отмечается импотенция, у женщин – нарушение овариально-менструальной функции. Гематологические показатели отличаются лабильностью. Изменяется содержание лейкоцитов с отчетливой тенденцией к лейкопении в результате уменьшения числа нейтрофилов при относительном лимфоцитозе. При исследовании пунктата костного мозга выявляются признаки раздражения красного ростка кроветворения (ретикулоцитоз) и белого (незначительное увеличение количества незрелых клеток миелоидного ряда), а также увеличение числа плазматических клеток. Заболевание отличается благоприятным течением, возможно полное клиническое выздоровление.

Хроническая лучевая болезнь II (средней) степени проявляется дальнейшим развитием астеновегетативных нарушений и сосудистой дистонии, угнетением функции кроветворного аппарата и выраженностью геморрагических явлений. По мере прогрессирования заболевания у больных отмечается выраженный астенический синдром, сопровождающийся головными болями, головокружением, повышенной возбудимостью и эмоциональной лабильностью, снижением памяти, ослаблением полового чувства и потенции. Более выраженными становятся трофические нарушения: дерматиты, выпадение волос, изменение ногтей. Возможны диэнцефальные кризы с кратковременной потерей сознания, своеобразным проявлением вазопатии, общим гипергидрозом, приступами пароксизмальной тахикардии, ознобом и обменными нарушениями.

Со стороны сердечно-сосудистой системы отмечаются стойкая гипотония с преимущественным снижением диастолического давления, расширение границ сердца, приглушенность сердечных тонов. Как правило, на ЭКГ – явления миокардиодистрофии, что проявляется снижением вольтажа зубцов, уширением желудочкового комплекса, уплощением зубцов P и T. Усиливается кровоточивость, которая обусловлена как повышением проницаемости сосудистых стенок, так и изменениями в крови (снижение ее свертываемости). Наблюдаются кровоизлияния в кожу и слизистые оболочки, геморрагические гингивиты и стоматиты, множественные кожные петехии, носовые кровотечения. Оказывается нарушенной моторика желудка со снижением секреции, изменена ферментативная деятельность поджелудочной железы и кишечника; возможно токсическое поражение печени.

Наибольшие изменения при данной степени хронической лучевой болезни появляются в крови. Наблюдается резкое снижение уровня лейкоцитов, причем лейкопения носит стойкий характер и, как правило, сопровождается нейтропенией и лимфоцитопенией. Более выраженными становятся признаки токсической зернистости и дегенеративных изменений нейтрофилов, тромбоцитопения. В костном

мозге отмечается гипоплазия всех видов кроветворения. Заболевание носит стойкий характер.

Хроническая лучевая болезнь III (тяжелой) степени характеризуется тяжелыми, подчас необратимыми, изменениями в организме с полной потерей регенерационных возможностей тканей. Отмечаются дистрофические нарушения в различных органах и системах. Клиническая картина носит прогрессирующий характер. Болезнь может протекать длительно, могут присоединиться осложнения (инфекция, травма, интоксикация). Ведущие симптомы этой формы заболевания – тяжелые поражения нервной системы и глубокое угнетение всех видов кроветворения.

Больные резко астеничны, жалуются на значительную общую слабость, адинамию, постоянную головную боль, которая сопровождается приступами головокружения, тошнотой или рвотой. Появляются упорная бессонница, частые кровотечения; снижена память. Нередко выявляются признаки диффузного поражения головного мозга по типу рассеянного энцефаломиелита с изменениями двигательной, рефлекторной и чувствительной сфер и явлениями диэнцефального или гипертензионного синдрома. Появляются множественные геморрагии, язвенно-некротические процессы на слизистых оболочках. На месте кровоизлияний – бурая пигментация кожи. Наблюдается массивное выпадение волос, наступает полное облысение. Выявляются признаки тяжелого некротического гингивита с расшатыванием и выпадением зубов. Некротические изменения можно наблюдать также на миндалинах и в гортани.

Жалобы больных на одышку, приступы сердцебиение и тупые боли в области сердца находят объективное подтверждение при осмотре. Границы сердца расширены, выслушиваются глухие тоны. На ЭКГ – глубокие дистрофические изменения в мышце сердца (низкий вольтаж зубцов, уширение желудочкового комплекса, удлинение предсердно-желудочковой и внутрижелудочковой проводимости, увеличение систолического показателя). Резко снижается аппетит, что, как правило, сочетается с диспепсическими расстройствами и геморрагическими явлениями. Определяются глубокие обменные изменения, нарушения в эндокринной системе (в надпочечниках, гипофизе, половых железах, щитовидной железе).

При биохимических исследованиях крови обнаруживается снижение всех показателей обменных процессов: гипопротеинемия, гипохолестеринемия, гипохлоремия. Количество лейкоцитов в периферической крови резко падает. Лимфоциты иногда не определяются. Значительно снижено число тромбоцитов. Все клетки белой крови дегенеративно изменены. Развивается тяжелая гиперхромная анемия. Результаты исследования костного мозга свидетельствуют о резком обеднении его клеточными элементами, задержке нормального созревания костномозговых элементов, распаде клеток. Происходит глубокое извращение гемопоэза. Отмечено, что присоединение к данному патологическому процессу других заболеваний, особенно воспалительных, приводит к быстрому прогрессированию сдвигов в костном мозге, вплоть до картины панмиелофтиза. Это в свою очередь

становится причиной резкого ослабления сопротивляемости организма и создания условий для начала тяжелого сепсиса.

Хроническая лучевая болезнь IV степени в настоящее время не встречается. Согласно данным литературы, она представляет собой терминальный период заболевания, когда происходит быстрое и неуклонное нарастание всех болезненных симптомов (аплазия костного мозга, резко выраженные явления геморрагии, развитие тяжелого сепсиса). Прогноз неблагоприятный (летальный исход).

Наряду с отмеченной симптоматикой, характеризующей хроническую лучевую болезнь, могут создаться условия для развития катаракты от действия рентгеновского излучения. Для лучевой катаракты характерно наличие довольно продолжительного скрытого периода (2–7 лет).

Длительное воздействие ионизирующей радиации может привести к развитию хронических дерматитов, чаще кистей. Ранними признаками повреждения кожи является сглаженность кожного рисунка. В дальнейшем наблюдаются изменения ногтей, могут развиться новообразования кожных покровов.

Диагностировать хроническую лучевую болезнь очень трудно, особенно в ранней стадии. Ни один из выявляемых в этом периоде симптомов не обладает специфичностью. Симптомы вегетососудистой дистонии, явления астении, умеренная лейкопения, артериальная гипотензия, снижение желудочной секреции – все это может быть обусловлено рядом разнообразных причин, не имеющих отношения к воздействию ионизирующей радиации. Лишь на основании совокупности клинических и лабораторных данных и наличия длительного контакта с радиоактивными веществами в дозах, превышающих предельно допустимые, можно поставить правильный диагноз. При этом, однако, должна быть определенная связь между развитием клинических симптомов и воздействием ионизирующей радиации. Следует также учитывать индивидуальную чувствительность: одна и та же доза может вызвать разную реакцию у различных лиц.

При постановке диагноза большое значение следует придавать санитарно-гигиенической характеристике условий труда и профессиональному анамнезу обследуемого. Определенную ценность представляют данные динамических наблюдений и результаты дозиметрии, а также количественное определение радиоактивных веществ в выделениях организма: не только в моче и кале (в суточных порциях), но и в слюне, мокроте, желудочном соке. При наличии характерной клинической симптоматики и соответствующего профессионального анамнеза, отсутствии выделения радиоактивных веществ рекомендуется проведение провокации тетацин-кальцием, мочегонными препаратами, щелочами.

В интересах профилактики лучевой болезни проводят организационно-технические, санитарно-гигиенические и медико-профилактические мероприятия. Необходимы рациональная организация труда, соблюдение норм радиационной безопасности. Все виды работ должны проводится в условиях эффективной экранизацию источников ионизирующего излучения. При работах с закрытыми источниками излучения необходимо соблюдать правила хранения и переноски ампул с использованием контейнеров, манипуляторов и т. д. Большое значение придается

дозиметрическому контролю, проведению предварительных и периодических медицинских осмотров не реже 1 раза в 12 месяцев.

Существует перечень медицинских противопоказаний, препятствующих приему на работу с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений, включает:

– пониженное содержание гемоглобина, лейкоцитов и тромбоцитов;

– наркомания, токсикомания, в том числе хронический алкоголизм;

– предраковые новообразования, склонные к злокачественному перерождению и рецидивированию; доброкачественные опухоли, препятствующие ношению спецодежды и туалету кожных покровов;

– лучевая болезнь II–IV степени или наличие стойких последствий (при лучевой болезни I степени годность определяется индивидуально);

– облитерирующий эндартериит, болезнь Рейно, ангиоспазмы периферических сосудов;

– хронические гнойные заболевания придаточных пазух носа, хронические средние отиты с частыми обострениями (при атрофических процессах слизистой оболочки годность определяется индивидуально) ;

– понижение остроты зрения: ниже 0,6 D на одном глазу и ниже 0,5 D на другом с учетом коррекции; катаракта;

– хронические инфекционные и грибковые заболевания кожи;

– шизофрения и другие эндогенные психозы.

Большое внимание следует уделять диспансеризации, а также санитарно-просветительной работе среди работающих в условиях ионизирующих излучений по вопросам профилактики возможных заболеваний, здорового образа жизни.

Контрольные вопросы по главе 2

1. Механизмы и пути воздействия ионизирующего излучения на ткани человеческого организма.
2. Взаимосвязь дозы облучения и степени поражения человеческого организма.
3. Лучевая болезнь как следствие прямого и непрямого действия ионизирующего излучения.
4. Острая и хроническая формы лучевой болезни: классификация по формам тяжести, типичные проявления.
5. Медицинские противопоказания приему на работу с радиоактивными веществами и источниками ионизирующего излучения.

Глава 3. Охрана труда при работе с досмотровой рентгенотелевизионной аппаратурой в таможенных органах

3.1. Техника безопасности при досмотровых мероприятиях с использованием досмотровой рентгенотелевизионной аппаратуры

Основные требования безопасности к должностным лицам таможенных органов заключаются в следующем[14]:

1. Своевременно проходить предварительные и периодические медицинские осмотры.
2. Проходить инструктажи и обучение по охране труда в соответствии с Положением о порядке проведения инструктажа, обучения и проверки знании по охране труда должностных лиц таможенных органов Российской Федерации согласно Приказу ГТК РФ от 09.12.2003 №1409.
3. Соблюдать правила внутреннего распорядка, выполнять только порученную ему в соответствии с должностной инструкцией или распоряжением руководства таможенного органа работу.
4. Знать и соблюдать требования нормативных правовых актов по охране труда.
5. Не допускать в работе применение несертифицированного и неисправного оборудования, машин, механизмов, инструмента, приборов, аппаратов, средств индивидуальной и коллективной защиты.
6. При исполнении служебных обязанностей применять средства индивидуальной и коллективной защиты в зависимости от вида выполняемых работ.
7. Обеспечивать соблюдение работниками транспорта, пассажирами правил техники безопасности на вверенном ему участке досмотра.
8. При проведении досмотра применять исправные технические средства таможенного контроля в строгом соответствии с требованиями эксплуатационной документации на данное техническое средство (для сотрудника).
9. Производить досмотр в застегнутой одежде.
10. Проявлять осторожность при досмотре незнакомых веществ и предметов во избежание облучения, отравлений, ожогов, взрывов и т.п.
11. Соблюдать на объектах таможенных органов меры пожарной безопасности.
12. Немедленно сообщать непосредственному начальнику о любом несчастном случае, произошедшем на рабочем месте, о признаках профессионального заболевания, а также о ситуациях, которые создают угрозу жизни и здоровью людей.

---

[14] Приказ ФТС России от 15.04.2008 № 403 «Об утверждении правил по охране труда в таможенных органах и учреждениях, находящихся в ведении ФТС России».

13. Уметь оказать первую (доврачебную) помощь.

14. Знать и соблюдать правила личной гигиены.

15. Курить разрешается лишь в специально отведенных для этого местах, обеспеченных средствами пожаротушения: урнами, ящиками с песком и емкостями с водой, места для курения должны быть обозначены соответствующими знаками безопасности.

3.1.1. Требования безопасности при досмотре автотранспортных средств и перевозимых на них товаров

Требования безопасности при досмотре автотранспортных средств и перевозимых на них товаров составляют следующие основные положения:

1. Досмотр автотранспортных средств и перевозимых на них товаров должен производиться на специально оборудованных таможенными органами досмотровых площадках с навесами, смотровыми ямами, эстакадами, подъемно-транспортными механизмами, знаками безопасности и знаками дорожного движения. Площадки должны быть хорошо освещены, а в зимнее время года очищены от снега и посыпаны песком.

2. Ямы и эстакады должны иметь переходные мостики, направляющие предохранительные реборды, для предотвращения возможного падения автосредства в смотровую яму или эстакаду во время его передвижения.

3. Переходить через досмотровые ямы или эстакады следует только по переходным мостикам.

4. Находиться на подножках, крыльях, крышах полуприцепов, прицепов, кузовов, кабин во время движения автосредства сотрудникам запрещается.

5. Таможенный досмотр автосредства с работающим двигателем и незаторможенными колесами запрещается.

6. В случае выполнения досмотровых операций, связанных со снятием колес, следует поставить под вывешенное автотранспортное средство специальные козелки, а под неснятые колеса – упоры (башмаки).

7. Запрещается:

– производить досмотровые работы на автосредстве со снятыми колесами, вывешенном только на подъемных механизмах (домкратах, талях и т.д.);

– подкладывать под вывешенный автомобиль диски колес, кирпичи и другие предметы, не предназначенные специально для этой цели.

8. При досмотре двигателя у автомашин с поднимающейся кабиной, предварительно следует лично проверить крепление кабины упорной штангой.

9. При необходимости досмотра приборов и частей двигателя автомашины вскрытие их производит водитель автомашины.

10. В дождь, снегопад, гололед – соблюдать осторожность при входе в полуприцеп, прицеп, кузов, кабину и выходе из них, подножки должны быть очищены от грязи, снега, льда.

11. При вскрытии автофургонов с товаром необходимо находиться на без-

опасном расстоянии от открывающихся дверей во избежание травм в случае выпадения товара или ушиба дверью автофургона.

12. При досмотре автобусов и грузовых автомобилей с высокими кузовами применяются лестницы-стремянки.

13. В случае возникновения необходимости в разборке автотранспортных средств для досмотра его отдельных агрегатов (двигателя, заднего и переднего мостов и т.д.), их снятие производится на отдельной (специальной) площадке или в боксе при помощи подъемно-транспортных механизмов, оборудованных приспособлениями, обеспечивающими полную безопасность досмотра. До разборки автотранспортного средства топливо и масло должны быть слиты в специальные емкости.

14. Для устранения опасности ожога или поражения электрическим током при досмотре необходимо соблюдать осторожность при прикосновении к горячим частям двигателя, кузова, электрооборудованию автосредства.

15. Сотрудникам запрещается запускать двигатель, отъезжать на подконтрольных транспортных средствах с места досмотра и допускать запуск двигателя и отъезд подконтрольных лиц до окончания досмотра.

16. Запрещается производить досмотр автотранспортных средств на открытых, незащищенных площадках, в грозу, метель, при сильном ветре и интенсивных атмосферных осадках.

17. Сотрудники, работающие на автотранспорте, электроустановках, разгрузочно-погрузочных механизмах, осуществляющие строповку, должны пройти специальное обучение, аттестацию и иметь соответствующее удостоверение. Аттестация должностных лиц производится в специализированных учебных центрах соответствующего профиля.

18. Досмотр транспортных средств, перевозящих опасные товары, а также бензобаков автотранспортных средств необходимо производить с соблюдением требований безопасности при досмотре опасных товаров и перевозящих их транспортных средств.

19. При досмотре автомобиля должен быть исключен доступ в кабину всех лиц во избежание запуска двигателя и движения автомобиля, при этом зажигание должно быть выключено, рычаг переключения коробки скоростей должен находиться в нейтральном положении и автомобиль должен быть заторможен стояночным тормозом.

3.1.2. Требования безопасности при досмотре опасных товаров и перевозящих их транспортных средств

К опасным товарам относятся вещества, предметы и материалы, имеющие опасные свойства и требующие при таможенном досмотре соблюдения специальных условий и особых мер предосторожности. Несоблюдение этих условий или неосторожное обращение с опасными товарами при таможенном досмотре может привести к взрыву или пожару транспортных средств и товаров, а также к отрав-

лению, ожогам, радиоактивному облучению, увечью или гибели людей.

Все опасные товары в зависимости от их свойств и степени опасности можно разделить на следующие группы:

- взрывчатые вещества;
- вещества, способные к образованию взрывчатых смесей;
- сжатые и сжиженные газы;
- самовозгорающиеся;
- воспламеняющиеся от действия воды;
- легковоспламеняющиеся;
- едкие;
- ядовитые и отравляющие;
- радиоактивные.

На грузовом месте с опасными товарами должна быть нанесена транспортная маркировка. Кроме маркировки должно быть наименование товара и знаки опасности. Досматривать такие товары разрешается после получения полной информации о товаре и с соответствующими мерами предосторожности. При необходимости – в присутствии специалистов.

Трюмы судов, помещения вагонов, железнодорожных и автомобильных цистерн, отсеки прицепов, полуприцепов грузовых автомашин и отсеки воздушных судов, в которых перевозятся (или перевозились) опасные товары до начала досмотра должны быть тщательно проветрены. Вход в такие помещения разрешается только при страховке другим лицом, наличии шланговых, изолирующих противогазов, взрывобезопасных электросветильников, после получения специального инструктажа.

Для освещения при досмотре транспортных средств, перевозящих опасные товары, разрешается пользоваться только электрическими фонарями и светильниками во взрывобезопасном исполнении.

Курение во время досмотра транспортных средств, перевозящих опасные товары, запрещается.

Досмотр опасных товаров, автотранспорта, оборудованного газобаллонными установками, где возможно появление искрового разряда от статического электричества, следует производить только в хлопчатобумажной одежде.

Закрытие крышек люков автоцистерн, перевозящих воспламеняющиеся вещества, должно производиться осторожно, без резких ударов крышки о горловину люка.

При обнаружении во время осуществления таможенных операций в отношении товаров, следующих без инструкции по обращению с ними, должны быть приняты все меры предосторожности. При необходимости вызываются специалисты. Если во время осуществления таможенных операций, осмотра, досмотра будет обнаружено, что повреждена тара, разлиты или разбросаны опасные вещества и т.д., то осмотр/досмотр немедленно прекращается до устранения транспортной организацией обнаруженных дефектов.

Таможенный досмотр опасных товаров должен производиться в специаль-

ной одежде и обуви с использованием средств индивидуальной защиты. Если во время досмотра предохранительная одежда испачкана опасными веществами, то она должна быть немедленно снята и передана на обработку.

Особую осторожность и тщательность сотрудники должны проявлять при досмотре транспортных средств, перевозящих упаковки с радиоактивными веществами. При досмотре радиоактивных веществ сотрудник должен получить и применять дозиметрический прибор. При обнаружении радиоактивного излучения и обнаружении радиоактивных товаров с нарушенной упаковкой досмотр немедленно прекращается до устранения обнаруженных дефектов.

При подозрении, что сотрудник мог быть подвергнут облучению, он немедленно направляется в медицинское учреждение.

Лица, досматривающие транспортные средства с радиоактивными веществами, должны строго соблюдать требования радиационной безопасности и личной гигиены.

3.2. Основы электробезопасности при работе с досмотровой рентгенотелевизионной аппаратурой

Электроснабжение потребителей электроэнергии в таможенных органах осуществляется с помощью электрических сетей, по которым электроэнергия передается от электростанций к потребителям и распределяется между ними.

Электроэнергия вырабатывается на станциях в основном при напряжениях от 3 до 10,5 кв.

При таких низких напряжениях электроэнергию передавать на большие расстояния невыгодно, поэтому генераторное напряжение станции повышают до 110 кв и выше и по магистральным (питающим) линиям высокого напряжения передают в районы потребления, где его вновь понижают до 35, 20, 10, 6 кВ. На таком напряжении электроэнергия распределяется между пунктами потребления.

Для непосредственного использования в установках потребителей напряжение снижается на подстанциях до значений 380, 220/127 В.

По обеспечению надежности электроснабжения все потребители электроэлектроэнергии разделяются на три категории.

К *I категории* относятся электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой: опасность для жизни людей, значительный экономический ущерб, повреждение дорогостоящего оборудования, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства.

Технологическое оборудование международных пунктов пропуска относится к электроприемникам I категории.

Электроприемники I категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, и перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного из источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания.

Из состава электроприемников I категории выделяется особая группа электроприемников, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего оборудования.

Для электроснабжения особой группы электроприемников I категории должно предусматриваться дополнительное питание от третьего независимого взаимно резервирующего источника питания.

Ко *II категории* относятся электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей. Электроприемники II категории рекомендуется обеспечивать электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания.

Для электроприемников II категории при нарушении электроснабжения от одного из источников питания допустимы перерывы электроснабжения на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной оперативной бригады.

К *III категории* относятся все остальные электроприемники, электроснабжение которых может выполняться от одного источника питания при условии, что его перерывы, необходимые для ремонта и замены поврежденного элемента, не превышают одних суток.

3.2.1. Требования к персоналу, эксплуатирующему электроустановки в таможенных органах

Эксплуатацию электроустановок должен осуществлять подготовленный электротехнический персонал.

Электротехнический персонал подразделяется на:

– административно-технический;

– оперативный;

– ремонтный;

– оперативно-ремонтный.

Перечень должностей и профессий электротехнического персонала, которым необходимо иметь соответствующую группу по электробезопасности, утверждает руководитель Потребителя.

Работники, принимаемые для выполнения работ в электроустановках, должны иметь профессиональную подготовку, соответствующую характеру работы. При отсутствии профессиональной подготовки такие работники должны быть обучены (до допуска к самостоятельной работе) в специализированных центрах подготовки персонала (учебных комбинатах, учебно-тренировочных центрах и т. п.).

Электротехнический (электротехнологический) персонал должен:

– пройти проверку знаний Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок, утвержденных приказом Министерством труда и социальной защиты от 24.07.2013 № 328н и других нормативно-технических документов (правил и инструкций по технической эксплуатации, пожарной безопасности, пользованию защитными средствами устройства электроустановок) в пределах требований, предъявляемых к соответствующей должности или профессии, и иметь соответствующую группу по электробезопасности;

– быть обучен приемам освобождения пострадавшего от действия электрического тока, оказания первой помощи при несчастных случаях;

– соблюдать требования правил безопасности при эксплуатации электроустановок, инструкций по охране труда, указания, полученные при инструктаже.

Работнику, прошедшему проверку знаний по охране труда при эксплуатации электроустановок, выдается удостоверение установленной формы.

Требования к персоналу для присвоения групп по электробезопасности распределены по группам в соответствии со следующими принципами:

Группа I

Группа I распространяется на неэлектротехнический персонал, выполняющий работы, при которых может возникнуть опасность поражения электрическим током. Перечень профессий, рабочих мест, требующих отнесения производственного персонала к группе I, определяет руководитель организации.

Присвоение группы I производится путем проведения инструктажа, который, как правило, должен завершаться проверкой знаний в форме устного опроса и (при необходимости) проверкой приобретенных навыков безопасных способов работы или оказания первой помощи при поражении электрическим током. Персоналу, усвоившему требования по электробезопасности, относящиеся к его производственной деятельности, присваивается группа I с оформлением в журнале установленной формы. Присвоение I группы по электробезопасности проводится с периодичностью не реже одного раза в год. Присвоение I группы проводится работником из числа электротехнического персонала, имеющего группу III, назначенным распоряжением руководителя организации.

Группа II

Минимальный стаж работы в электроустановках:

1. После обучения по программе не менее 72 часов для персонала, не имеющего среднего образования или со средним образованием.

2. Не нормируется – для лиц со средним электротехническим и высшим техническим образованием и высшим электротехническим образованием

Требования к персоналу:

1. Элементарные технические знания об электроустановке и ее оборудовании.

2. Отчетливое представление об опасности электрического тока, опасности приближения к токоведущим частям.

3. Знание основных мер предосторожности при работах в электроустановках.

4. Практические навыки оказания первой помощи пострадавшим.

Группа III

Минимальный стаж работы в электроустановках:

1. 3 месяца – для персонала, не имеющего среднего образования.

2. 2 месяца в предыдущей группе – для лиц со средним образованием и средним электротехническим и высшим техническим образованием и высшим электротехническим образованием.

3. 1 месяц – в предыдущей группе – для лиц с высшим электротехническим образованием.

Требования к персоналу:

1. Элементарные познания в общей электротехнике.

2. Знание электроустановки и порядка ее технического обслуживания.

3. Знание общих правил техники безопасности, в том числе правил допуска к работе, и специальных требований, касающихся выполняемой работы.

4. Умение обеспечить безопасное ведение работы и вести надзор за работающими на электроустановках.

5. Знание правил освобождения пострадавшего от действия электрического тока, оказания первой медицинской помощи и умение практически оказывать ее пострадавшему.

Группа IV

Минимальный стаж работы в электроустановках:

1. 6 месяцев – в предыдущей группе – для персонала, не имеющего среднего образования.

2. 3 месяца – в предыдущей группе – для лиц со средним образованием и средним электротехническим и высшим техническим образованием.

3. 2 месяца – в предыдущей группе – для лиц с высшим электротехническим образованием.

Требования к персоналу:

1. Знание электротехники в объеме специализированного профессионально-технического училища.

2. Полное представление об опасности при работах в электроустановках.

3. Знание правил по электробезопасности, правил технической эксплуатации электрооборудования, устройства электроустановок и пожарной безопасности в объеме занимаемой должности.

4. Знание схем электроустановок и оборудования обслуживаемого участка, знание технических мероприятий, обеспечивающих безопасность работ.

5. Умение проводить инструктаж, организовывать безопасное проведение работ, осуществлять надзор за членами бригады.

6. Знание правил освобождения пострадавшего от действия электрического тока, оказания первой медицинской помощи и умение практически оказывать ее пострадавшему.

7. Умение обучать персонал правилам техники безопасности, практическим приемам оказания первой медицинской помощи.

Группа V

Минимальный стаж работы в электроустановках:

1. 2 года – в предыдущей группе – для персонала, не имеющего среднего образования.

2. 1 год – в предыдущей группе – для лиц со средним образованием.

3. 6 месяцев – в предыдущей группе – для лиц со средним электротехническим и высшим техническим образованием.

4. 3 месяца – в предыдущей группе – для лиц с высшим электротехническим образованием.

Требования к персоналу:

1. Знание схем электроустановок, компоновки оборудования технологических процессов производства.

2. Знание настоящих Правил, правил пользования и испытаний средств защиты, четкое представление о том, чем вызвано то или иное требование.

3. Знание правил технической эксплуатации, правил устройства электроустановок и пожарной безопасности в объеме занимаемой должности.

4. Умение организовать безопасное проведение работ и осуществлять непосредственное руководство работами в электроустановках любого напряжения.

5. Умение четко обозначать и излагать требования о мерах безопасности при проведении инструктажа работников.

6. Умение обучать персонал правилам техники безопасности, практическим приемам оказания первой медицинской помощи.

Приведенные требования к персоналу в отношении безопасности являются минимальными и решением руководителя организации могут быть дополнены.

3.2.2. Технические меры, применяемые при устройстве электроустановок для предотвращения поражения электрическим током

Безопасность при эксплуатации электроустановок обеспечивается путем:

– применения надлежащей изоляции (в отдельных случаях – повышенной и двойной изоляции);

– соблюдения соответствующих расстояний до токоведущих частей или путем закрытия, ограждения токоведущих частей;

– применения блокировки аппаратов и ограждающих устройств для предотвращения ошибочных операций и доступа к токоведущим частям;

– надежного и быстродействующего автоматического отключения частей электрооборудования, случайно оказавшихся под напряжением, и поврежденных участков сети, в том числе защитного отключения;

– заземления или зануления корпусов электрооборудования и элементов электроустановок, которые могут оказаться под напряжением вследствие повреждения изоляции;

– выравнивания потенциалов;

– применения разделительных трансформаторов;

– применения напряжений 42 В и ниже переменного тока частотой 50 Гц и 110 В и ниже постоянного тока;

– применения предупреждающей сигнализации, надписей и плакатов;

– применение устройств, снижающих напряженность электрических полей;

– использование средств защиты и приспособлений в том числе для защиты от воздействия электрического поля в электроустановках, в которых его напряженность превышает допустимые нормы.

3.2.3. Воздействие электрического тока на организм человека

В зависимости от условий последствия действие тока на человека могут быть различны, но всегда оказывается воздействие на нервную систему, которое наиболее опасно.

Работа сердца и дыхание регулируется нервными импульсами исходящими от нервной системы. Воздействие электрического тока на нервную систему приводит к нарушению работы сердца и дыхания, что может привести к беспорядочному сокращению мышц сердца (фибриляции), что равносильно его остановке.

Воздействие тока на организм человека выражается в виде электрического удара и шока.

Электрический удар – в зависимости от последствий можно разделить на 5 степеней:

1. Едва ощутимое судорожное сокращение мышц.
2. Судорожное сокращение мышц с сильными болями, без потери сознания.
3. Судорожное сокращение мышц с потерей сознания, но сохранением работы сердца и дыхания.
4. Потеря сознания с нарушением работы сердца или дыхания.
5. Клиническая смерть (не работает сердце, отсутствует дыхание).

Последствия электрического удара могут вызвать обострение хронических заболеваний, длительные серьезные расстройства здоровья человека , поэтому не зависимо от тяжести электрического удара необходимо пройти медицинское обследование.

Электрический шок – сложная реакция организма на воздействие электрического тока, имеющая две фазы – возбуждения и торможения.

Фаза возбуждения характеризуется снижением болевого порога, повышением артериального давления, сохранением активности и работоспособности, но потом переходит в фазу торможения, которая характеризуется:

– пониженным артериальным давлением;
– учащением пульса;
– ослаблением дыхания;
– угнетенным состоянием, депрессией;
– затем клиническая смерть, которая без оказания первой медицинской помощи может перейти в биологическую.

Продолжительность нахождения пострадавшего в шоковом состоянии может составлять от нескольких минут до суток, характеризуется длительным расстройством жизненно важных функций организма. Поэтому жизненно важно как можно раньше оказать пострадавшему квалифицированную медицинскую помощь.

Термическое действие – характеризуется ожогами разной степени, электрометаллизацией кожи (проникновение в верхние слои кожи мельчайших частичек металла от воздействия электрической дуги, электрические знаки (омертвление верхнего слоя кожи).

Электролитическое действие – сопровождается электролизом крови, нарушением ее физико-химического состава и функций в организме.

Механическое воздействие – приводит к различным травмам частей тела под действием непроизвольного сокращения мышц.

Ослепление лучами электрической дуги.

Факторы, влияющие на тяжесть электротравмы.

На тяжесть электротравмы влияет сочетание нижеперечисленных факторов.

1. Величина тока.
2. Род тока (постоянный, переменный).
3. Частота тока (50, 60, 400 гц).
4. Путь тока через тело человека.
5. Продолжительность действия тока.
6. Индивидуальные особенности пострадавшего.

Сопротивление тела человека зависит от многих причин (общего состояния здоровья, психического состояния, степень утомления, толщины и состояния кожного покрова и его влажности, условий окружающей среды, длительности прохождения тока).

3.2.4. Оказание первой медицинской помощи пострадавшим от электрического тока

Первая помощь – это комплекс мероприятий, направленный на восстановление или сохранение жизни и здоровья пострадавшего. От того насколько умело

и быстро оказана первая помощь, зависит жизнь пострадавшего и, как правило, успех последующего лечения.

Последовательность действий при оказании первой помощи пострадавшему:

1. Освобождение от действия электрического тока, исключающее попадание самого под действие электрического тока.

2. Оценка состояния пострадавшего.

3. Определение характера травмы, создающей наибольшую угрозу для жизни пострадавшего, последовательность действий по его спасению.

4. Выполнение необходимых мероприятий по спасению пострадавшего в порядке срочности (восстановление проходимости дыхательных путей, проведение искусственного дыхания, наружного массажа сердца).

5. Поддержание основных жизненно важных функций пострадавшего до прибытия медицинского персонала.

6. Вызов скорой медицинской помощи или врача, в случае невозможности вызова медицинского персонала на место происшествия необходимо обеспечить транспортировку пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение. Перевозить пострадавшего можно только при устойчивом дыхании и пульсе.

Последовательность выполнения операций по освобождению человека от действия электрического тока

Необходимо как можно быстрее освободить пострадавшего от действия тока (от продолжительности его действия зависит тяжесть электротравмы), что обеспечивается одним из наиболее подходящим способом в конкретных условиях:

– отключением электроустановки (выключателем, рубильником, снятием предохранителей, расстыковкой штепсельного соединения;

– перерубить провода (до 1 кВ) топором с сухой деревянной рукояткой или инструментом с изолирующими рукоятками;

– созданием искусственного короткого замыкания.

Если отключить электроустановку не получается, то необходимо принять меры к отделению пострадавшего от токоведущих частей, исключив возможность самому попасть под напряжение.

До 1000 В следует воспользоваться сухим предметом, не проводящим ток, оттянуть одной рукой за одежду.

При напряжении выше 1000 В для отделения пострадавшего необходимо использовать диэлектрические перчатки и боты и действовать изолирующей штангой или клещами.

3.2.5. Перечень основных нормативно-технических документов по устройству и эксплуатации электроустановок

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) изд. 7.

ПУЭ, изд. 7. Разд. 1. Общие правила. Гл. 1.1, 1.2, 1.7, 1.9. Разд. 7. Электрооборудование специальных установок. Гл. 7.5, 7.6, 7.10. Введены с 01.01.2003.

ПУЭ, изд. 7. Разд. 1. Общие правила. Гл. 1.8. Нормы приемо-сдаточных испытаний. Введены с 01.09.2003.

ПУЭ, изд. 7. Разд. 2. Передача электроэнергии. Гл. 2.4. Воздушные линии электропередачи напряжением до 1 кВ. Гл. 2.5. Воздушные линии электропередачи напряжением выше 1 кВ. Введены с 01.10.2003.

ПУЭ, изд. 7. Разд. 4. Распределительные устройства и подстанции. Гл. 4.1. Распределительные устройства напряжением до 1 кВ переменного тока и до 1,5 кВ постоянного тока. Гл. 4.2. Распределительные устройства и подстанции напряжением выше 1 кВ. Введены с 01.11.2003.

ПУЭ, изд. 7. Разд. 6. Электрическое освещение. Разд. 7. Электрооборудование специальных установок. Гл. 7.1. Электроустановки жилых, общественных, административных и бытовых зданий. Гл. 7.2. Электроустановки зрелищных предприятий, клубных учреждений и спортивных сооружений. Введены с 01.01.2000.

2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП). Введены с 01.07.2003.

3. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. Утв. Министерством труда и социальной защиты 24.07.2013 № 328н.

4. ГОСТ 12.1.019-2009. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. Утвержден и введен с 01.01.2010.

5. Межотраслевая инструкция по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве. Введена с 01.07.2001.

6. Межотраслевые правила по охране труда при работе на высоте. ПОТ РМ 012-2000. Введены с 01.12.2000. Сейчас действует приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 28 марта 2014 г. № 155н "Об утверждении Правил по охране труда при работе на высоте". Начало действия документа - 06.05.2015.

7. Инструкция по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках. Введена с 30.06.2003.

8. Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. СП 31-110-2003. Введен с 01.01.2004.

9. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. Введена с 01.07.2003.

3.3. Порядок обучения вопросам охраны труда и проверки знаний требованиям охраны труда должностных лиц таможенных органов

В целях улучшения условий и охраны труда в таможенных органах и организациях ФТС России в соответствии с Постановлением Министерства труда и социального развития РФ и Министерства образования РФ от 13.01.2003 № 29 Приказом ГТК от 09.12.2003 утвержден Порядок обучения вопросам охраны труда и проверки знаний требований охраны труда должностных лиц и работников таможенных органов и учреждений таможенной службы России (далее – Порядок).

Порядок устанавливает общие требования к обязательному обучению вопросам охраны труда должностных лиц и работников таможенных органов и к проверке их знаний в этой области (далее – обучение и проверка знаний), разработан для обеспечения профилактических мер по сокращению случаев производственного травматизма и профессиональных заболеваний.

Таможенные органы и учреждения могут устанавливать дополнительные требования к организации обучения и проверки знаний, не противоречащие требованиям настоящего Порядка.

Настоящий Порядок не заменяет установленных органами государственного надзора и контроля специальных требований к проведению обучения, инструктажа и проверки знаний должностных лиц и работников системы таможенных органов.

Обучению и проверке знаний подлежат все должностные лица и работники таможенных органов, в том числе их руководители.

Должностные лица и работники таможенных органов России, имеющие квалификацию инженера (специалиста) по охране труда или непрерывный стаж работы в области охраны труда не менее пяти лет, в течение года после поступления на службу (работу) могут не проходить обучение и проверку знаний.

Ответственность за организацию и своевременность обучения и проверки знаний в структурных подразделениях таможенных органов России несут их руководители согласно порядку, установленному законодательством Российской Федерации.

3.3.1. Порядок обучения вопросам охраны труда

Для всех принимаемых на службу (работу) лиц, а также для лиц, переводимых на другую службу (работу), руководитель (или уполномоченное им лицо) обязан проводить инструктаж по охране труда.

Все принимаемые на службу (работу) и командированные лица, а также студенты и слушатели Российской таможенной академии и ее филиалов, прибывшие на производственную практику в структурное подразделение таможенного органа, проходят согласно установленному порядку вводный инструктаж и первичный инструктаж на рабочем месте.

Кроме вводного инструктажа по охране труда и первичного инструктажа на рабочем месте проводятся повторный, внеплановый и целевой инструктажи.

Вводный инструктаж по охране труда проводит специалист по охране труда или другой специалист, на которого приказом таможенного органа возложены эти обязанности. Первичный инструктаж на рабочем месте, повторный, внеплановый и целевой инструктажи проводит руководитель конкретного структурного подразделения, прошедший согласно установленному порядку обучение и проверку знаний.

Вводный инструктаж по охране труда проводится по программе, разработанной на основании законодательных и иных нормативных правовых актов Российской Федерации с учетом специфики деятельности структурного подразделения таможенного органа и утвержденной руководителем (или уполномоченным им лицом).

Первичный инструктаж на рабочем месте проводится до начала самостоятельной работы по программам, разработанным и утвержденным в соответствии с требованиями законодательных и иных нормативных правовых актов по охране труда, локальных нормативных актов, инструкций по охране труда, технической и эксплуатационной документации.

Проведение инструктажей по охране труда включает ознакомление должностных лиц и работников таможенного органа с имеющимися опасными или вредными производственными факторами, изучение требований, содержащихся в нормативных и правовых актах по вопросам охраны труда, действующих в таможенных органах, технической, эксплуатационной документации, а также применение безопасных методов и приемов выполнения работ.

По окончании инструктажа проводится устная проверка знаний и навыков безопасных приемов работы лицом, проводившим инструктаж.

Проведение всех видов инструктажей регистрируется в журналах проведения соответствующих инструктажей (в установленных случаях – в наряде-допуске на производство работ) с указанием подписи лица, прошедшего инструктаж, и подписи лица, проводившего инструктаж, а также даты проведения инструктажа (форма журналов установлена ГОСТ 12.0.004-90 «Организация обучения безопасности труда»).

Должностные лица и работники таможенного органа, не связанные с эксплуатацией, обслуживанием, испытанием, наладкой и ремонтом оборудования, использованием электрифицированного или иного инструмента, хранением и применением сырья и материалов, могут освобождаться от прохождения первичного инструктажа на рабочем месте. Перечень профессий и должностей специалистов, освобожденных от первичного инструктажа на рабочем месте, утверждает руководитель таможенного органа.

Повторный инструктаж проходят после первичного инструктажа на рабочем месте не реже одного раза в шесть месяцев по программам, разработанным для проведения первичного инструктажа на рабочем месте.

Внеплановый инструктаж проводится:

– при введении новых законодательных или иных нормативных правовых актов по вопросам охраны труда или при внесении изменений в существующие акты, а также в инструкции по охране труда;

– при изменении технологических процессов, замене или модернизации оборудования, приспособлений, инструмента и других факторов, влияющих на безопасность труда;

– при нарушении должностными лицами и работниками требований охраны труда, если эти нарушения создали реальную угрозу наступления тяжких последствий (несчастный случай на производстве, авария и т.п.);

– по требованию должностных лиц органов государственного надзора и контроля;

– при перерывах в работе должностных лиц и работников (для работ с вредными и (или) опасными условиями – более 30 календарных дней, для остальных работ – также более 2 месяцев);

– по решению руководителя (или уполномоченного им лица) таможенного органа.

Целевой инструктаж проводится при выполнении разовых работ и работ, на которые оформляется наряд-допуск, разрешение или другие специальные документы, а также при проведении массовых мероприятий.

Руководитель (или уполномоченное им лицо) таможенного органа обязан организовать обучение безопасным методам и приемам выполнения работ всех поступивших на работу лиц, а также лиц, переводимых на другую работу, в течение месяца после приема или перевода.

Обучение по охране труда проводится при подготовке работников рабочих профессий, переподготовке и обучении их другим рабочим профессиям.

Руководитель (или уполномоченное им лицо) таможенного органа обеспечивает обучение лиц, принимаемых на работу с вредными и (или) опасными условиями труда, безопасным методам и приемам выполнения работ со стажировкой на рабочем месте и сдачей экзаменов, а в процессе трудовой деятельности – проведение периодического обучения и проверки знаний. Работники рабочих профессий, впервые приступившие к выполнению указанных работ либо имеющие перерыв в работе по профессии (виду работ) более года, проходят обучение и проверку знаний в течение первого месяца после назначения.

Порядок, форма, периодичность и продолжительность обучения и проверки знаний работников рабочих профессий устанавливает руководитель (или уполномоченное им лицо) таможенного органа в соответствии с нормативными правовыми актами, регулирующими безопасность конкретных видов работ.

Руководитель (или уполномоченное им лицо) таможенного органа организовывает проведение периодического (не реже одного раза в год) обучения работников рабочих профессий оказанию первой помощи пострадавшим. Лица, вновь принимаемые на работу, проходят обучение по оказанию первой помощи пострадавшим в сроки, установленные руководителем (или уполномоченным им

лицом) таможенного органа, но не позднее одного месяца после приема на работу.

3.3.2. Обучение должностных лиц и работников бюджетной сферы таможенных органов

Вновь назначенные на должность должностные лица и работники бюджетной сферы допускаются к самостоятельной работе после их ознакомления с должностными обязанностями, в том числе в области охраны труда, с действующими локальными нормативными актами, регламентирующими порядок организации работ по охране труда, условиями труда в структурном подразделении.

Должностные лица и работники бюджетной сферы таможенных органов при поступлении на службу (работу) в течение первого месяца должны пройти обучение по вопросам охраны труда, далее – по мере необходимости, но не реже одного раза в три года.

Обучение охране труда должностных лиц и работников бюджетной сферы проводится по соответствующим программам по охране труда непосредственно в структурных подразделениях или в образовательных учреждениях профессионального образования, учебных центрах и в других учреждениях и организациях, осуществляющих образовательную деятельность (обучающие организации).

Обучение охране труда в обучающих организациях проходят:

– руководители, заместители руководителей структурных подразделений, курирующие вопросы охраны труда, руководители, осуществляющие руководство и организацию работ на рабочих местах, а также контроль и надзор за проведением работ;

– специалисты служб охраны труда, лица, на которых руководителем возложены обязанности организации работы по охране труда, члены комитетов (комиссий) по охране труда, уполномоченные лица по охране труда;

– члены комиссий по проверке знаний требований охраны труда организаций.

Остальные должностные лица и работники бюджетной сферы могут проходить обучение и проверку знаний непосредственно в таможенном органе при наличии комиссии по проверке знаний требований охраны труда.

Обучение по охране труда должностных лиц и работников бюджетной сферы проводится по программам обучения по охране труда, утверждаемым руководителем (или уполномоченным им лицом) таможенного органа.

В процессе обучения должностных лиц и работников бюджетной сферы проводятся лекции, семинары, собеседования, индивидуальные или групповые консультации, деловые игры и другие подобные мероприятия.

Могут использоваться элементы самостоятельного изучения программы по охране труда, модульные и компьютерные программы, а также дистанционное обучение.

Обучение должностных лиц и работников бюджетной сферы организовывает служба охраны труда или лица, на которых руководителем таможенного органа

возложены обязанности организации работы по охране труда и которые имеют соответствующую квалификацию в области охраны труда.

3.3.3. Проверка знаний требований охраны труда

Проверку теоретических знаний и практических навыков безопасной работы работников рабочих профессий проводят непосредственные руководители работ в объеме требований правил и инструкций по охране труда, а при необходимости – в объеме дополнительных специальных требований безопасности и охраны труда.

Должностные лица и работники проходят очередную проверку не реже одного раза в три года.

Внеочередная проверка знаний должностных лиц и работников независимо от срока проведения предыдущей проверки проводится:

– при введении новых законодательных или иных нормативных правовых актов по вопросам охраны труда или при внесении изменений в существующие акты (проверяется знание только указанных законодательных и иных нормативных правовых актов);

– при вводе в эксплуатацию нового оборудования и изменениях технологических процессов, требующих дополнительных знаний по охране труда (проверяется знание требований охраны труда, связанных с соответствующими изменениями);

– при назначении лиц или переводе на другую работу, если новые обязанности требуют дополнительных знаний в области охраны труда (до начала исполнения ими своих должностных обязанностей);

– по требованию должностных лиц федеральной инспекции труда, других органов государственного надзора и контроля, а также федеральных органов исполнительной власти и органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации в области охраны труда, органов местного самоуправления, а также руководителя (или уполномоченного им лица) таможенного органа при установлении нарушений требований охраны труда и недостаточных знаний требований безопасности и охраны труда;

– после происшедших аварий и несчастных случаев, а также при выявлении неоднократных нарушений требований нормативных правовых актов по охране труда;

– при перерыве в работе в данной должности более одного года.

Для проведения проверки знаний требований охраны труда должностных лиц и работников приказом (распоряжением) таможенного органа создается комиссия по проверке знаний требований охраны труда в составе не менее трех человек, прошедших соответствующее обучение согласно установленному порядку.

В состав указанной комиссии могут быть включены руководители, специалисты служб охраны труда, представители профессиональных союзов, уполномоченные лица по охране труда и другие специалисты таможенных органов.

В целях упорядочения работы по охране труда рекомендуется проверку требований охраны труда осуществлять комиссии по охране труда таможенного органа.

Проверка знаний должностных лиц и работников, в том числе руководителей, проводится в соответствии с нормативными правовыми актами по охране труда, обеспечение и соблюдение требований которых входит в их обязанности с учетом их должностных обязанностей и специфики выполняемых работ.

Результаты проверки знаний требований охраны труда оформляются протоколом по установленной форме. Лицу, успешно прошедшему проверку, может выдаваться удостоверение.

Лицо, не прошедшее проверку, обязано пройти повторную проверку знаний в течение месяца.

3.3.4. Контроль за обучением по охране труда

На территории субъекта Российской Федерации организацию обучения по охране труда и проверки знаний требований охраны труда координируют федеральные органы исполнительной власти и орган исполнительной власти по труду субъекта Российской Федерации, который формирует банк данных всех обучающих организаций, находящихся на территории субъекта Российской Федерации.

Ответственность за качество обучения по охране труда и выполнение утвержденных программ по охране труда несет обучающая организация и работодатель организации в порядке, установленном законодательством Российской Федерации.

Контроль за своевременным проведением проверки знаний требований охраны труда работников, в том числе руководителей, организаций, осуществляется органами федеральной инспекции труда.

3.4. Требования радиационной безопасности при использовании источников ионизирующего излучения (генерирующих)

3.4.1. Организация работ с источниками ионизирующего излучения

Законодательство Российской Федерации в области обеспечения радиационной безопасности основано на Законах РФ «О радиационной безопасности населения», «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», «Об использовании атомной энергии» и издаваемых в соответствии с ними нормативными правовыми актами органов государственной власти и управления в пределах их полномочий. Оно регулирует общественные отношения в области санитарно-эпидемиологического благополучия населения, как необходимые условия реализации на территории Российской Федерации прав и интересов граждан и общества в сохранении и укреплении здоровья, физического и духовного развития и долголетней активности жизни людей.

Государственные санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (далее – санитарные правила) – нормативные правовые акты, устанавливающие санитарно-эпидемиологические требования (в том числе критерии безопасности и (или) безвредности факторов среды обитания человека, гигиенические и иные нормативы), несоблюдение которых создает угрозу жизни или здоровью человека.

Особое место в действующей системе нормативных правовых актов обеспечения радиационной безопасности занимают «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99/2009) и «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности» (ОСПОРБ-99/2010).

Основные положения, регламентирующие облучение различных категорий лиц, исходя из анализа, накопленного опыта обеспечения радиационной безопасности, результатов научных исследований отечественных и зарубежных ученых, рекомендаций Международной комиссии по радиационной защите, отражены в НРБ-99/2009. Значительная же часть требований ОСПОРБ-99/2010 связана с правилами осуществления, организации и оформления любых работ с применением источников ионизирующего излучения (ИИИ).

НРБ-99 и ОСПОРБ-99 представляют собой два самостоятельных документа. Если нормы радиационной безопасности устанавливают допустимые пределы радиационного воздействия для различных категорий облучаемых лиц, то санитарные правила предлагают средства, посредством реализации которых обеспечивается их соблюдение. Приоритет этих документов заключается в том, что ни один нормативный акт в области обеспечения радиационной безопасности не должен противоречить их положениям.

Радиационная безопасность при нормальной эксплуатации источников излучения обеспечивается соблюдением следующих основных принципов:

– непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников излучения (принцип нормирования);

– запрещение всех видов деятельности по использованию источников излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным облучением (принцип обоснования);

– поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника излучения (принцип оптимизации).

Осуществление на практике указанных положений обеспечивает единообразный подход к применению и соблюдению основных принципов обеспечения радиационной безопасности на всей территории Российской Федерации.

3.4.2. Ответственность администрации при работах с источниками ионизирующего излучения

Радиационная безопасность при работах с источниками ионизирующего излучения предполагает ответственность администрации за обеспечение радиационной безопасности на объекте путем:

– соблюдения требований Федерального Закона «О радиационной безопасности населения» и иных нормативных правовых актов в области обеспечения радиационной безопасности;

– получения санитарно-эпидемиологических заключений о соответствии условий работы с источниками ионизирующего излучения санитарным нормам и правилам;

– получения лицензии на деятельность в области использования источников ионизирующего излучения;

– разработки и согласования с Управлением Роспотребнадзора контрольных уровней воздействия радиационных факторов в организации с целью закрепления достигнутого уровня радиационной безопасности;

– установления по согласованию с Управлением Роспотребнадзора категории потенциальной радиационной опасности объекта;

– создания условий работы с источниками излучения соответствующих требованиям ОСПОРБ-99/2010, другим санитарным правилам и нормам, правилам по охране труда, технике безопасности;

– планирования и осуществления мероприятий по обеспечению и совершенствованию радиационной безопасности в организации;

– обеспечения контроля за радиационной обстановкой на рабочих местах, в смежных помещениях. Порядок и программа производственного контроля за радиационной безопасностью согласовывается с Управлением Роспотребнадзора.

– утверждения перечня лиц, относящихся к персоналу групп «А» и «Б» (персонал группы «А» – лица, работающие с техногенными источниками излучения, персонал группы «Б» – лица, находящиеся по условиям работы в сфере воздействия ионизирующего излучения);

– назначения приказом по организации лиц ответственных за обеспечение радиационной безопасности, за производственный радиационный контроль, за учет и хранение источников излучения;

– разработки инструкций по радиационной безопасности при проведении работ с источниками ионизирующего излучения;

– разработки и утверждения «Инструкции по действиям персонала в аварийных ситуациях»;

– издания приказа о назначении комиссии по ежегодной инвентаризации источников ионизирующего излучения;

– составления и утверждения должностных инструкций для персонала и руководителей работ;

– приобретения нормативных правовых документов ОСПОРБ-99/2010, НРБ-99/2009, санитарных правил на все виды использующихся в данной организации источников излучения;

– подготовки и аттестации по вопросам обеспечения радиационной безопасности руководителей и исполнителей работ, лиц ответственных за производственный радиационный контроль;

– контроля и учета индивидуальных доз облучения персонала и ежегодного заполнения формы государственного статистического наблюдения № 1 ДОЗ;

– проведения инструктажа (не реже 2-х раз в год) и проверки знаний персонала в области радиационной безопасности (комиссионно до начала работ и в дальнейшем 1 раз в год);

– проведения предварительных (при поступлении на работу) и периодических медицинских осмотров персонала;

– ежегодного заполнения и представления в Управление Роспотребнадзора радиационно-гигиенического паспорта организации в установленные сроки;

– своевременного информирования органов Роспотребнадзора о возникновении аварийных ситуаций или аварий;

– выполнения постановлений и предписаний должностных лиц Роспотребнадзора.

3.4.3. Обязанности персонала, работающего с источниками ионизирующего излучения

Обязанности персонала, работающего с источниками ионизирующего излучения, заключаются в следующем:

– знать и строго выполнять требования по обеспечению радиационной безопасности, установленные ОСПОРБ-99/2010, инструкциями по радиационной безопасности и должностными инструкциями;

– выполнять установленные требования по предупреждению радиационной аварии и правила поведения в случае ее возникновения;

– своевременно проходить периодические медицинские осмотры и выполнять рекомендации медицинской комиссии (за уклонение от прохождения медицинского осмотра персонал может быть временно отстранен от работы с ИИИ);

– обо всех обнаруженных неисправностях в работе установок, приборов и аппаратов, являющихся источниками излучения, немедленно ставить в известность руководителя работ и лиц, ответственных за радиационную безопасность и производственный радиационный контроль;

– выполнять указания лиц, ответственных за радиационную безопасность и производственный радиационный контроль, касающиеся обеспечения радиационной безопасности при выполнении работ.

Должностные лица и граждане РФ, допустившие нарушения санитарного законодательства в области радиационной безопасности могут быть привлечены

к дисциплинарной, административной или уголовной ответственности в соответствии с законодательством РФ.

4.3.4. Порядок приемки в эксплуатацию участков работ с источниками ионизирующего излучения

Радиационный объект (источник излучения) до начала его эксплуатации принимается комиссией в составе представителей заинтересованной организации, органов государственного надзора за радиационной безопасностью.

Комиссия устанавливает соответствие принимаемого объекта проекту, требованиям действующих норм и правил, необходимым условиям сохранности источников излучения, на основании чего принимается решение о возможности эксплуатации объекта.

Получение, хранение и использование источников излучения разрешается только после получения санитарно-эпидемиологического заключения о соответствии условий работы с источниками излучения санитарным правилам, которое выдает Управление Роспотребнадзора по запросу организации. Основанием для выдачи санитарно-эпидемиологического заключения является акт приемки в эксплуатацию вновь открываемого объекта или акт санитарного обследования действующего объекта.

Санитарно-эпидемиологическое заключение выдается на срок не более 5 лет. По истечении срока действия заключения, по запросу администрации таможни, Управление Роспотребнадзора решает вопрос об оформлении заключения на новый срок.

В случае нарушения требований безопасности при выполнении работ с источниками ионизирующих излучений, Управление Роспотребнадзора может приостановить работу с источниками ионизирующего излучения и отозвать (аннулировать) санитарно-эпидемиологическое заключение.

4.3.5. Учет, хранение и инвентаризация, передача и списание источников ионизирующего излучения

Организация, получившая источники излучения, извещает об этом территориальное Управление Роспотребнадзора в 10-дневный срок.

Лицо, назначенное ответственным за учет и хранение ИИИ регистрирует получение, выдачу и возврат источников излучения в приходно-расходном журнале.

Выдача источников излучения осуществляется по «требованиям», подписанным руководителем организации или лицом им уполномоченным.

Источники излучения, не находящиеся в работе, должны храниться в специально оборудованных помещениях, обеспечивающих их сохранность и исключающих доступ к ним посторонних лиц.

Ежегодно комиссия, назначенная приказом руководителя организации, проводит инвентаризацию ИИИ. В случае обнаружения хищений и потерь источников излучения администрации следует немедленно информировать вышестоящую организацию и Управление Роспотребнадзора.

Передача из одной организации в другую источников производится с обязательной информацией Управления Роспотребнадзора по месту нахождения как передающей, так и принимающей источники излучения организации.

4.3.6. Лицензирование деятельности, связанной с применением источников ионизирующего излучения

Федеральным законом от 04.05.2011 № 99-ФЗ (ред. от 14.10.2014) «О лицензировании отдельных видов деятельности» предусмотрено получение лицензии на деятельность в области использования источников ионизирующего излучения (генерирующих) (за исключением случая, если эти источники используются в медицинской деятельности).

Лицензии на деятельность в области использования источников ионизирующего излучения (генерирующих), выдают Управления Роспотребнадзора в субъектах РФ.

Лицензирование источников, генерирующих рентгеновское излучение введено Постановлением Правительства Российской Федерации от 02.04. 2004 № 278 «О лицензировании деятельности в области использования источников ионизирующего излучения (генерирующих) (за исключением случая, если эти источники используются в медицинской деятельности) и утверждено Положение о лицензировании деятельности в области использования источников ионизирующего излучения» (далее – Положение).

Деятельностью в области использования источников ионизирующего излучения является: проектирование, конструирование, производство, размещение, эксплуатация, техническое обслуживание, хранение и утилизация источников ионизирующего излучения, а так же проектирование, конструирование, изготовление и эксплуатация средств радиационной защиты источников ионизирующего излучения.

Информационно-методическим письмом Руководителя Федеральной службы Роспотребнадзора «О порядке организации работы по лицензированию деятельности в области использования источников ионизирующего излучения (генерирующих)» от 21.09.2005 № 0100/7690-05-32 определена процедура лицензирования.

При этом к «проектированию» относятся работы по разработке проектной документации на установки, содержащие генерирующие источники ионизирующего излучения, или на средства радиационной защиты.

К «конструированию» относятся работы по практической отработке конструкций отдельных узлов установки или средств радиационной защиты, созданию опытного образца и доводку до серийного изделия.

К «размещению» относятся работы по разработке проекта размещения установок, содержащих источники ионизирующего излучения, а также работы по монтажу и введению установок в эксплуатацию.

К «хранению» относятся любые работы по постоянному или временному хранению установок, содержащих источники ионизирующего излучения, в том числе не предполагающие их использование. Под них подпадают любые виды работ, включающие временное хранение установок, содержащих генерирующие источники ионизирующего излучения, в том числе в процессе их реализации, ремонта и обслуживания.

К «утилизации» относятся работы по приведению в безопасное для людей и окружающей среды состояние не предназначенных для дальнейшей эксплуатации установок, содержащих источники ионизирующего излучения, с их последующей утилизацией на общепромышленных свалках или использованием в качестве вторичного сырья.

Управления Роспотребнадзора в субъектах РФ выдают лицензии на следующие виды деятельности:

– размещение, эксплуатация, техническое обслуживание, хранение аппаратов рентгеновских медицинских, включая стоматологические (диагностических и терапевтических; стационарных и переносных);

– размещение, эксплуатация, техническое обслуживание, хранение дефектоскопов рентгеновских (стационарных и переносных);

– размещение, эксплуатация, техническое обслуживание, хранение приборов для рентгеноструктурного и рентгеноспектрального анализа;

– размещение, эксплуатация, техническое обслуживание, хранение приборов рентгеновских технического и технологического контроля (толщиномеров, плотномеров, уровнемеров и других; приборов для досмотра багажа и товаров);

– размещение, эксплуатация, техническое обслуживание, хранение генераторов нейтронных;

– утилизация источников ионизирующего излучения (генерирующих);

– эксплуатация средств радиационной защиты источников ионизирующего излучения (генерирующих).

На федеральном уровне остается выдача лицензий на проектирование, конструирование, изготовление источников ионизирующего излучения и средств радиационной защиты, эксплуатацию средств досмотра людей, ускорителей заряженных частиц.

Экспертизу документов от соискателей лицензий, лицензирующихся на федеральном уровне, осуществляет ФГУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева» Роспотребнадзора.

В соответствии с Положением о лицензировании деятельности в области использования источников ионизирующего излучения право на получение лицензии имеют только юридические лица.

Для получения лицензии юридическое лицо представляет следующие документы:

а) заявление о предоставлении лицензии с указанием наименования, организационно-правовой формы и места нахождения юридического лица (включая место нахождения территориально обособленных подразделений и объектов, используемых для осуществления лицензируемой деятельности), лицензируемой деятельности, которую соискатель лицензии намерен осуществлять;

б) копии учредительных документов, документа, подтверждающего факт внесения записи о юридическом лице в Единый государственный реестр юридических лиц, свидетельства о постановке соискателя лицензии на учет в налоговом органе с указанием идентификационного номера налогоплательщика;

в) перечень радиационных источников, с приложением копий правоустанавливающих документов на них, санитарно-эпидемиологических заключений на радиационные источники и на соответствие условий работы с ними требованиям санитарных норм и правил.

При наличии у соискателя лицензии аппаратуры или установок выпуска до 2001 года необходимо представить экспертное заключение о соответствии их требованиям действующих санитарных норм и правил, на основании которого Управление Роспотребнадзора оформляет санитарно-эпидемиологическое заключение;

г) копия лицензии на медицинскую деятельность (для соискателей лицензии, использующих радиационные источники медицинского и лечебно-диагностического назначения);

д) копии документов, подтверждающих соответствие работников лицензионным требованиям и условиям;

е) документ, подтверждающий уплату лицензионного сбора за рассмотрение заявления о предоставлении лицензии;

Лицензионный сбор взимается в следующем размере:

– за рассмотрение заявления о предоставлении лицензии – 300 рублей;

– за выдачу лицензии – 1000 рублей.

Лицензионными требованиями и условиями при осуществлении деятельности в области использования источников ионизирующих излучений являются:

а) соблюдение лицензиатом требований законодательства Российской Федерации, санитарно-эпидемиологических требований и требований в области радиационной безопасности и безопасного использования атомной энергии;

б) наличие у лицензиата (за исключением организаций, осуществляющих техническое обслуживание непосредственно в месте размещения и эксплуатации радиационных источников) зданий, сооружений и помещений, принадлежащих ему на праве собственности или на ином законном основании и отвечающих санитарно-эпидемиологическим требованиям и требованиям в области радиационной безопасности и безопасного использования атомной энергии;

в) соответствие проектных, конструкторских и технологических решений, оборудования, условий эксплуатации, хранения и утилизации радиационных ис-

точников санитарно-эпидемиологическим требованиям и требованиям в области радиационной безопасности и безопасного использования атомной энергии;

г) соответствие систем учета, производственного контроля, а также физической и радиационной защиты радиационных источников, учета и контроля индивидуальных доз облучения персонала и населения санитарно-эпидемиологическим требованиям и требованиям в области радиационной безопасности и безопасного использования атомной энергии;

д) наличие работников, имеющих надлежащую квалификацию, разрешения (лицензии) на право ведения работ в области использования радиационных источников и соответствующих санитарно-эпидемиологическим требованиям и требованиям в области радиационной безопасности и безопасного использования атомной энергии;

е) проведение подготовки и аттестации по вопросам обеспечения радиационной безопасности руководителей и исполнителей работ, специалистов служб радиационной безопасности, других лиц, постоянно или временно выполняющих работы с радиационными источниками;

ж) наличие планов мероприятий по защите работников лицензиата и населения в случае возникновения радиационной аварии;

з) наличие заключения государственной экологической экспертизы по проекту размещения радиационного источника (в случае если энергия частиц радиационного источника превышает 10 МэВ для ускорителей электронов и 100 МэВ для ускорителей заряженных частиц).

В случае отказа в предоставлении лицензии плата за рассмотрение заявления о предоставлении лицензии соискателю лицензии не возвращается. Копии документов, не заверенные нотариусом, представляются с предъявлением оригинала. Документы, представленные для получения лицензии, принимаются по описи, составляемой соискателем лицензии, копия которой с указанием даты их приема направляется (вручается) соискателю лицензии.

В соответствии с Положением о лицензировании деятельности в области использования источников ионизирующего излучения в процессе рассмотрения документов, представленных для получения лицензии, лицензирующий орган вправе:

а) проводить предварительную проверку достоверности и полноты сведений, представленных соискателем лицензии, инспекции на объектах соискателя лицензии;

б) проводить необходимые экспертизы, обследования, испытания и иные исследования в порядке, установленном законодательством Российской Федерации;

в) требовать от соискателя лицензии устранения выявленных недостатков.

В связи с этим Управление Роспотребнадзора вправе провести проверку соблюдения соискателем лицензии лицензионных требований и условий.

Срок рассмотрения документации на получение лицензии не более 60 дней.

Основанием для отказа в предоставлении лицензии является:

– несоответствие соискателя лицензии, заявленной им деятельности лицензионным требованиям и условиям;

– наличие в документах, представленных соискателем лицензии, недостоверной или искаженной информации.

Лицензия предоставляется на 5 лет. Срок действия лицензии может быть продлен по заявлению лицензиата в порядке, предусмотренном для переоформления лицензии, если за истекший период не произошло каких-либо изменений лицензионных требований и условий.

Лицензиат обязан информировать Управление Роспотребнадзора о появлении новых данных или об изменении ранее представленных сведений, имеющих отношение к безопасности лицензируемой деятельности.

Лицензиат обязан не позднее чем через 15 дней со дня преобразования юридического лица, изменения его наименования или места его нахождения, а также в иных предусмотренных федеральными законами случаях подать заявление о переоформлении лицензии с приложением документов, подтверждающих указанные изменения.

За переоформление лицензии взимается плата в размере 100 рублей.

В случае нарушения (невыполнения) лицензиатом лицензионных требований и условий территориальное управление вправе:

– приостановить действие лицензии до устранения лицензиатом выявленных нарушений в установленный срок;

– обратиться в суд с заявлением об аннулировании лицензии.

Лицензиат обязан уведомить в письменной форме Управление Роспотребнадзора об устранении им нарушений, повлекших за собой приостановление действия лицензии.

3.5. Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при обращении с лучевыми досмотровыми установками

Санитарные правила и нормативы регламентируют требования по обеспечению радиационной безопасности при обращении с лучевыми досмотровыми установками (ЛДУ).

Действие правил распространяется на проектирование, изготовление, постав-ку, эксплуатацию, ремонт, обслуживание, хранение, транспортирование и контроль всех типов рентгеновских установок для досмотра багажа и товаров (далее – РУДБТ), содержащих источники рентгеновского излучения при номинальном анодном напряжении до 300 кВ, а также всех типов инспекционно-досмотровых ускорительных комплексов (далее – ИДУК), содержащих ускорители электронов с энергией до 10 МэВ.

ЛДУ содержат техногенный источник ионизирующего излучения, представляющий потенциальную радиационную опасность для здоровья персонала и населения.

В качестве источников ионизирующего излучения в ЛДУ используются рентгеновские трубки или ускорители электронов, относящиеся к генерирующим источникам ионизирующего излучения, т.е. не содержащим радиоактивных веществ источникам, в которых ионизирующее излучение генерируется за счет изменения скорости заряженных частиц. Они становятся источниками ионизирующего излучения только после подачи на них питающих напряжений. В обесточенном состоянии ЛДУ не представляют радиационной опасности и их перевозка и хранение могут производиться без каких-либо специальных требований по обеспечению радиационной безопасности.

По используемому источнику ионизирующего излучения ЛДУ делятся на две группы:

– РУДБТ, имеющие в своем составе одну или несколько рентгеновских трубок, работающих при анодном напряжении до 300 кВ,

– ИДУК, имеющие в своем составе один или несколько ускорителей электронов с энергией до 10 МэВ.

По характеру использования ЛДУ делятся на стационарные, переносные и мобильные.

Стационарные ЛДУ используются в стационарных условиях и не предназначены для перемещения. Они имеют стационарную радиационную защиту, обеспечивающую радиационную безопасность персонала и населения при работе ЛДУ.

Переносные ЛДУ выполняются в носимом исполнении и могут перемещаться силами одного или двух человек. Они не имеют стационарной радиационной защиты и радиационная безопасность персонала и населения при работе переносной ЛДУ обеспечивается удалением людей на безопасное расстояние от рентгеновского излучателя.

Мобильные ЛДУ монтируются на транспортных средствах и могут перемещаться вместе с ними. Они оснащаются защитными экранами и коллиматорами, обеспечивающими необходимую защиту людей или уменьшение размеров радиационно-опасной зоны. Радиационная защита персонала при работе мобильной ЛДУ может обеспечиваться удалением его за пределы радиационно-опасной зоны либо использованием специальной радиационной защиты рабочего места оператора. Радиационная защита населения обеспечивается наличием зоны ограничения доступа и отсутствием населения в этой зоне при работе установки.

По конструктивным особенностям, режиму эксплуатации и степени радиационной опасности РУДБТ подразделяются на 3 типа.

К РУДБТ 1-го типа относятся стационарные и мобильные досмотровые установки с закрытой досмотровой камерой и движущимся объектом контроля, который сканируется одним или несколькими пучками рентгеновского излучения. Досмотровая камера должна быть окружена радиационной защитой, обеспечивающей безопасные условия работы и исключающей возможность облучения людей прямым пучком излучения.

К РУДБТ 2-го типа относятся стационарные и мобильные досмотровые установки с закрытой досмотровой камерой, в которую помещается объект контроля.

Он просвечивается пучком рентгеновского излучения. Досмотровая камера должна быть окружена радиационной защитой, обеспечивающей безопасные условия работы и исключающей возможность облучения людей прямым пучком излучения.

К РУДБТ 3-го типа относятся переносные установки, источник рентгеновского излучения в которых не имеет стационарной радиационной защиты. Ограничение облучения персонала достигается удалением персонала за пределы радиационно-опасной зоны или использованием специальных переносных защитных конструкций.

По конструктивным особенностям и технологии контроля ИДУК разделяются на 2 типа.

К ИДУК первого типа относятся стационарные и мобильные ИДУК с неподвижным источником ионизирующего излучения и движущимся объектом контроля. ИДУК формирует плоский пучок тормозного излучения, которым сканируется объект контроля, принудительно перемещаемый в направлении, перпендикулярном плоскости пучка излучения.

К ИДУК второго типа относятся стационарные и мобильные ИДУК с неподвижным объектом контроля и движущимся источником ионизирующего излучения. ИДУК формирует плоский пучок тормозного излучения, которым сканируется неподвижный объект контроля, при перемещении ИДУК параллельно продольной оси контролируемого объекта.

К использованию в Российской Федерации допускаются только те ЛДУ, в том числе и импортного производства, на которые имеется санитарно-эпидемиологическое заключение на ЛДУ как на продукцию, представляющую потенциальную опасность для человека.

Получение, хранение ЛДУ и проведение работ с ними возможно только при наличии лицензии на осуществление деятельности, связанной с генерирующими источниками ионизирующего излучения, и санитарно-эпидемиологического заключения о соответствии условий работы с ЛДУ требованиям санитарных правил.

Требования к организации по обеспечению радиационной безопасности

Эксплуатирующая ЛДУ организация обеспечивает радиационную безопасность на всех этапах обращения с ЛДУ, а также за их сохранность.

До начала эксплуатации ЛДУ администрация обеспечивает:

– получение лицензии на деятельность в области использования генерирующих источников ионизирующего излучения и санитарно-эпидемиологического заключения о соответствии условий работы с ЛДУ требованиям санитарных правил;

– утверждение списка лиц, допущенных к работе с ЛДУ, прохождение ими необходимого обучения и инструктажа и отнесение приказом по организации к персоналу группы А и, при необходимости, группы Б;

– назначение лиц, ответственных за производственный контроль за радиационной безопасностью и за учет и хранение источников ионизирующего излучения;

– разработку и утверждение инструкции по радиационной безопасности при работе с ЛДУ и инструкции по действиям персонала в аварийных ситуациях.

При проведении работ с ЛДУ администрация обеспечивает:

– создание условий работы с ЛДУ, соответствующих требованиям настоящих правил, правил по охране труда, по технике безопасности, других санитарных норм и правил, действие которых распространяется на данную организацию, а также действующих в организации инструкций по радиационной безопасности;

– обучение персонала, проведение инструктажа и проверку знаний по технике безопасности, своевременное прохождение персоналом медицинских осмотров, а также обеспечение безопасных условий труда и соблюдение персоналом всех инструкций и правил, знание которых необходимо при выполнении работ с ЛДУ;

– проведение производственного контроля радиационной обстановки на рабочих местах персонала и вблизи ЛДУ, а также индивидуального дозиметрического контроля персонала группы А;

– ежегодное заполнение и своевременное представление радиационно-гигиенического паспорта организации и форм федерального государственного статистического наблюдения Единой государственной системы контроля и учета доз облучения населения (далее – ЕСКИД).

При прекращении работ с ЛДУ администрация учреждения обеспечивает его передачу в другую организацию с соблюдением требований ОСПОРБ-99, безопасное хранение или утилизацию в установленном порядке, а также информирование органа государственной власти (или его территориального подразделения), уполномоченного осуществлять государственный санитарно-эпидемиологический надзор в данной организации, о выводе ЛДУ из эксплуатации или передаче ее в другую организацию.

Требования к персоналу, работающему с ЛДУ

К работе с ЛДУ допускаются лица (в том числе и временно привлекаемые) не моложе 18 лет, отнесенные к персоналу группы А приказом по организации, прошедшие медицинский осмотр и не имеющие медицинских противопоказаний к работе с источниками ионизирующего излучения, прошедшие специальное обучение и имеющие соответствующую квалификацию. До начала работ они должны пройти инструктаж и проверку знаний правил безопасности при работе с генерирующими источниками ионизирующего излучения, а также ознакомиться с настоящими правилами, действующими в учреждении инструкциями и технической документацией на ЛДУ. Проверка знаний правил безопасности работы в организации проводится комиссией до начала работ и периодически, не реже одного раза в год.

Беременные женщины должны освобождаться от работы с ЛДУ на период беременности и на период грудного вскармливания.

К работам по монтажу и ремонту ЛДУ допускаются лица, прошедшие специальное обучение по данному виду работ.

Требования к проектированию, изготовлению и поставке ЛДУ

Проектирование, конструирование и изготовление ЛДУ могут проводить организации, получившие в установленном порядке соответствующую лицензию на осуществление указанных видов деятельности в области использования генерирующих источников ионизирующего излучения.

Техническая документация на выпуск или модернизацию ЛДУ должна соответствовать требованиям НРБ-99, ОСПОРБ-99 и настоящих санитарных правил. Технические условия на ЛДУ должны иметь санитарно-эпидемиологическое заключение.

Техническая документация на ЛДУ должна включать:

– основные технические характеристики ЛДУ,

– уровни излучения в местах возможного пребывания людей,

– ссылки на нормативные документы, регламентирующие обращение с ЛДУ,

– гигиенические нормативы, которые регламентируют требования к ЛДУ и обращению с ними,

– значения нормируемых характеристик ЛДУ,

– требования по обеспечению безопасности персонала и населения при обращении с ЛДУ в процессе хранения, транспортировки, реализации, эксплуатации и вывода из эксплуатации.

Расчет радиационной защиты ЛДУ и радиационный контроль следует проводить для условий работы, соответствующих максимальным уровням излучения в контролируемых точках. При расчете радиационной защиты должен использоваться коэффициент запаса, равный 2.

Техническая документация на РУДБТ 3 группы должна содержать информацию о размерах радиационно-опасной зоны, зоны А и зоны Б. В проектной документации должно быть приведено обоснование конфигурации и размеров этих зон.

Техническая документация на ЛДУ может содержать типовой проект размещения установки данного типа, на который оформлено санитарно-эпидемиологическое заключение Федерального органа исполнительной власти, уполномоченного осуществлять государственный санитарно-эпидемиологический надзор на территории Российской Федерации.

Техническая документация на мобильный ИДУК должна включать схему (схемы) размещения комплекса, в которой определено положение комплекса при работе и указана граница зоны ограничения доступа.

Поставка ЛДУ организациям и передача их в другие организации производится по заказ-заявкам в соответствии с п. п. 3.5.1 - 3.5.5 ОСПОРБ-99.

На внешней поверхности РУДБТ, а также на внешней поверхности радиационной защиты ускорителя ИДУК должны быть нанесены знаки радиационной опасности.

Требования к конструкции ЛДУ

Конструкция ЛДУ должна обеспечивать защиту персонала и населения от воздействия ионизирующего излучения при работе установки. Включение установки должно сопровождаться звуковой или/и световой сигнализацией о ее состоянии (включена, генерируется излучение, выключена). Устройство пульта управления ЛДУ должно гарантировать невозможность ее несанкционированного включения посторонними лицами.

Конструкция РУДБТ должна обеспечивать выполнение следующих требований:

– для РУДБТ 2-го типа должны быть предусмотрены блокировки, исключающие возможность подачи анодного напряжения на рентгеновскую трубку при открытой досмотровой камере. Для РУДБТ 1-го и 2-го типов должны быть предусмотрены блокировки, исключающие возможность подачи анодного напряжения при снятых или неправильно установленных съемных защитных блоках (при их наличии). Конструкция блокировок должна исключать возможность их отключения без нарушения пломб изготовителя.

При неисправности блокировок возможность включения установки должна быть исключена. Информация о неисправности систем блокировки и сигнализации должна поступать на пульт управления.

– вРУДБТ 1-го и 2-го типов защита от рентгеновского излучения должна конструктивно входить в состав установки и при всех возможных условиях ее эксплуатации обеспечивать ослабление мощности дозы рентгеновского излучения в любой доступной точке в 10 см от внешней поверхности установки до уровня не более 2,5 мкЗв/час.

– вход и выход из досмотровой камеры РУБДТ 1-го типа при генерации рентгеновского излучения должны перекрываться эластичными защитными шторками или дверцами, ослабляющими рассеянное излучение до допустимой величины. Генерация рентгеновского излучения должна производиться только в период прохождения контролируемым объектом зоны контроля. При остановке движения транспортера, перемещающего объект контроля, генерация излучения должна прекращаться.

– в РУДБТ 2-го типа подача объекта контроля в досмотровую камеру и его извлечение должны производиться через специальную защитную дверцу. Она должна иметь блокировку, исключающую возможность генерации рентгеновского излучения при не полностью закрытой дверце.

– в РУДБТ 3-го типа должна иметь пульт дистанционного управления, обеспечивающий возможность включения и выключение рентгеновского излучателя оператором, находящимся вне радиационно-опасной зоны.

Конструкция ИДУК должна обеспечивать выполнение следующих требований:

– мобильные ИДУК должны иметь специальные кабины для водителя и оператора, обеспечивающие радиационную безопасность находящегося в них персонала при работе ИДУК.

– ускоритель электронов стационарного ИДУК должен размещаться в отдельном помещении (досмотровом зале), обеспечивающем при любых допустимых режимах эксплуатации ИДУК ослабление уровней ионизирующего излучения в смежных помещениях и на территории до допустимых значений.

Пульт управления стационарным ИДУК должен размещаться в отдельном от досмотрового зала помещении, обеспечивающем радиационную безопасность персонала при работе ИДУК. Входная дверь в досмотровый зал должна блокироваться с системой включения ускорителя так, чтобы исключить возможность случайного облучения персонала.

Помещения (кабины), в которых размещены рабочие места персонала, должны быть оснащены системами непрерывного контроля радиационной обстановки при работе ИДУК.

ИДУК должны оснащаться системой видеонаблюдения за зоной ограничения доступа для мобильных ИДУК и залом досмотра для стационарных ИДУК.

ИДУК должен иметь световую и звуковую сигнализацию о работе ускорителя.

В ИДУК должны быть предусмотрены блокировки, исключающие возможность включения ускорителя или прекращающие генерацию излучения:

– при остановке процесса сканирования контролируемого объекта;

– при незакрытых дверях или защитных воротах в зал досмотра (для стационарных ИДУК);

– при превышении контрольных уровней излучения на рабочих местах персонала;

– при пересечении каким-либо объектом границы зоны ограничения доступа (для мобильных ИДУК).

ИДУК должны иметь световую сигнализацию (светофор), разрешающую или запрещающую въезд контролируемого объекта в зону контроля.

В зоне контроля ИДУК должны быть предусмотрены средства (кнопки, растяжки и др.) для выключения генерации излучения в аварийных ситуациях.

Мобильные ИДУК 1-го типа, в которых перемещение контролируемого транспортного средства при проведении контроля осуществляется его водителем, должны быть оснащены техническими средствами, исключающими возможность генерации излучения при нахождении кабины автомобиля в зоне контроля и обеспечивающими сканирование пучком излучения только грузового отсека автомобиля. Доза облучения водителя за счет проведения контроля управляемого им автомобиля не должна превышать 1,0 мкЗв.

Требования к размещению ЛДУ

Все стационарные ЛДУ размещаются в соответствии с проектом, разработанным проектной организацией, имеющей действующую лицензию на проведение соответствующего вида работ, при наличии санитарно-эпидемиологического заключения о соответствии проекта размещения ЛДУ требованиям санитарных правил.

Для мобильных и переносных ЛДУ проект размещения не требуется. Если схема размещения мобильного ИДУК не соответствует схеме размещения, предусмотренной его технической документацией, на нее необходимо получить санитарно-эпидемиологическое заключение органа государственной власти (или его территориального подразделения), уполномоченного осуществлять государственный санитарно-эпидемиологический надзор в данной организации. При этом должно быть обосновано соблюдение условий радиационной безопасности при предлагаемой схеме размещения мобильного ИДУК.

Стационарные РУДБТ 1-го и 2-го типа могут размещаться в производственных помещениях. Пол в местах размещения РУДБТ должен быть покрыт электроизолирующим материалом (дерево, линолеум и т.д.). Рабочие места персонала РУДБТ 1-го и 2-го типа размещаются в том же помещении, что и РУДБТ. Специального помещения для размещения персонала в этом случае не требуется.

При наличии в организации РУДБТ 3-го типа должно быть предусмотрено специальное помещение для хранения этих установок и запасных частей к ним, обеспечивающее сохранность РУДБТ и исключающее возможность их несанкционированного использования.

Персонал, проводящий работы с использованием РУДБТ 3-го типа, при работе установки должен находиться за пределами радиационно-опасной зоны или в специально оборудованных местах, обеспечивающих радиационную безопасность персонала при работе установки.

При проведении работ с РУДБТ 3-го типа в специальных производственных помещениях должен быть исключен доступ посторонних лиц в эти помещения при работе установки. При этом в смежных по вертикали и горизонтали помещениях (на территории) максимальная доза рентгеновского излучения за час работы установки не должна превышать:

– 12 мкЗв для помещений постоянного пребывания персонала группы А,

– 24 мкЗв для помещений временного пребывания персонала группы А,

– 2,5 мкЗв для помещений постоянного пребывания персонала группы Б,

– 0,12 мкЗв в любых других помещениях и территории.

При проведении работ с использованием РУДБТ 3-го типа вне специальных помещений должны быть выполнены следующие требования:

– должна быть определена и маркирована (или ограждена) граница радиационно-опасной зоны так, чтобы она была ясно видимой с расстояния не менее 3 м;

– должно быть исключено нахождение людей в радиационно-опасной зоне при работе установки;

– должна быть определена граница зоны А и обеспечено отсутствие внутри этой зоны персонала группы Б и лиц из населения при работе установки;

– должна быть определена граница зоны Б и обеспечено отсутствие внутри этой зоны лиц из населения при работе установки;

– работы должны выполняться бригадой не менее чем из двух человек, один из которых должен постоянно находиться у пульта управления, а второй наблюдать за отсутствием людей в вышеперечисленных зонах.

Хранение мобильных ИДУК должно осуществляться в специальных боксах, обеспечивающих их сохранность и исключающих возможность несанкционированного использования ИДУК.

При досмотре транспортных средств с использованием мобильных ИДУК они размещаются на специальной площадке, и вокруг них создается зона ограничения доступа. Внешний периметр этой зоны обеспечивается техническими средствами ограничения доступа людей при работе ИДУК (ограждение) или средствами прекращения генерации излучения при входе людей в эту зону.

Стационарный ИДУК должен размещаться в досмотровом зале, обеспечивающем радиационную защиту персонала и населения.

Досмотровый зал должен иметь защитные ворота для въезда и выезда объектов контроля, оборудованные световой сигнализацией о разрешении на въезд объекта контроля, и блокировками, исключающими возможность включения генерации тормозного излучения при незакрытых воротах. Для входа персонала в досмотровый зал должна быть предусмотрена дверь, обеспечивающая радиационную безопасность в смежных помещениях при работе ИДУК. Она должна иметь блокировки, обеспечивающие:

– невозможность включения генерации излучения при открытой двери;

– невозможность открытия двери для входа в досмотровый зал при генерации излучения (при этом дверь должна беспрепятственно открываться для выхода из досмотрового зала с прекращением генерации излучения).

Внутри досмотрового зала должны быть предусмотрены средства для выключения генерации тормозного излучения в случае случайного попадания туда людей, а также система видеонаблюдения за досмотровым залом при проведении досмотра.

Персонал стационарного ИДУК должен размещаться в специальных помещениях, обеспечивающих радиационную безопасность персонала.

Границы зоны ограничения доступа для мобильных ИДУК 1-го типа должны устанавливаться так, чтобы при любом допустимом режиме работы комплекса мощность дозы тормозного излучения ускорителя на внешней границе зоны ограничения доступа не превышала 1,0 мкЗв/ч.

Конструкция досмотрового зала для стационарных ИДУК 1-го типа должна обеспечивать значение мощности дозы тормозного излучения ускорителя в 10 см от внешней поверхности стен и защитных ворот досмотрового зала не более 1,0 мкЗв/ч.

Границы зоны ограничения доступа для мобильных ИДУК 2-го типа должны устанавливаться так, чтобы при любом допустимом режиме работы комплекса максимальная доза тормозного излучения за час работы ИДУК в любой точке на границе зоны ограничения доступа не превышала 1,0 мкЗв.

Конструкция досмотрового зала для стационарных ИДУК 2-го типа должна обеспечивать значения максимальной дозы тормозного излучения за час работы ИДУК в любой точке в 10 см от внешней поверхности стен и защитных ворот досмотрового зала не более 1 мкЗв.

На дверях каждого помещения (кабины), в котором запрещается присутствие при работе установки людей или лиц, не отнесенных к персоналу группы А, должно быть указано назначение помещения и нанесен знак радиационной опасности.

Требования безопасности при работе с ЛДУ

Работа со стационарными ЛДУ разрешается только в помещениях, указанных в санитарно-эпидемиологическом заключении.

Безопасность эксплуатации ЛДУ обеспечивается:

– выполнением установленных требований безопасности при работе на установках;

– наличием блокировок и сигнализации, предупреждающей об опасности облучения;

– проведением радиационного контроля.

Выдача мобильных и переносных ЛДУ из мест хранения для проведения работ производится ответственным лицом по письменному разрешению руководителя организации или уполномоченного им лица.

При планировании проведения работ с переносными или мобильными ЛДУ вне организации, на которую распространяется действие санитарно-эпидемиологического заключения на вид деятельности, следует предварительно поставить в известность (в письменной форме) орган государственной власти (или его территориальное подразделение), уполномоченный осуществлять государственный санитарно-эпидемиологический надзор в месте планируемого проведения работ. Оформление нового санитарно-эпидемиологического заключения по месту планируемого проведения работ не требуется.

С периодичностью, определяемой технической документацией на ЛДУ, должен проводиться внешний осмотр установки, должны проверяться электроизмерительные приборы, состояние заземления, изоляции, работоспособность систем блокировки и сигнализации.

Обо всех нарушениях в работе ЛДУ, о неисправности защитных и блокирующих устройств обслуживающий персонал обязан делать отметку в журнале и немедленно докладывать ответственным лицам.

Для снижения доз облучения персонала и населения при проведении работ с использованием РУДБТ 3-го типа вне специальных помещений рекомендуется:

– устанавливать за досматриваемым объектом защитный экран, перекрывающий пучок излучения;

– пучок излучения направлять в сторону от рабочих мест и мест возможного нахождения людей, выбирая направление, где наименее вероятно появление людей или имеется хорошая защита, например кирпичная стена.

Радиационный контроль

Радиационный контроль в организациях, проводящих работы с ЛДУ, должен обеспечивать получение необходимой информации о радиационной обстановке в помещениях, где расположены данные установки, смежных с ними помещениях,

на рабочих местах персонала, в местах возможного нахождения людей, а также о дозах облучения персонала.

Радиационный контроль в организации осуществляется в соответствии с утвержденным порядком проведения производственного контроля за радиационной безопасностью.

В организации, в зависимости от объема и характера работ с ЛДУ, производственный контроль за радиационной безопасностью осуществляется специальной службой или лицом, ответственным за радиационную безопасность, прошедшим специальную подготовку.

Контроль индивидуальных доз внешнего облучения персонала группы А, работающего с ЛДУ, должен проводиться с использованием индивидуальных дозиметров постоянно с ежеквартальной регистрацией результатов в карточках учета индивидуальных доз внешнего облучения, копии которых должны храниться в учреждении в течение 50 лет после увольнения работника. В случае перевода работника в другое учреждение его карточка учета индивидуальных доз должна передаваться на новое место работы.

В помещениях, в которых размещаются постоянно или временно эксплуатируемые РУДБТ, проводится периодический радиационный контроль, который должен включать:

– контроль мощности дозы рентгеновского излучения на наружной поверхности установки (при вводе в эксплуатацию и каждый раз после проведения ремонтных работ, но не реже 1 раза в год);

– контроль мощности дозы рентгеновского излучения на рабочих местах персонала (при вводе в эксплуатацию и каждый раз после проведения ремонтных работ, но не реже 1 раза в год);

– контроль индивидуальных доз облучения персонала группы А (постоянно).

Для образцов РУДБТ, допускающих регулирование параметров генерации пучка рентгеновского излучения (анодное напряжение рентгеновской трубки, анодный ток), радиационный контроль должен проводиться при максимальных рабочих значениях параметров.

При проведении радиационного контроля в РУДБТ должен устанавливаться имитатор досматриваемого объекта, в качестве которого рекомендуется использовать наполненную водой полиэтиленовую канистру объемом 10 - 20 л. Для измерения мощности дозы рентгеновского излучения при контроле радиационной обстановки на рабочих местах операторов РУДБТ следует использовать дозиметры рентгеновского излучения, имеющие действующее свидетельство о метрологической поверке и позволяющие измерять мощность дозы рентгеновского излучения от 0,1 мкЗв/ч в энергетическом диапазоне от 20 до 300 кэВ.

Для проведения измерений индивидуальных доз внешнего облучения персонала, работающего с РУДБТ, следует использовать индивидуальные дозиметры, имеющие действующее свидетельство о метрологической поверке и позволяющие измерять дозу рентгеновского излучения от 0,1 мЗв в энергетическом диапазоне от 20 до 300 кэВ.

В досмотровом зале и в смежных помещениях стационарных ИДУК, а также на границе зоны ограничения доступа и на рабочих местах персонала мобильных ИДУК проводится периодический радиационный контроль. Он должен включать:

– контроль мощности дозы (дозы за сканирование для ИДУК 2-го типа) тормозного излучения в 10 см от наружных поверхностей стен и защитных ворот здания, в котором размещен стационарный ИДУК, или на границе зоны ограничения доступа для мобильных ИДУК (при вводе в эксплуатацию и каждый раз после проведения ремонтных работ, но не реже 1 раза в год);

– контроль мощности дозы тормозного излучения на рабочих местах персонала (при вводе в эксплуатацию и каждый раз после проведения ремонтных работ, но не реже 1 раза в год);

– контроль мощности дозы в зоне пучка излучения мобильного ИДУК (за линейкой детекторов) на границе зоны ограничения доступа (ежедневно перед началом работы);

– контроль индивидуальных доз облучения персонала группы А (постоянно).

Радиационный контроль на границе зоны ограничения доступа мобильных ИДУК должен проводиться без объекта контроля. Для стационарных и мобильных ИДУК 1-го типа в каждой точке измеряется мощность дозы, а для ИДУК 2-го типа - доза за 1 сканирование. В последнем случае для получения максимальной дозы за час работы установки полученная доза за одно сканирование умножается на максимально возможное для данной установки число сканирований в час.

Для проведения радиационного контроля на ИДУК должны использоваться рентгеновские или гамма-дозиметры, имеющие действующее свидетельство о метрологической поверке и удовлетворяющие следующим техническим требованиям:

– нижняя граница энергетического диапазона – не более 50 кэВ;

– верхняя граница энергетического диапазона – не менее 10 МэВ;

– возможность измерения импульсного фотонного излучения с длительностью импульса более 1,0 мкс;

– наличие режимов измерения мощности дозы и дозы;

– нижняя граница диапазона измерения мощности дозы импульсного фотонного излучения не более 0,2 мкЗв/ч;

– нижняя граница диапазона измерения дозы импульсного фотонного излучения не более 0,01 мкЗв.

Контроль индивидуальных доз внешнего облучения персонала группы А, работающего с ИДУК, должен осуществляться с использованием индивидуальных дозиметров, позволяющих измерять дозу импульсного фотонного излучения в энергетическом диапазоне от 50 кэВ до 10 МэВ, например, ТЛД дозиметров на основе фтористого лития.

Результаты проведенных измерений заносятся в журнал дозиметрического контроля и/или оформляются в виде протоколов измерений.

При проведении радиационного контроля на образцах РУДБТ с импульсной рентгеновской трубкой необходимо использовать приборы, предназначенные для измерения мощности дозы (дозы) импульсного рентгеновского излучения.

При организации радиационного контроля на РУДБТ рекомендуется использовать специальную методику.

3.6. Радиационно-гигиеническая паспортизация организаций и территорий

В соответствии с Федеральным законом от 09.01.1996 № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения» и в целях оценки вредного воздействия радиационного фактора на население, планирования и проведения мероприятий по обеспечению радиационной безопасности, анализа эффективности этих мероприятий, Правительство Российской Федерации Постановлением от 28.01.1997 (ред. от 10.07.2014) № 93 ввело с 1998 года ежегодную радиационно-гигиеническую паспортизацию организаций и территорий, и утвердило порядок разработки радиационно-гигиенических паспортов организаций и территорий.

Радиационно-гигиеническая паспортизация организаций и территорий является государственной системой оценки влияния основных источников ионизирующего излучения (техногенных и естественных) и направлена на обеспечение радиационной безопасности населения в зависимости от состояния среды обитания и условий жизнедеятельности, сопряженной с другими системами наблюдения за ионизирующим излучением.

Радиационно-гигиенические паспорта организаций и территорий должны включать:

– оценку радиационной безопасности населения (персонала);

– информацию о территориях и группах риска населения (персонала), подверженных повышенным уровням воздействия ионизирующего излучения;

– прогноз радиационной ситуации в организациях, использующих источники ионизирующего излучения, и на территориях;

– рекомендации, необходимые для планирования проведения мероприятий и принятия решений, связанных с обеспечением радиационной безопасности населения (персонала);

– анализ эффективности проводимых мероприятий, связанных с обеспечением радиационной безопасности населения (персонала);

– информацию, необходимую для приятия решения органами управления.

На территории субъектов Российской Федерации, начиная с 1998 года ежегодно проводится радиационно-гигиеническая паспортизация организаций и территорий. Организации должны предоставлять к 20 марта заполненный паспорт для получения заключения Управления Роспотребнадзора. Консультационно-методическую помощь по оформлению радиационно-гигиенических паспортов организаций и территорий проводит на договорной основе Федеральный радиологический центр при Санкт-Петербургском НИИ радиационной гигиены (ул. Мира, д.8, телефон 232-04-54).

Организации также обязаны ежегодно представлять к 1 апреля сведения о дозах облучения лиц из персонала в условиях нормальной эксплуатации техногенных ИИИ (учетная форма государственного статистического наблюдения 1-ДОЗ).

3.6. Ответственность за нарушение санитарного законодательства РФ

Должностные лица и граждане РФ, допустившие нарушение санитарного законодательства, могут быть привлечены к дисциплинарной, административной или уголовной ответственности.

Дисциплинарная ответственность

За совершение нарушения санитарного законодательства должностные лица и работники организаций подвергаются дисциплинарным взысканиям, предусмотренным законодательством РФ вплоть до отстранения от работы, освобождения от занимаемой должности и увольнения. Руководители организаций обязаны налагать дисциплинарные взыскания на должностных лиц и работников, совершивших санитарное правонарушение по представлению Главного государственного санитарного врача или его заместителя.

Административная ответственность

Административная ответственность применяется в соответствии с КоАП в виде штрафных санкций. Штраф налагается постановлением Главного государственного санитарного врача или его заместителя. Одновременно может выноситься постановление о приостановлении эксплуатации объекта.

Уголовная ответственность

В настоящее время в Уголовном Кодексе РФ применяются три статьи за нарушение санитарного законодательства, две из которых – при обращении с радиоактивными веществами:

Статья 220. Незаконное обращение с ядерными материалами или радиоактивными веществами

1. Незаконные приобретение, хранение, использование, передача или разрушение ядерных материалов или радиоактивных веществ – наказываются ограничением свободы на срок до двух лет, либо принудительными работами на срок до двух лет, либо арестом на срок до четырех месяцев, либо лишением свободы на срок до двух лет.

2. Те же деяния, повлекшие по неосторожности смерть человека или иные тяжкие последствия, – наказываются лишением свободы на срок до пяти лет.

3. Деяния, предусмотренные частью первой настоящей статьи, повлекшие по неосторожности смерть двух или более лиц, – наказываются лишением свободы на срок до семи лет.

Статья 221. Хищение либо вымогательство ядерных материалов или радиоактивных веществ

1. Хищение либо вымогательство ядерных материалов или радиоактивных веществ – наказываются штрафом в размере от ста тысяч до пятисот тысяч рублей или в размере заработной платы или иного дохода осужденного за период от одного года до трех лет, либо принудительными работами на срок до пяти лет, либо лишением свободы на тот же срок.

2. Те же деяния, совершенные:

а) группой лиц по предварительному сговору;

в) лицом с использованием своего служебного положения;

г) с применением насилия, не опасного для жизни или здоровья, либо с угрозой применения такого насилия, – наказываются лишением свободы на срок от четырех до семи лет с ограничением свободы на срок до одного года либо без такового.

3. Деяния, предусмотренные частями первой или второй настоящей статьи, если они совершены:

а) организованной группой;

б) с применением насилия, опасного для жизни или здоровья, либо с угрозой применения такого насилия, – наказываются лишением свободы на срок от пяти до десяти лет со штрафом в размере до одного миллиона рублей или в размере заработной платы или иного дохода осужденного за период до пяти лет либо без такового и с ограничением свободы на срок до одного года.

Статья 236. Нарушение санитарно-эпидемиологических правил

1. Нарушение санитарно-эпидемиологических правил, повлекшее по неосторожности массовое заболевание или отравление людей, – наказывается штрафом в размере до восьмидесяти тысяч рублей или в размере заработной платы или иного дохода осужденного за период до шести месяцев, либо лишением права занимать определенные должности или заниматься определенной деятельностью на срок до трех лет, либо обязательными работами на срок до трехсот шестидесяти часов, либо исправительными работами на срок до одного года, либо ограничением свободы на срок до одного года.

2. То же деяние, повлекшее по неосторожности смерть человека, – наказывается обязательными работами на срок до четырехсот восьмидесяти часов, либо исправительными работами на срок от шести месяцев до двух лет, либо принудительными работами на срок до пяти лет, либо лишением свободы на тот же срок.

3.7. Санитарные нормы и правила радиационной безопасности

Санитарные нормы и правила радиационной безопасности – нормативные правовые акты, устанавливающие санитарные требования по защите людей от радиационного воздействия.

Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)

Нормы применяются для обеспечения безопасности человека во всех условиях воздействия на него ионизирующего излучения искусственного или природного происхождения (далее – Нормы). Требования и нормативы являются обязательными для всех юридических лиц, для администрации субъектов РФ, местных органов власти, граждан РФ и иностранных граждан, проживающих на территории РФ. Нормы распространяются на следующие виды воздействия ионизирующих излучений:

- в результате радиационной аварии;
- от природных источников излучения;
- при медицинском облучении.

Нормы не распространяются на источники излучения, создающие при любых условиях обращения с ними:

- индивидуальную годовую эффективную дозу не более 10 мкЗв;
- индивидуальную годовую эквивалентную дозу в коже не более 50 мкЗв и в хрусталике не более 15 мкЗв;
- коллективную эффективную годовую дозу не более 1 чел.-Зв (либо когда при коллективной дозе 1 чел.-Зв оценка по принципу оптимизации показывает нецелесообразность снижения коллективной дозы).

Требования Норм не распространяются также на космическое излучение на поверхности Земли и внутреннее облучение человека, создаваемое природным калием, на которые практически невозможно влиять.

Главной целью радиационной безопасности (далее – РБ) является охрана здоровья населения (включая персонал) от вредного воздействия ионизирующего излучения путем соблюдения основных принципов и норм РБ без необоснованных ограничений полезной деятельности при использовании излучения в различных областях хозяйства, в науке и медицине. Основу системы РБ, сформулированной в Нормах, составляют современные международные научные рекомендации, опыт стран, достигших высокого уровня радиационной защиты населения, и отечественный опыт. Данные мировой науки показывают, что соблюдение международных норм безопасности, которые легли в основу Норм, надежно гарантирует безопасность работающих с источниками излучения и всего населения.

Ионизирующее излучение при воздействии на организм человека может вызвать 2 вида эффектов, которые клинической медициной относятся к болезням: детерминированные пороговые эффекты (лучевая болезнь, лучевой дерматит, лучевая катаракта, лучевое бесплодие, аномалии в развитии плода и др.) и стохастические (вероятные) беспороговые эффекты (злокачественные опухоли, лейкозы, наследственные болезни).

Для обоснования расходов на радиационную защиту при реализации принципа оптимизации принимается, что облучение в коллективной эффективной дозе 1 чел.-Зв приводит к потенциальному ущербу, равному потере 1 чел.-года жизни населения. Величина денежного эквивалента потери 1 чел.-года жизни населения устанавливается методическими указаниями федерального органа Роспотребнадзора в размере не менее 1 годового душевого национального дохода.

В Нормах регламентируются требования к ограничению техногенного облучения в нормальных условиях эксплуатации. Категории облучаемых лиц: персонал (группы А и Б); все население.

Для категорий облучаемых лиц устанавливаются 3 класса нормативов:

– основные пределы доз (ПД);

– допустимые уровни монофакторного воздействия (для одного радионуклида, пути поступления или одного вида внешнего облучения), являющиеся производными от основных пределов доз:

– пределы годового поступления (ПГП),

– среднегодовые допустимые объемные активности (ДОА),

– среднегодовые допустимые удельные активности (ДУА) и др.;

– контрольные уровни (дозы, уровни, активности, плотности потоков и др.); значения должны учитывать достигнутый в организации уровень РБ и обеспечивать условия, при которых радиационное воздействие будет ниже допустимого.

Пределы эффективной дозы (в год в среднем за любые последовательные 5 лет), мЗв:

Персонал (группа А) – 20 не более 50 в год

Население – 1 не более 5 в год

Основные ПД, как и все остальные допустимые уровни облучения персонала группы Б, равны 1/4 значений для персонала группы А.

К указанным ПД не относятся дозы от природного и медицинского облучения, а также дозы вследствие радиационных аварий. На эти виды облучения устанавливаются специальные ограничения. Эффективная доза для персонала за период трудовой деятельности (50 лет) не должна превышать 1000 мЗв, а для населения за период жизни (70 лет) – 70 мЗв. При одновременном воздействии на человека источников внешнего и внутреннего облучения годовая эффективная доза не должна превышать указанных ПД.

Годовое поступление радионуклидов через органы дыхания и среднегодовая объемная активность их во вдыхаемом воздухе не должны превышать числовых значений ПГП и ДОА, приведенных в приложениях П-1 и П-2 НРБ-99/2009, где ПД взяты равными 20 мЗв в год для персонала и 1 мЗв в год для населения. В условиях нестандартного поступления радионуклидов величины ПГП и ДОА устанавливаются методическими указаниями федерального органа Роспотребнадзора.

Для женщин в возрасте до 45 лет, работающих с источниками излучения, вводятся дополнительные ограничения: эквивалентная доза на поверхности нижней части области живота не должна превышать 1 мЗв в месяц, а поступление

радионуклидов в организм за год не должно быть более 1/20 предела годового поступления для персонала. В этих условиях эквивалентная доза облучения плода за 2 месяца невыявленной беременности не превысит 1 мЗв. Администрация организации (предприятия) обязана перевести беременную женщину на работу, не связанную с источниками ионизирующего излучения, с того дня, когда она сообщила о беременности, и на период беременности и грудного вскармливания ребенка.

Для студентов и учащихся старше 16 лет, проходящих профессиональное обучение с использованием источников излучения, годовые дозы не должны превышать значений, установленных для персонала группы Б.

Планируемое облучение персонала группы А выше установленных пределов доз при ликвидации или предотвращении аварии может быть разрешено только в случае необходимости спасения людей и (или) предотвращения их облучения. Планируемое повышенное облучение допускается для мужчин старше 30 лет лишь при их добровольном письменном согласии, после информирования о возможных дозах облучения и риске для здоровья. Планируемое повышенное облучение в эффективной дозе до 100 мЗв в год и эквивалентных дозах не более двукратных значений, приведенных выше, допускается с разрешения территориальных органов Роспотребнадзора, а облучение в эффективной дозе до 200 мЗв в год и четырехкратных значений эквивалентных доз – только с разрешения федерального органа Роспотребнадзора.

Повышенное облучение не допускается: для работников, ранее уже облученных в течение года в результате аварии или запланированного повышенного облучения с эффективной дозой 200 мЗв или с эквивалентной дозой, превышающей в 4 раза указанные ПД; для лиц, имеющих медицинские противопоказания для работы с источниками излучения.

Лица, подвергшиеся облучению в эффективной дозе, превышающей 100 мЗв в течение года, при дальнейшей работе не должны подвергаться облучению в дозе свыше 20 мЗв в год. Облучение эффективной дозой свыше 200 мЗв в течение года – потенциально опасное. Работников, получивших такую дозу, следует немедленно выводить из зоны облучения и направлять на медицинское обследование. Последующая работа с источниками излучения этим лицам может быть разрешена только в индивидуальном порядке с учетом их согласия по решению компетентной медицинской комиссии. Лица, не относящиеся к персоналу, но привлекаемые для проведения аварийных и спасательных работ, должны быть оформлены и допущены к работам как персонал группы А.

Ограничение природного облучения. Допустимое значение эффективной дозы, обусловленной суммарным воздействием природных источников излучения, для населения не устанавливается. При проектировании новых жилых и общественных зданий должно быть предусмотрено, чтобы среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) изотопов радона и тория в воздухе помещений не превышала 100 Бк/м^3, а мощность эффективной дозы гамма-

излучения не превышала мощность дозы на открытой местности более чем на 0,3 мкЗв/ч.

Эффективная удельная активность ($A_{эфф}$) природных радионуклидов в строительных материалах (щебень, гравий, песок, бутовый и пиленный камень, цементное и кирпичное сырье и пр.), добываемых на их месторождениях или являющихся побочным продуктом промышленности, а также отходы промышленного производства, используемые для изготовления строительных материалов (золы, шлаки и пр.), не должна превышать:

– для материалов, используемых в строящихся и реконструируемых жилых и общественных зданиях (I класс):

$$A_{эфф} = A_{Ra}, + 1{,}3\ A_{Th}, + 0{,}09\ A_{K} \leq 370 \text{ Бк/кг},$$

где A_{Ra} и A_{Th} – удельные активности ^{226}Ra и ^{232}Th, находящихся в равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов; АК – удельная активность 40К, Бк/кг;

– для материалов, используемых в дорожном строительстве в пределах территории населенных пунктов и зон перспективной застройки, а также при возведении производственных сооружений (II класс):

$$A_{эфф} \leq 740 \text{ Бк/кг};$$

– для материалов, используемых в дорожном строительстве вне населенных пунктов (III класс):

$$A_{эфф} \leq 1{,}5 \text{ кБк/кг}.$$

При 1,5 кБк/кг < $A_{эфф}$ < 4,0 кБк/кг (IV класс) вопрос об использовании материалов решается в каждом случае отдельно по согласованию с федеральным органом Роспотребнадзора. Если $A_{эфф}$ > 4,0 кБк/кг, то материалы не должны использоваться в строительстве. В случае, когда в питьевой воде содержатся природные и искусственные радионуклиды, создающие эффективную дозу меньше 0,1 мЗв в год, не требуется проведения мероприятий по снижению ее радиоактивности. Этому значению дозы при потреблении воды 2 кг в сутки соответствуют средние значения удельной активности за год (уровни вмешательства – УВ). При совместном присутствии в воде нескольких радионуклидов должно выполняться следующее условие:

$$\sum_i \frac{A_i}{УВ_i} \leq 1$$

где A_i — удельная активность i-го радионуклида в воде; $УВ_i$ – соответствующий уровень вмешательства.

Предварительная оценка допустимости использования воды для питьевых целей может быть дана по удельной суммарной альфа- и бета-активности, которая не должна превышать 0,1 и 1,0 Бк/кг соответственно.

Удельная активность природных радионуклидов в фосфорных удобрениях и мелиорантах не должна превышать 4,0 кБк/кг:

$$A_U + 1{,}5\ A_{Th},$$

где A_U и A_{Th} – удельные активности ^{238}U (^{226}Ra) и ^{232}Th (^{228}Th), находящихся в радиоактивном равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов соответственно.

Эффективная доза облучения природными источниками излучения всех работников, включая персонал, не должна превышать 5 мЗв в год в производственных условиях (любые профессии и производства). Средние значения радиационных факторов в течение года, соответствующие при монофакторном воздействии эффективной дозы 5 мЗв в год при продолжительности работы 2000 ч/год, средней скорости дыхания 1,2 м^3/ч и радиоактивном равновесии радионуклидов уранового и ториевого рядов в производственной пыли, составляют:

– мощность эффективной дозы гамма-излучения на рабочем месте – 2,5 мкЗв/ч;

– ЭРОА$_U$ в воздухе зоны дыхания – 310 Бк/м^3;

– ЭРОА$_{Th}$ в воздухе зоны дыхания – 68 Бк/м^3;

– удельная активность в производственной пыли урана-238, находящегося в радиоактивном равновесии с членами своего ряда, – 40/*f*, кБк/кг, где *f* – среднегодовая общая запыленность воздуха в зоне дыхания, мг/м^3;

– удельная активность в производственной пыли тория-232, находящегося в радиоактивном равновесии с членами своего ряда, – 27/*f*, кБк/кг.

При многофакторном воздействии должно выполняться условие: сумма отношений воздействующих факторов к значениям, приведенным выше, не должна превышать 1. На основании значений ПГП радионуклидов через органы пищеварения, соответствующих пределу дозы 1 мЗв в год и квот от этого предела, может быть рассчитана для конкретных условий допустимая удельная активность основных пищевых продуктов с учетом их распределения по компонентам рациона и в питьевой воде, а также с учетом поступления радионуклида через органы дыхания и внешнего облучения.

Проведение научных исследований на людях с источниками излучения должно осуществляться по решению федерального органа здравоохранения. При этом требуется обязательное письменное согласие испытуемого и предоставление ему информации о возможных последствиях облучения. Лица (не являющиеся работниками рентгенорадиологического отделения), оказывающие помощь в поддержке пациентов (тяжелобольных, детей) при выполнении рентгенорадиологических процедур, не должны подвергаться облучению в дозе, превышающей 5 мЗв в год. Мощность дозы гамма-излучения на расстоянии 1 м от пациента, которому с терапевтической целью введены радиофармацевтические препараты, не должна превышать при выходе из радиологического отделения 3 мкЗв/ч.

Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ–99)

Основные санитарные правила и нормативы обеспечения радиационной безопасности (далее – Правила) устанавливают требования по защите людей от

вредного радиационного воздействия при всех условиях облучения от источников ионизирующего излучения (далее – ИИИ), на которые распространяется действие СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)» (далее – НРБ-99/2009) (зарегистрированы Министерством юстиции Российской Федерации 14.09.2009, регистрационный № 14534) и являются обязательными для исполнения на территории Российской Федерации всеми юридическими и физическими лицами.

Правила распространяются на всех юридических и физических лиц, осуществляющих проектирование, добычу, производство, хранение, использование, транспортирование радиоактивных веществ и других источников ионизирующего излучения (далее – ИИИ); сбор, хранение, переработку, транспортирование и захоронение радиоактивных отходов; монтаж, ремонт и наладку приборов, установок и аппаратов, действие которых основано на использовании ионизирующего излучения, и устройств, генерирующих ионизирующее излучение; радиационный контроль техногенных ИИИ.

Правила являются обязательными при проектировании, строительстве, эксплуатации, реконструкции, перепрофилировании и выводе из эксплуатации радиационных объектов. Радиационная безопасность на радиационном объекте и вокруг него обеспечивается за счет:

– качества проекта радиационного объекта;

– обоснованного выбора района и площадки для размещения радиационного объекта;

– обеспечения сохранности источников ионизирующего излучения и исключения возможности их несанкционированного использования;

– зонирования территории вокруг наиболее опасных объектов и внутри них;

– условий эксплуатации технологических систем;

– санитарно-эпидемиологической оценки и лицензирования деятельности с источниками ионизирующего излучения;

– санитарно-эпидемиологической оценки изделий и технологий;

– наличия системы радиационного контроля;

– планирования и проведения мероприятий по обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при нормальной работе объекта, его реконструкции и выводе из эксплуатации;

– повышения радиационно-гигиенической грамотности персонала и населения.

Радиационная безопасность персонала обеспечивается:

– ограничениями допуска к работе с источниками ионизирующего излучения по возрасту, полу, состоянию здоровья, уровню предыдущего облучения и другим показателям;

– знанием и соблюдением правил работы с источниками ионизирующего излучения;

– защитными барьерами, экранами и расстоянием от источников ионизирующего излучения, а также ограничением времени работы с источниками ионизирующего излучения;

– созданием условий труда, отвечающих требованиям НРБ-99/2009 и настоящих Правил;

– применением индивидуальных средств защиты;

– соблюдением установленных контрольных уровней;

– организацией радиационного контроля;

– организацией системы информации о радиационной обстановке;

– проведением эффективных мероприятий по защите персонала при планировании повышенного облучения в случае аварии.

Радиационная безопасность персонала и населения от источников потенциального облучения обеспечивается применением технических мер по снижению вероятности событий, вследствие которых могут быть превышены граничные значения обобщенного риска, установленные НРБ-99/2009, а также мер по минимизации последствий радиационной аварии.

При разработке мероприятий по снижению доз облучения персонала и населения следует исходить из следующих основных положений:

– индивидуальные дозы должны снижаться, прежде всего там, где они превышают допустимый уровень облучения;

– мероприятия по коллективной защите людей должны осуществляться в отношении тех источников ионизирующего излучения, где в соответствии с принципом оптимизации достижимо наибольшее снижение коллективной дозы облучения при минимальных затратах;

– снижение доз от каждого источника ионизирующего излучения должно прежде всего достигаться за счет уменьшения облучения критических групп населения для этого источника ионизирующего излучения.

Радиационный контроль является частью производственного контроля и должен охватывать все основные виды воздействия ионизирующего излучения на человека. Целью радиационного контроля является получение информации об индивидуальных и коллективных дозах облучения персонала, пациентов и населения, а также показателях, характеризующих радиационную обстановку.

Объектами радиационного контроля являются:

– персонал групп А и Б при воздействии на них ионизирующего излучения в производственных условиях;

– пациенты при выполнении медицинских рентгенорадиологических процедур;

– население при воздействии на него природных и техногенных источников ионизирующего излучения;

– среда обитания человека.

Программа радиационного контроля в организации, где планируется обращение с источниками ионизирующего излучения, разрабатывается на стадии проектирования. В проекте радиационного объекта должны быть определены виды,

объем и порядок проведения контроля, перечень технических средств и штат работников, необходимых для его осуществления. Виды и объём радиационного контроля могут уточняться в зависимости от конкретной радиационной обстановки в данной организации и на прилегающей территории.

В зависимости от объема и характера работ радиационный контроль осуществляется службой радиационной безопасности или лицом, ответственным за радиационный контроль, прошедшим специальную подготовку. Администрация радиационного объекта разрабатывает и утверждает программу радиационного контроля с учетом особенностей и условий выполняемых работ.

Радиационный контроль организаций и территорий предусматривает проведение контроля и учета индивидуальных доз облучения работников (персонала) и населения. Контроль и учет доз облучения персонала и населения должен проводиться с учетом требований Единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения населения (далее – ЕСКИД). Результаты радиационного контроля используются для оценки радиационной обстановки, установления контрольных уровней, разработки мероприятий по снижению доз облучения и оценки их эффективности.

Администрация радиационного объекта несет ответственность за радиационную безопасность и должна обеспечивать:

– получение санитарно-эпидемиологического заключения на выпускаемую продукцию, содержащую источники ионизирующего излучения;

– разработку контрольных уровней воздействия радиационных факторов в организации и санитарно-защитной зоне, а также инструкций по радиационной безопасности и инструкций по действиям персонала при радиационных авариях;

– установление перечня лиц, относящихся к персоналу групп А и Б;

– создание условий работы с источниками ионизирующего излучения, соответствующих настоящим Правилам;

– планирование и осуществление мероприятий по обеспечению и совершенствованию радиационной безопасности в организации;

– систематический контроль радиационной обстановки на рабочих местах, в помещениях, на территории организации, в санитарно-защитной зоне и в зоне наблюдения, а также за выбросом и сбросом радиоактивных веществ;

– контроль и учет индивидуальных доз облучения персонала;

– информирование персонала об уровнях излучения на рабочих местах и об индивидуальных дозах облучения;

– подготовку и аттестацию по вопросам обеспечения радиационной безопасности руководителей и исполнителей работ, специалистов служб радиационной безопасности, других лиц, постоянно или временно выполняющих работы с источниками ионизирующего излучения;

– проведение инструктажа и проверку знаний персонала в области радиационной безопасности;

– проведение предварительных (при поступлении на работу) и периодических медицинских осмотров персонала;

мещения должны быть оборудованы боксами, камерами, каньонами или другим герметичным оборудованием. Помещения разделяются на три зоны:
1-я зона – необслуживаемые помещения, где размещаются технологическое оборудование и коммуникации, являющиеся основными источниками ионизирующего излучения и радиоактивного загрязнения. Пребывание персонала в необслуживаемых помещениях при работающем технологическом оборудовании не допускается;
2-я зона – помещения временного пребывания персонала, предназначенные для ремонта оборудования, других работ, связанных с вскрытием технологического оборудования, размещения узлов загрузки и выгрузки радиоактивных веществ, временного хранения сырья, готовой продукции и радиоактивных отходов;
3-я зона – помещения постоянного пребывания персонала.
Для исключения распространения радиоактивного загрязнения между 2 и 3 зонами оборудуются саншлюзы.

Все работающие с источниками ионизирующего излучения или посещающие участки, где производятся такие работы, должны обеспечиваться сертифицированными спецодеждой, спецобувью и другими средствами индивидуальной защиты в соответствии с видом и классом работ.

При работах с радиоактивными веществами в открытом виде I и II класса персонал должен иметь комплект основных средств индивидуальной защиты, а также дополнительные средства защиты в зависимости от уровня и характера возможного радиоактивного загрязнения. Основной комплект средств индивидуальной защиты включает: спецбелье, носки, комбинезон или костюм (куртка, брюки), спецобувь, шапочку или шлем, перчатки, полотенца и носовые платки одноразовые, средства защиты органов дыхания (в зависимости от загрязнения воздуха).

При работах III класса персонал должен быть обеспечен халатами, шапочками, перчатками, спецобувью и при необходимости средствами защиты органов дыхания.

Средства индивидуальной защиты для работ с радиоактивными веществами должны изготовляться из хорошо дезактивируемых материалов либо быть одноразовыми.

Контрольные вопросы по главе 3

1. Требования безопасности при досмотре автотранспортных средств и перевозимых товаров.
2. Требования безопасности при досмотре опасных товаров и перевозящих их транспортных средств.
3. Электроприемники I, II, III категории.
4. Требования к персоналу, эксплуатирующему электроустановки в таможенных органах (I, II, III, IV, V группы по электробезопасности).
5. Технические меры, применяемые при устройстве электроустановок для предотвращения поражения электрическим током.
6. Воздействие электрического тока на организм человека.

7. Технологии оказания первой медицинской помощи пострадавшим от электрического тока.
8. Порядок обучения вопросам охраны труда и поверки знаний требованиям охраны труда должностных лиц таможенных органов. Контроль за обучением по охране труда.
9. Правовые основы организации работ с источниками ионизирующего излучения.
10. Ответственность администрации и персонала при работе с источниками ионизирующего излучения.
11. Обязанности персонала, работающего с источниками ионизирующего излучения.
12. Порядок приемки в эксплуатацию участков работ с источниками ионизирующего излучения.
13. Учет, хранение и инвентаризация, передача и списание источников ионизирующего излучения.
14. Лицензирование деятельности, связанной с применением источников ионизирующего излучения.
15. Радиационно-гигиеническая паспортизация организаций и территорий.
16. Административная и уголовная ответственность за нарушение санитарного законодательства РФ.
17. Основные положения санитарных норм и правил радиационной безопасности НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010.

Глава 4. Основы дозиметрии ионизирующих излучений и контроля радиационной обстановки

4.1. Основные виды приборов в дозиметрии

Для решения дозиметрического контроля таможенная служба использует дозиметры, радиометры, спектрометры и комбинированные приборы. Области применения этих приборов показаны в табл. 4.1.

Дозиметр – устройство для измерения дозы или мощности дозы ионизирующего излучения, полученной прибором (и тем, кто им пользуется) за некоторый промежуток времени, например, за период нахождения на некоторой территории или за рабочую смену. Измерение указанных величин называется *дозиметрией*.

Дозиметры чаще всего используются для регистрации γ-излучений и нейтронного излучения с целью измерения эквивалентной дозы и/или мощности эквивалентной дозы (МЭД) излучения.

*Радиометры (*в том числе радиометрические блоки) – это приборы, которые измеряют плотность потока частиц и применяются обычно для контроля поверхностных загрязнений α- и β -излучающими нуклидами. Эти приборы измеряют число частиц, пересекающих единичную площадь блока детектирования за единицу времени (обычно в част./(см²•мин), реже применяется величина част./(см²•с)). Измерение вышеописанных величин называется *радио-метрией*.

Таблица 4.1

Классификация технических средств радиационного контроля, применяемых в таможенных органах

Задача ТК ДРМ	Типы приборов			
	дозиметры	радиометры	спектро-метры	комбини-рованные приборы
Контроль радиационной обстановки, обнаружение ДРМ	+	+	–	+
Измерение значений параметров, характеризующих источники и поля излучений	+	+	+	+
Определение радионуклидного состава источников ионизирующих излучений	–	–	+	+
Обеспечение безопасности персонала	+	–	–	–

Кроме того, радиометры, как и дозиметры, могут быть использованы в режиме поиска источников ионизирующего излучения.

Рентгенметр – разновидность радиометра для измерения мощности гамма-излучения.

Спектрометры применяются для определения энергетических спектров частиц или квантов излучения. Это позволяет использовать их для определения вида радиоактивного материала.

В *комбинированном приборе* заложены функции приборов двух или даже трех типов.

Важнейший и обязательный элемент всех приборов для радиационного контроля – детектор, который является датчиком, принимающим излучение. На его выходе формируется электрический сигнал, характеризующий принимаемое излучение. Детекторы бывают следующих видов:

ионизационный, основанный на свойстве, способности этих излучений ионизировать любую среду, через которую они проходят, в том числе и детекторное (улавливающее) устройство прибора. Измеряя ионизационный ток, получают представление об интенсивности радиоактивных излучений;

сцинтиляционный, регистрирующий вспышки света, возникающие в сцинтиляторе (детекторе) под действием ионизирующих излучений, которые фотоэлектронным умножителем (ФЭУ) преобразуются в электрический ток. Измеряемый анодный ток ФЭУ (токовый режим) и скорость счета (счетчиковый режим) пропорциональны уровням радиации;

люминисцентный, базирующийся на эффектах радиофотолюминисценции (ФЛД) и радиотеримолюминисценции (ТЛД). В первом случае под действием ионизирующих излучений в люминофоре создаются центры фотолюминисценции, содержащие атомы и ионы серебра, которые при освещении ультрафиолетовым светом вызывают видимую люминисценцию, пропорциональную уровням радиации. Дозиметры ТЛД под действием теплового воздействия (нагрева) преобразуют поглощенную энергию ионизирующих излучений в люминицентную, интенсивность которой пропорциональна дозе ионизирующих излучений;

фотографический – один из первых методов регистрации ионизирующих излучений, позволивший французскому ученому Э. Беккерелю открыть в 1896 году явление радиоактивности. Этот метод дозиметрии основан на свойстве ионизирующих излучений воздействовать на чувствительный слой фотоматериалов аналогично видимому свету. По степени почернения (плотности) можно судить об интенсивности воздействующего на пленку ионизирующего излучения с учетом времени этого воздействия;

химический, основанный на измерении выхода радиационно-химических реакций, протекающих под действием ионизирующих излучений. Известно значительное количество различных веществ, изменяющих свою окраску (степень окраски) или цвет в результате окислительных или восстановительных реакций, что можно соизмерять со степенью или плотностью ионизации. Данный метод используют при регистрации значительных уровней радиации;

калориметрический, базирующийся на измерении количества теплоты, выделяемой в детекторе при поглощении энергии ионизирующих излучений, поглощаемая веществом, в конечном итоге преобразуются в теплоту при условии, что

поглощающее вещество является химически инертным к излучению и это пропорционально интенсивности излучений;

нейтронно-активационный, связан с измерением наведенной активности и в которых случаях являющийся единственно возможным методом регистрации, особенно слабых нейтронных потоков, так как наведенная ими активность оказывается слишком малой для надежных измерений обычными методами. Кроме того, этот метод удобен при оценке доз в аварийных ситуациях, когда наблюдается кратковременное облучение большими потоками нейтронов.

В *биологических* методах дозиметрии использована способность излучений изменять биологические объекты. Величину дозы оценивают по уровню летальности животных, степени лейкопении, количеству хромосомных аббераций, изменению окраски и гиперемии кожи, выпадению волос, появлению в моче дезоксицитидина и др. Биологические методы не очень точны и менее чувствительны по сравнению с физическими.

В *расчетных* методах дозу излучения определяют путем математических вычислений. Это единственно возможный метод определения дозы от инкорпорированных радионуклидов, т. е. попавших внутрь организма.

Таким образом, принцип работы детектора в значительной степени определяется характером эффекта, вызванного взаимодействием излучения с веществом детектора, а детектирование ионизирующих излучений связано с обнаружением и измерением этого эффекта.

Так как действие ионизирующих излучений на организм человек не ощущает и у него отсутствуют органы чувств, которые их бы воспринимали, то дозиметрические приборы как бы восполняют этот «пробел природы» и позволяют человеку, обнаруживать и оценивать эти излучения.

4.1.1. Пропорциональные счетчики и счетчики Гейгера-Мюллера

Пропорциональные счетчики и счетчики Гейгера-Мюллера относятся к одноэлементным преобразователям.

Они построены на одном из наиболее распространенных методов регистрации рентгеновского излучения – ионизационном. Этот метод обеспечивает получение электрических сигналов, которые обладают достаточно большим числом параметров, характеризующих рентгеновское излучение. На ионизационном методе основана работа не только газоразрядных преобразователей (пропорциональных счетчиков и счетчиков с самостоятельным разрядом Гейгера-Мюллера), но также ионизационных камер и полупроводниковых детекторов.

Рентгеновские лучи, проходя через газ, ионизируют его молекулы. Если газ находится в каком-либо замкнутом объеме, то в нем образуется одинаковое число ионов различного знака. Положительные и отрицательные ионы (электроны) находятся в беспорядочном движении и при столкновении рекомбинируют. При неизменной интенсивности рентгеновских лучей число пар ионов, образующихся в единицу времени, будет равно числу пар рекомбинировавших ионов.

Ионизационные камеры и газоразрядные счетчики представляют собой наполненную газом (например, воздухом) замкнутую камеру, в которой расположена конденсаторная система, состоящая из двух плоских электродов. На электроды камеры подается постоянное напряжение. При воздействии рентгеновского излучения на газ, через камеру будет протекать электрический ток (ионизационный ток), обусловленный переносом заряда образовавшимися ионами, к соответствующему электроду.

Зависимость ионизационного тока от приложенного к электродам напряжения (при постоянстве параметров излучения, воздействующего на камеру) показана на рис. 4.1. Эта зависимость носит нелинейный характер и может быть разбита на несколько областей, различающихся тем, что в них действуют различные механизмы ионизации газа.

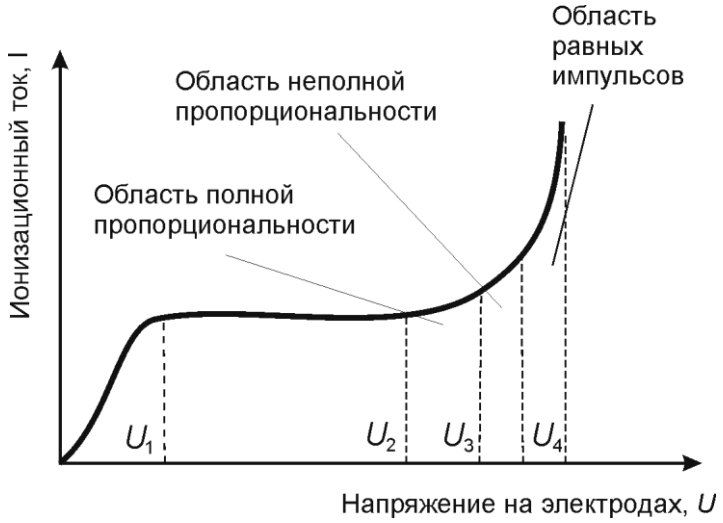


Рис. 4.1. Зависимость ионизационного тока от напряжения на электродах ионизационной камеры при регистрации рентгеновского излучения

При увеличении напряжения U скорость ионов увеличивается и возрастает вероятность достижения ионом соответствующего электрода без рекомбинации.

Следовательно ионизационный ток возрастает до напряжения U_1,. При напряжении больше U: рекомбинация становится ничтожно малой, поэтому ионизационный ток, проходящий через камеру, достигает насыщения и определяется числом ионов, образовавшихся в единицу времени под действием излучения. Дальнейшее увеличение напряжения до значения U_1 не вызывает увеличения ионизационного тока, возрастает лишь скорость ионов. Область напряжений от U_1 до U_2 называется областью насыщения.

В области насыщения работают ионизационные камеры, которые применяются для абсолютного измерения мощности экспозиционной дозы и экспозиционной дозы рентгеновского излучения высокой интенсивности.

При значениях напряжения больше U_2 скорость ионов становится достаточной для ионизации молекул газа через столкновение (ударная ионизация), и ток начинает возрастать с увеличением напряжения за счет так называемого газового усиления. Коэффициент газового усиления до значения напряжения U_3 линейно зависит от приложенного напряжения (область полной пропорциональности) и

может достигать $10^2...10^6$. Именно в области полной пропорциональности и работают пропорциональные счетчики, которые успешно применяются для регистрации параметров мягкого рентгеновского излучения' и в спектрометрических измерениях.

При напряжении выше U_3 наблюдается нарушение линейности газового усиления (область неполной пропорциональности). И, наконец, при напряжениях более U_4 в случае прохождения между электродами фотона с энергией, достаточной для образования хотя бы одной пары ионов, возникает лавинный разряд. Эта область получила название области равных импульсов (или области Гейгера), т.е. прохождению ионизирующих частиц различной энергии отвечает возникновение одинаковых импульсов тока. Дальнейшее повышение напряжения приводит к возникновению самостоятельного разряда (без воздействия излучения). В области равных импульсов работают счетчики Гейгера-Мюллера, которые применяются при радиометрических измерениях различных излучений, и наиболее часто, в индивидуальных дозиметрах.

Пропорциональные счетчики

Для обеспечения режима ударной ионизации в пропорциональных счетчиках наиболее рациональна цилиндрическая конструкция. Положительный электрод счетчика (анод) имеет вид тонкой металлической нити, а катодом (подключаемым к отрицательному полюсу источника питания) является токопроводящее покрытие внутренней поверхности цилиндра. Нить анода натягивается на изоляторах вдоль оси катода. Счетчик обычно заполняется инертным газом.

Такая конструкция характеризуется резкой неоднородностью распределения напряженности электрического поля по радиусу счетчика – напряженность максимальна у анода и, в основном, сосредоточена в небольшой (равной всего лишь нескольким диаметрам нити) области вблизи него. Именно в этой области происходит ударная ионизация; весь остальной объем счетчика работает просто как ионизационная камера.

Окно для впуска излучения обычно располагается на боковой поверхности цилиндрического катода. Напротив этого окна располагается окно для выпуска излучения.

Окна в счетчиках для регистрации мягкого рентгеновского излучения делают из тонкой лавсановой пленки толщиной 2...4 мкм. Счетчик наполняют аргон-метановой смесью (10% метана) под давлением чуть больше 1 атм. Из-за негерметичности лавсановой пленки, закрывающей входное окно, счетчики делают газо-проточного типа: газовая смесь из баллона большой емкости протекает через счетчик, компенсируя утечку смеси через поверхность окна.

Напряжение на электродах пропорционального счетчика обычно составляет 1,4...2,4 кВ.

Счетчики Гейгера-Мюллера

Отдельную техническую проблему в счетчиках Гейгера-Мюллера представляет задача гашения разряда и их готовности к регистрации последующих ионизирующих квантов. Дело в том, что разряд, раз возникнув, мог бы продолжаться самостоятельно, пока на счетчик подано напряжение, как это происходит, например, в неоновых рекламных лампах. Естественно, в таком режиме счетчик уже не мог бы регистрировать воздействующее на него излучение.

Для гашения разряда в состав газовой смеси счетчика вводят специальные добавки. Вводимые добавки воздействуют на внутренний механизм разряда. Обычно к инертным газам добавляют 10... 15% органических многоатомных газов с низким потенциалом ионизации и малым коэффициентом «прилипания» электронов (пары спирта, метилаль, этилен и т.д.) или 0,1...5% галогенов (хлор, бром, йод).

Органическая добавка играет двойную роль. Молекулы гасящей добавки нейтрализуют положительные ионы, так как при их соударениях происходит энергетически выгодный переход электрона от нейтральной молекулы к иону. Положительно заряженные молекулы гасящей добавки направляются к катоду, где диссоциируют, не образуя при этом вторичных электронов. Кроме того, гасящая добавка поглощает фотоны, образуемые электронной лавиной. Таким образом разряд прекращается самостоятельно, без уменьшений напряжения на счетчике.

Галогенная добавка действует по-другому. Положительные ионы захватывают электроны у двухатомных молекул галогена, образуя нейтральный атом и ионизированный галоген. Ионизированный галоген нейтрализуется на катоде без выбивания из него электронов. Галогенная добавка действует значительно эффективнее органической.

Различием механизма протекания разряда объясняется также то, что галогенные счетчики имеют более низкие рабочие напряжения, чем другие самогасящиеся счетчики Гейгера-Мюллера.

У счетчиков Гейгера-Мюллера рабочее напряжение составляет несколько сотен вольт, например счетчик СБМ работает при напряжениях 350...475 В.

4.1.2. Сцинтилляционные детекторы

Сцинтилляционные счетчики имеют иной принцип действия. Схема сцинтилляционного счетчика показана на рис. 4.2.

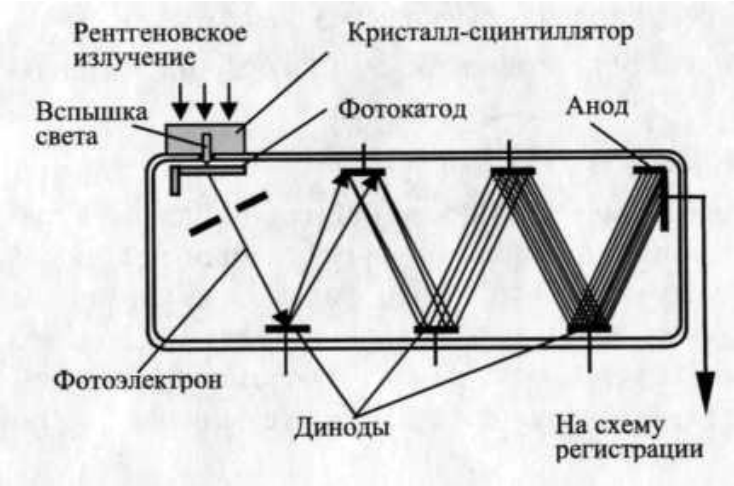


Рис. 4.2. Схема сцинтилляционного счетчика

Он состоит из прозрачного люминесцирующего кристалла (сцинтиллятора) и фотоэлектронного умножителя (ФЭУ). В качестве сцинтилляторов используются кристаллы NaI или KI, с добавкой небольшого количества таллия (говорят: «активированные таллием»). Обычно их обозначают NaI(Tl) и KI(Tl) соответственно.

Рентгеновский квант, падая на сцинтиллятор, взаимодействует с его атомами. При этом некоторое количество атомов вещества, составляющего сцинтиллятор, переходит в возбужденное состояние. Обратный переход атомов в нормальное состояние сопровождается испусканием квантов видимого света – люминесценцией. Люминесценция в сцинтилляторе происходит почти мгновенно (через $10^{-9}..10^{-7}$ с) после возбуждения. При этом в световую энергию преобразуется лишь небольшая часть всей поглощенной энергии. При этом на один квант рентгеновского излучения обуется несколько десятков или сотен фотонов видимого света. Световые фотоны разлетаются во все стороны, частично поглощаясь в толще самого сцинтиллятора, поэтому лишь часть световой энергии попадает из сцинтиллятора на ФЭУ. Для увеличения доли сцинтилляций, попадающих на катод фЭУ сцинтиллятор должен быть прозрачен к собственному излучению. В этих целях также используются специальные световые отражатели и световоды.

ФЭУ, по сути, состоит из фотоэлемента и усилителя потока электронов. Попавшее на фотокатод (рис. 4.2) ФЭУ световое излучение вырывает с него фотоэлектроны, которые затем размножаются с помощью последовательно установленных динодов (обычно их количество составляет 10... 14) и, собранные на аноде ФЭУ, вызывают импульс тока (или напряжения на нагрузочном сопротивлении) в схеме регистрации. Между последовательными динодами прикладывается разность потенциалов 50... 100 В, что и обеспечивает вторичную эмиссию (усиление потока) электронов с их поверхности. Коэффициент усиления ФЭУ достигает величин $10^{9}...10^{11}$.

Особенностью сцинтилляционных счетчиков является хорошо выраженная пропорциональность между ионизирующей способностью частицы (а следова-

тельно, и ее энергией) и амплитудой импульса напряжения на выходе фотоумножителя. Наличие такой зависимости позволяет с помощью специальных амплитудных анализаторов выделять импульсы, отвечающие квантам определенной энергии, то есть измерять интенсивность излучения, отвечающего определенной длине волны.

Мертвое время сцинтилляционных счетчиков, то есть время возвращения в состоянии готовности после регистрации отдельного импульса, составляет 1–3 мкс, что обеспечивает скорость счета до 10^5 имп./с.

Достоинства сцинтилляционных счетчиков (высокая чувствительность, высокое быстродействие, пропорциональность между амплитудой импульса и энергией частицы, высокая эффективность регистрации сильнопроникающих излучений) определяют их использование в спектрометрической аппаратуре, дозиметрии рентгеновского излучения и при проведении поиска источников излучения.

Обладая высокими техническими параметрами, сцинтилляционные счетчики имеют и некоторые особенности, которые нельзя не учитывать при их эксплуатации. Фотоэлектронный умножитель требует защиты не только от внешних электрических и магнитных полей, но и от попадания постороннего а на его электроды. Для обеспечения хорошего оптического контакта между катодом и кристаллом-сцинцилятором вводят немного прозрачной жидкости (кедровое или вазелиновое масло). Сцинцилятор NaI (TI) гигроскопичен и должен быть упакован в герметичную оболочку, нарушение которой может привести (вследствие попадания влаги) к потери его прозрачности.

4.1.3. Термолюминесцентные индивидуальные дозиметры «ДТЛ-02»

В некоторых материалах (люминофорах) под действием ионизирующего излучения образуются свободные электроны и дырки, которые локализуются в Центрах захвата, благодаря чему в них происходит накопление поглощений энергии. Для ее освобождения требуется воздействовать на люминофор либо светом определенного участка спектра (фотолюминесценция), либо теплом (термолюминесценция). Мерой энергии, запасенной в люминофоре, мо-Кет быть интенсивность свечения или другие оптические характеристики. Термолю-минесцентное свечение объясняется тем, что при нагреве электроны, захваченные «ловушками» кристаллической решетки, освобождаются и при рекомбинации испускают свет. При этом интенсивность светового излучения при постоянной энергии ионизирующего излучения пропорциональна поглощенной дозе излучения. Интенсивность свечения измеряется прибором, содержащим ФЭУ. В качестве термолюминесцирующих веществ используют: LiF(Ag), CaF(Mg), $CaSO_4$(Mg, Sm). Наиболее распространенным типом термолюминофора является LiF(Ag). Он обладает большой чувствительностью (5...10 мР) и долго сохраняет дозиметрическую информацию.

Термолюминесцентный дозиметр «ДТЛ-02» предназначен для индивидуального дозиметрического контроля. Он позволяет измерять дозы рентгеновского и у-излучения в диапазоне эффективных энергий 10 кэВ...3 МэВ и диапазоне экспозиционных доз 10 мР...10^5 Р.

В качестве детектора излучения в нем используются таблетки из фтористого лития. Облученный детектор в обычных условиях хранения может длительное время удерживать дозиметрическую информацию. При 20°С потеря информации в течение года не превышает 5%. Для снятия дозиметрических показаний детекторы нагревают до температуры 400°С, и возникающая при этом люминесценция регистрируется фотоэлектронным умножителем. Выходной сигнал умножителя подается на два канала – стрелочный измерительный прибор для ориентировочной оценки дозы и блок преобразователя с цифровым индикатором для точного измерения дозы. Об измеряемой дозе судят по наибольшей амплитуде кривой термовысвечивания, что позволяет измерять малые дозы. Для повторного использования детектора в дозиметре «ДТЛ-02» производят их восстановление (сброс накопленной энергии) с помощью блока термообработки. Блок термообработки обеспечивает заданную термическую обработку детекторов (отжиг при 400°С в течение 1 ч, охлаждение до комнатной температуры и выдержка при 80°С в течение 16 ч). К дозиметру также прилагаются приспособления для упаковки, транспортировки и ношения детекторов.

Основная погрешность измерений: ±10% для доз 10... 100 мР и ±3% для доз свыше 100 мР. Дополнительная погрешность, связанная с «жесткостью» излучения: ±36% для энергий 10...100 кэВ при работе без фильтра и ±15% для энергий свыше 30 кэВ при работе с компенсирующими фильтрами.

В связи с необходимостью выполнения операций по подготовке дозиметров к работе, которые требуют специального оборудования и средств измерений, для проведения в таможнях индивидуального дозиметрического контроля с использованием термолюминесцентных дозиметров целесообразно привлекать аккредитованные в этой области и имеющие соответствующее оборудование организации на основе хоздоговоров.

4.1.4. Дозиметры «ДКГ-РМ1621» и «ДКГ-РМ1621А»

«ДКГ-РМ1621» и «ДКГ-РМ1621 А» – профессиональные дозиметры, измеряющие эквивалентную дозу и мощность эквивалентной дозы рентгеновского и γ-излучений в широком диапазоне энергий: от 10 кэВ до 20 МэВ. При этом диапазон измерения мощности дозы для «РМ1621» находится в интервале 0,05 мкЗв/час.0,1 Зв/час, а для «РМ1621 А» – 0,05 мкЗв/час...1 Зв/час.

Такие значения энергетического диапазона и мощности дозы позволяют контролировать радиационную обстановку и дозовую нагрузку сотрудника не только при работах с источниками ионизирующего излучения различной интенсивности, но даже в условиях незначительных колебаний естественного фона.

Основные технические характеристики дозиметров приведены в таблице 5.3. В дозиметрах предусмотрена функция сохранения в энергонезависимой памяти истории мощности дозы, величины накопленной дозы и серийного номера и передачи этих значений в компьютер через адаптер ИК-связи с помощью

Таблица 4.2

Основные технические характеристики профессиональных дозиметров «ДКГ-РМ1621» и «ДКГ-РМ1621А»

Техническая характеристика	Ее значение
Тип детектора	счетчик Гейгера-Мюллера
Диапазон измерения мощности дозы «РМ1621» , «РМ1621А»	 0,1 мкЗв/ч...0,1 Зв/ч 0,1 мкЗв/ч...1 Зв/ч
Диапазон индикации мощности дозы «РМ1621» «РМ1621А»	 0,01 мкЗв/ч...0,2 Зв/ч 0,01 мкЗв/ч...2,00 Зв/ч
Устанавливаемый порог по мощности дозы	во всем диапазоне измерения
Диапазон измерения дозы	1 мкЗв...9,99 Зв
Диапазон индикации дозы	0,01 мкЗв...9,99 Зв
Диапазон установки порогов по дозе	во всем диапазоне измерения
Предел допускаемой основной относительной погрешности измерения мощности дозы, %	±(15+0,0015/Н+0.01Н)
Предел допускаемой основной относительной погрешности измерений дозы, %	±15
Диапазон регистрируемых энергий	10,0 кэВ...20,0 МэВ
Энергетическая зависимость чувствительности относительно энергии ^{137}Cs (0,662 МэВ) во всем диапазоне энергий, %	+30
Сохраняет работоспособность после кратковременного воздействия предельно допустимого гамма излучения, Зв/ч: «РМ1621» , «РМ1621А»	1 10
Дополнительные функции	режим связи с персональным компьютером
Выдерживает падение на бетонный пол с высоты, м	0,7
Питание	один элемент типа АА
Время непрерывной работы от одного элемента питания, месяцев	12
Индикация разряда элемента питания	на жидкокристаллическом
Допустимые условия работы: температура, °С относительная влажность при 35°С, % атмосферное давление, кПа	 -40...+60 до 98 84...106,7
Габаритные размеры, мм	87х72х35
Масса (с элементом питания), г	150

специального программного обеспечения, что дает возможность использовать прибор в качестве компонента компьютерной системы учета дозовых нагрузок персонала и ведения соответствующих баз данных.

Приборы позволяют пользователю устанавливать пороги сигнализации по мощности дозы и по накопленной дозе (по два независимых порога для дозы и мощности дозы, отличающиеся типом звуковых сигналов). При превышении любого порога на жидкокристаллическом индикаторе отображается величина, порог которой превышен, в сопровождении соответствующего звукового сигнала. Дозиметры автоматически отсчитывают время накопления дозы.

Приборы выполнены в герметичных ударопрочных корпусах, что позволяет проводить их дезактивацию. Дозиметры предназначены для ношения как в нагрудном кармане спецодежды, так и на поясном ремне.

4.2. Порядок проведения индивидуального дозиметрического контроля

Порядок проведения индивидуального дозиметрического контроля определен Приказом ГТК РФ от 27.04.1998 № 255 «Об организации работ по проведению индивидуального дозиметрического контроля».

Организация и периодичность контроля

Индивидуальный дозиметрический контроль может проводиться для должностных лиц таможенных органов, которые по роду своей производственной деятельности имеют контакт с источниками ионизирующего излучения. Проведение индивидуального дозиметрического контроля обязательно для операторов мобильных РУДБТ и должностных лиц таможенных органов, проводящих досмотр радиоактивных грузов. Список должностных лиц, подлежащих индивидуальному дозиметрическому контролю, составляется лицом, ответственным за радиационную безопасность, и утверждается начальником таможни.

Лицо, ответственное за радиационный контроль, назначается приказом начальника таможни из числа сотрудников службы ТКДРМ, прошедших специальную подготовку в области дозиметрии.

Перед началом работ приказом начальника таможни назначается лицо, отвечающее за проведение ИДК, в обязанности которого входит:

– раздача и сбор индивидуальных дозиметров;

– контроль за правильностью использования индивидуальных дозиметров;

– обеспечение своевременной поверки измерительной аппаратуры в органах Госстандарта;

– измерение индивидуальных доз сотрудников в установленные сроки;

– представление полученных результатов руководителям структурных подразделений.

Индивидуальный дозиметрический контроль должен проводиться постоянно с ежеквартальной регистрацией результатов (ежемесячной для женщин в воз-

расте до 40 лет) в карточках учета индивидуальных доз внешнего облучения, копии которых должны храниться в учреждении в течение 50 лет после увольнения работника. В случае перевода работника в другое учреждение его карточка учета доз должна передаваться на новое место работы.

При проведении первого цикла измерений индивидуальных доз внешнего облучения кроме индивидуальных дозиметров, раздаваемых персоналу, дополнительно раздают контрольные дозиметры.

Контрольные дозиметры предназначены для оценки вклада в показания индивидуального дозиметра фоновой дозы за счет естественного компонента излучения (гамма-излучение строительных материалов и космическое излучение), накапливаемой одновременно с дозой внешнего излучения техногенных источников в процессе ношения индивидуальных дозиметров. Для оценки вклада фоновой дозы в показания индивидуальных дозиметров следует один раз в год при проведении измерений индивидуальных доз у персонала одновременно выполнить измерения индивидуальных доз у сотрудников (не менее 10 человек), работающих в тех же условиях, но по роду своей деятельности не связанных с источниками ионизирующего излучения. В дальнейшем при оценке полученных результатов среднее значение фоновой дозы следует вычитать из показаний индивидуальных дозиметров, носимых персоналом. Контрольные дозиметры постоянно «сопровождают» индивидуальные дозиметры до их раздачи персоналу и после их сбора до начала измерений.

При работе с индивидуальными дозиметрами необходимо соблюдать следующие основные правила:

– дозиметр должен носиться персоналом в течение всего рабочего дня в строго указанном на теле месте (на уровне пояса или в брючном кармане со стороны, обращенной к досмотровой камере ДРТ, для лиц, работающих с ДРТ, и в нагрудном кармане для лиц, производящих досмотр грузов радиоактивных материалов);

– категорически запрещается передавать индивидуальные дозиметры другим лицам или оставлять их где-либо в течение рабочего дня;

– после окончания работы как индивидуальные, так и контрольные дозиметры должны находиться в помещениях, в которых нет источников ионизирующего излучения;

– запрещается вскрывать индивидуальный дозиметр, а также подвергать его умышленному воздействию ионизирующего излучения, повышенной температуры, влаги и агрессивных сред;

– каждый сотрудник, получающий индивидуальный дозиметр, инструктируется о правилах его ношения.

Номера выданных индивидуальных дозиметров фиксируются в специальном «Журнале учета результатов индивидуального дозиметрического контроля». Там же фиксируются даты раздачи и сбора дозиметров, тип измерения (фоновое или рабочее), а также результаты измерений. Факты нарушения правил ношения должны фиксироваться в графе «Примечание».

Индивидуальный дозиметрический контроль с использованием термолюминесцентных дозиметров

Раздача персоналу и сбор индивидуальных ТЛ-дозиметров осуществляется в течение одного дня после их получения или истечения срока, установленного для их ношения. Номера розданных дозиметров и даты их раздачи и сбора заносятся в специальный «Журнал учета результатов индивидуального дозиметрического контроля». Показания дозиметров должны быть считаны не позднее одного дня после их сбора. При большем времени необходимо учитывать дозу, полученную дозиметрами за время их транспортировки и хранения. ТЛ-дозиметры требуют предварительной специальной подготовки (калибровка, сортировка, термообработка) для их использования. Для проведения индивидуального дозиметрического контроля с использованием индивидуальных ТЛ-дозиметров рекомендуется привлекать аккредитованные в этой области и имеющие соответствующее оборудование организации на основе хоздоговоров.

Индивидуальный дозиметрический контроль с использованием электронных дозиметров

Электронные дозиметры типа ДКГ-РМ1203 могут использоваться только для измерения индивидуальных доз работников таможен, проводящих досмотр грузов радиоактивных материалов. Для контроля доз облучения операторов РУДБТ они непригодны, т.к. имеют значительную энергетическую зависимость чувствительности в области энергий ниже 60 кэВ.

Все подготовленные для проведения индивидуального дозиметрического контроля дозиметры должны быть технически исправны и иметь действующий аттестат метрологической поверки.

Подготовка дозиметров к работе заключается в том, что в них должны быть вставлены новые батареи питания (при необходимости) и показания их должны быть занесены в журнал учета.

Раздача дозиметров производится с регистрацией в журнале учета номера дозиметра, даты выдачи и показаний при выдаче. Рекомендуется выдавать каждому работнику один и тот же дозиметр в течение всего времени контроля. Регистрацию результатов индивидуального дозиметрического контроля рекомендуется для всех работников вести ежемесячно, что уменьшит вероятность потери информации в случае разряда батарей в период ношения дозиметра.

Рекомендуется в течение года не сбрасывать показания дозиметра при считывании результатов за очередной месяц, а вести измерение в режиме накопления. Это уменьшит ошибки, связанные с дискретностью представления результатов контроля

Определение индивидуальных эффективных доз внешнего облучения персонала

Согласно российскому законодательству в области радиационной безопасности (Федеральный закон о радиационной безопасности населения, НРБ-

99/2009) основные дозовые пределы облучения персонала и населения ионизирующим излучением выражены в терминах эффективной дозы. Являясь неизмеримой на практике величиной, эффективная доза в различных ситуациях внешнего облучения людей должна быть оценена на основе результатов индивидуального дозиметрического контроля.

Для целей индивидуальной дозиметрии персонала в практику радиационной безопасности введено понятие индивидуальной эквивалентной дозы. Индивидуальная эквивалентная доза H(p)(d) (Зв) это эквивалентная доза в мягкой ткани на глубине d под выбранной на теле человека точкой. Для проникающего излучения рекомендуется d = 10 мм. Величина H(p)(10) может быть измерена с помощью индивидуального дозиметра, носимого на поверхности тела, детектор(ы) которого находятся под слоем материала, эквивалентным 10 мм ткани.

Индивидуальные дозиметры для операторов РУДБТ следует располагать на талии или в брючном кармане с той стороны тела, которая расположена во время работы ближе к шторке, закрывающей досмотровую камеру. В этом случае эффективная доза, оцененная на основе показаний индивидуального дозиметра, не будет занижена, а ее возможное завышение не превысит двух раз. (При этом используется значение коэффициента перехода от дозы, измеренной с помощью индивидуального дозиметра и выраженной в единицах эквивалентной дозы (Зв), к величине эффективной дозы, равное 1,0.)

В зависимости от того, в каких единицах калиброваны индивидуальные дозиметры, эффективная доза E оценивается по результатам ИДК следующим образом:

– если дозиметры калиброваны в единицах эквивалентной дозы (Зв)

$$E = D(\text{ннд}),\ \text{Зв};$$

– если дозиметры калиброваны в единицах поглощенной дозы в воздухе (Гр)

$$E = 1[\text{Зв/Гр}] \times D(\text{ннд})[\text{Гр}],\ \text{Зв};$$

– если дозиметры калиброваны в единицах экспозиционной дозы (Р)

$$E = 0{,}876 \times 10^{-2}\ [\text{Зв/Р}] \times D(\text{ннд})[\text{Р}],\ \text{Зв}.$$

4.3. Организация и порядок проведения дозиметрического контроля на рентгеновском аппарате

Радиационный контроль на ДРТ установке должен проводиться в соответствии с рекомендациями СанПиН 2.6.1.2369-08.

Радиационный контроль в организациях, проводящих работы с ДРТ, должен обеспечивать получение необходимой информации о радиационной обстановке в помещениях, где расположены данные установки, смежных с ними помещениях, на рабочих местах персонала, в местах возможного нахождения людей, а также о дозах облучения персонала.

Радиационный контроль в организации осуществляется в соответствии с утвержденным порядком проведения производственного контроля за радиационной безопасностью.

В организации, в зависимости от объема и характера работ с ДРТ, производственный контроль за радиационной безопасностью осуществляется специальной службой или лицом, ответственным за радиационную безопасность, прошедшим специальную подготовку.

Контроль индивидуальных доз внешнего облучения персонала группы А, работающего с ДРТ, должен проводиться с использованием индивидуальных дозиметров постоянно с ежеквартальной регистрацией результатов в карточках учета индивидуальных доз внешнего облучения, копии которых должны храниться в учреждении в течение 50 лет после увольнения работника. В случае перевода работника в другое учреждение его карточка учета индивидуальных доз должна передаваться на новое место работы.

В помещениях, в которых размещаются постоянно или временно эксплуатируемые ДРТ, проводится периодический радиационный контроль, который должен включать:

– контроль мощности дозы рентгеновского излучения на наружной поверхности установки (при вводе в эксплуатацию и каждый раз после проведения ремонтных работ, но не реже 1 раза в год);

– контроль мощности дозы рентгеновского излучения на рабочих местах персонала (при вводе в эксплуатацию и каждый раз после проведения ремонтных работ, но не реже 1 раза в год);

– контроль индивидуальных доз облучения персонала группы А (постоянно).

Для образцов ДРТ, допускающих регулирование параметров генерации пучка рентгеновского излучения (анодное напряжение рентгеновской трубки, анодный ток), радиационный контроль должен проводиться при максимальных рабочих значениях параметров.

При проведении радиационного контроля в ДРТ должен устанавливаться имитатор досматриваемого объекта, в качестве которого рекомендуется использовать наполненную водой полиэтиленовую канистру объемом 10 - 20 л. Для измерения мощности дозы рентгеновского излучения при контроле радиационной обстановки на рабочих местах операторов РУДБТ следует использовать дозиметры рентгеновского излучения, имеющие действующее свидетельство о метрологической поверке и позволяющие измерять мощность дозы рентгеновского излучения от 0,1 мкЗв/ч в энергетическом диапазоне от 20 до 300 кэВ.

Радиационный контроль качества защиты установки проводится измерением мощности дозы излучения в контрольных точках, расположенных на расстоянии 50 мм от корпуса установки и на рабочем месте оператора в зоне наблюдения.

Расположение рекомендуемых контрольных точек измерения приведено на рис.4.3.

Порядок проведения измерений содержится в технической документации на конкретную аппаратуру. Например, для проведения измерений мощности дозы на рентгеновской установке для досмотра грузов и ручной клади "Инспектор 60/70Z" он заключается в следующем:

– поместить в центр транспортного туннеля стандартную полиэтиленовую канистру емкостью 10-20 л, заполненную водой;

– включить рентгеновский излучатель при неподвижной ленте транспортера, для чего:

– войти в меню программы, нажав одновременно кнопки «С2» и «↵»

– кнопками 2 или 8 выбрать в меню команду «ПРОВЕРКА ТУННЕЛЯ» и нажать кнопку «↵». Пользуясь кнопкой «ЦВЕТ» выбрать в меню тестов команду «ВКЛ. РЕНТГЕН», нажать кнопку «↵».

– провести измерение мощности дозы в точках, расположенных на расстоянии 50 мм от корпуса, согласно рис. 4.3.

– после окончания измерений с помощью клавиши «ЦВЕТ» выбрать в меню команду «ВЫКЛ. РЕНТГЕН» и нажать кнопку «↵».

Результаты измерений при вводе установки в эксплуатацию, а также при периодическом контроле заносят в паспорт и, соответственно, в журнал учета (протокол дозиметрического обследования – форма 1, рис. 4.4).

Измеренное значение мощности дозы занести в таблицу формы 1. Учитывая, что точек контроля более одной тысячи, занести в таблицу не менее 20 измерений с максимальными показаниями дозиметра. Занести в таблицу точки, в которых показания дозиметра максимальные по величине.

Для проведения измерений индивидуальных доз внешнего облучения персонала, работающего с ДРТ, следует использовать индивидуальные дозиметры, имеющие действующее свидетельство о метрологической поверке и позволяющие измерять дозу рентгеновского излучения от 0,1 мЗв в энергетическом диапазоне от 20 до 300 кэВ.

Качество радиационной защиты установки можно считать удовлетворительным, если мощность дозы, измеренная в любой контрольной точке на расстоянии 50 мм от корпуса установки и на рабочем месте оператора, не превышает 2,5 мкЗв/ч.

При обнаружении в процессе радиационного контроля в какой-либо из точек превышение мощности дозы, измеренной в этой точке при вводе установки в эксплуатацию и зафиксированной в протоколе дозиметрического обследования в паспорте, следует выключить установку, обследовать ее защитные конструкции, выяснить причину увеличения дозы, и устранить.

При превышении дозы излучения свыше 2,5 мкЗв/ч эксплуатация установки должна быть прекращена.

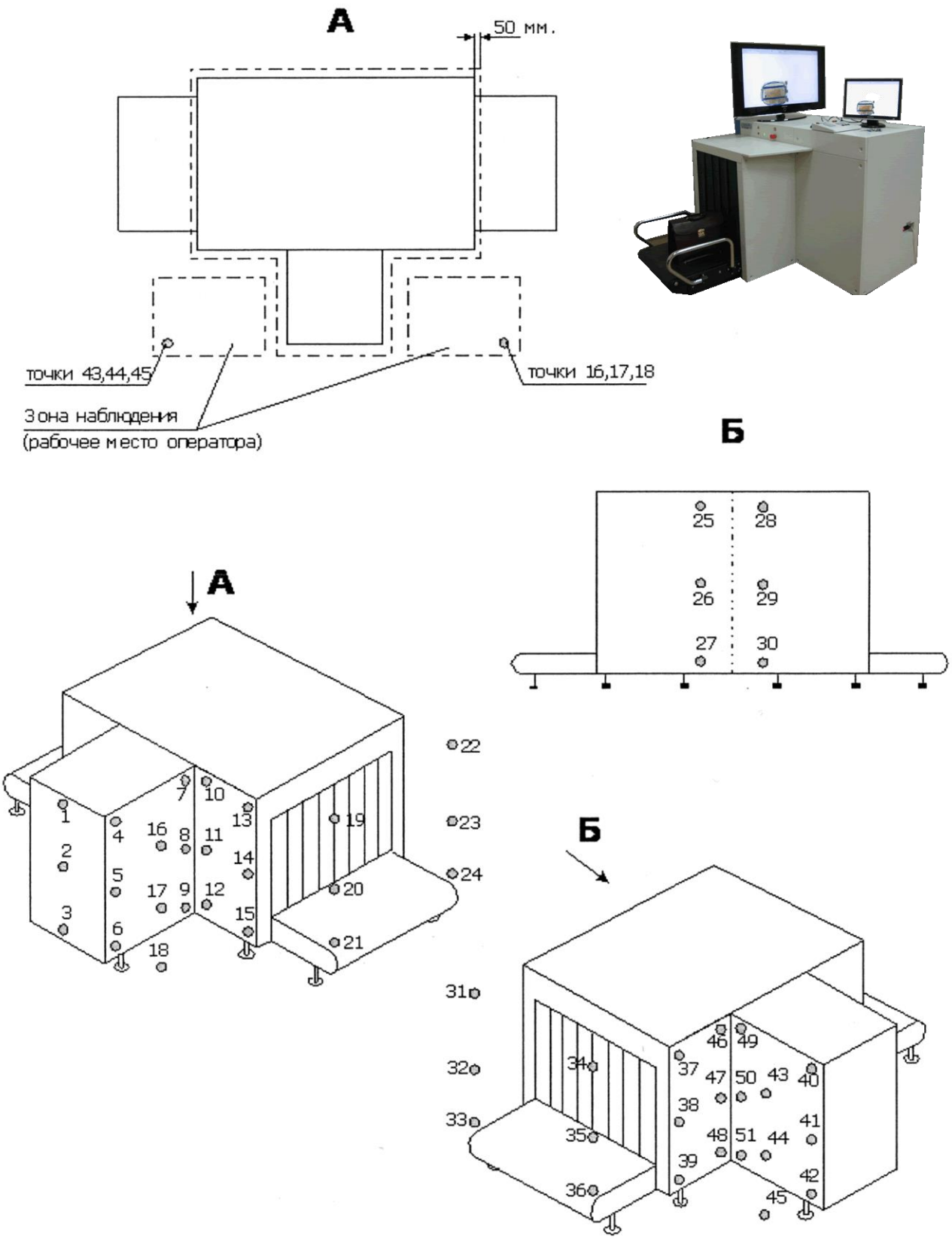


Рис. 4.3. Расположение рекомендуемых контрольных точек измерений

Форма 1

Дата дозиметрического обследования:

Место дозиметрического обследования:

Тип, заводской номер установки:

Сведения о контрольно-измерительной аппаратуре:

Тип дозиметра:

Заводской номер:

Свидетельство о госповерке клеймо госповерителя:

Поставлено:

Когда поставлено:

ТАБЛИЦА ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНЕЙ

№ точки	Показания дозиметра, мкЗв/ч		№ точки	Показания дозиметра, мкЗв/ч		№ точки	Показания дозиметра, мкЗв/ч	
	При приемо-сдаточных испытаниях	При вводе в эксплуатацию		При приемо-сдаточных испытаниях	При вводе в эксплуатацию		При приемо-сдаточных испытаниях	При вводе в эксплуатацию
1			18			35		
2			19			36		
3			20			37		
4			21			38		
5			22			39		
6			23			40		
7			24			41		
8			25			42		
9			26			43		
10			27			44		
11			28			45		
12			29			46		
13			30			47		
14			31			48		
15			32			49		
16			33			50		
17			34					

Измерения провел:_____ (_____)

Рис. 4.4. Форма проведения дозиметрического контроля рентгеновской установки для досмотра грузов и ручной клади «Инспектор 60/70Z»

Контрольные вопросы по главе 4

1. Основные приборы, применяемые для ТК ДРМ (дозиметры, радиометры, спектрометры и комбинированные приборы).
2. Виды детекторов ионизирующего излучения.
3. Пропорциональные счетчики и счетчики Гейгера-Мюллера.
4. Сцинтилляционные детекторы.
5. Термолюминесцентные индивидуальные дозиметры.
6. Дозиметры «ДКГ-РМ1621» и «ДКГ-РМ1621А».
7. Индивидуальные дозиметрический контроль: организация и периодичность контроля.
8. Индивидуальный дозиметрический контроль с использованием термолюминесцентных дозиметров, электронных дозиметров.
9. Организация и порядок проведения дозиметрического контроля на рентгеновском аппарате.

Глава 5. Рентгеновское излучение

5.1. Природа рентгеновского излучения

Рентгеновское излучение – это квантовое электромагнитное излучение, занимающее спектральную область между гамма- и ультрафиолетовым лучами (рис. 5.1) в пределах длин волн[15] λ примерно от 10^{-2} до 10^{2} ангстрем[16]. Энергия отдельного рентгеновского кванта может составлять значение от долей одного килоэлектронвольта (кэВ) до мегаэлектронвольт (МэВ)[17].

Рис. 5.1. Шкала электромагнитных волн

Рентгеновские лучи с длинами волн, близкими к ультрафиолетовым лучам, называют «граничными» (рис. 5.1). Центральную часть рентгеновского диапазона (примерно от 0,1 до 10 Å) занимает «мягкое» рентгеновское излучение. Ближе к границе с гамма-лучами располагаются «жесткие» рентгеновские лучи. Естественно, что такое деление носит условный характер.

Как известно, электромагнитные волны проявляют себя в экспериментах в одном из двух взаимодополняющих видах: волновом и корпускулярном. Иногда, рассматривая электромагнитное излучение, выгодно характеризовать его длиной волны, а иногда следует представлять себе пучок лучей как совокупность частиц (корпускул, квантов), распространяющихся со скоростью света c[4], причем каждый квант обладает энергией:

$$E = h\nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

где h – постоянная Планка, равная $6{,}62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с.

Поскольку частота рентгеновского кванта примерно в 1000 раз превышает частоту кванта видимого света, то его энергия значительно больше энергии кванта видимого света.

---

[15] *Длина волны* – пространственный период волны, т.е. расстояние между двумя ближайшими точками гармонической бегущей волны, находящимися в одинаковой фазе колебаний.

[16] *Ангстрем* (Å) – внесистемная единица длины; 1 Å = 10-10 м. Применяется в оптике и атомной физике. Названа в честь шведского физика-спектроскописта А.Й. Ангстрема.

[17] *Электронвольт* – единица энергия, равная энергии, которую получает электрон, проходя разность потенциалов в один вольт, 1 эВ=1,60219·10-19 Дж.

При рассмотрении процессов взаимодействия электромагнитного излучения с веществом важно учитывать длину волны данного вида излучения. К примеру, можно обратить внимание на то, что размеры объекта, являющегося источником излучения, и размеры объекта, с которым данный вид излучения взаимодействует, по порядку величины равны длине волны данного вида излучения. Именно поэтому антенны радиоволн имеют размеры от сотен метров (радио) до нескольких сантиметров (телевидение). Рентгеновское излучение имеет длину волны, соответствующую размеру электронной оболочки атома. Поэтому они активно взаимодействуют с электронами атомов, не вызывая при этом внутриядерных процессов (в отличие от более коротковолнового гамма-излучения), и, следовательно, не наводя остаточной радиации.

Свойства рентгеновского излучения

Рентгеновское излучение обладают рядом свойств:

– невидимо человеческим глазом;

– способно проникать сквозь непрозрачные для видимого света вещества;

– поглощает в веществе, причем степень поглощения увеличивается с ростом атомного номера просвечиваемого вещества и его толщины. Просвечивание неоднородного по строению объекта приводит к образованию так называемой «теневой картины» объекта.

– распространяется прямолинейно. Это означает, что для них нельзя создавать оптические приборы (такие как линзы, призмы, зеркала и т.д.) в том понимании, как для видимого света. Поэтому получающаяся после просвечивания неоднородного предмета теневая картина не несет в себе искажений, которые могли бы быть связаны с явлением преломления[18].

– вызывает флюоресценцию некоторых веществ (таких как сернистый цинк, сернистый кадмий, платиносинеродистый барий и др.), а также вызывают почернение специальной рентгеновской фотопленки после ее проявления.

Из этих свойств сразу вытекает принципиальная возможность построения проекционного аппарата для изучения внутреннего строения объектов в рентгеновских лучах.

Кроме перечисленных основных свойств можно указать еще следующие:

– рентгеновское излучение ионизирует [19] газы (на этом эффекте работают дозиметрические приборы);

– вызывает вторичное характеристическое рентгеновское излучение у облучаемых предметов (что определяет возможность его использования для определения химического состава вещества, из которого сделан предмет);

---

[18] Строго говоря, коэффициент преломления для рентгеновских лучей отличается от единицы, но очень незначительно. Его точное значение учитывают физики при проведении прецизионных измерений, например, при расшифровке атомной структуры кристаллов.

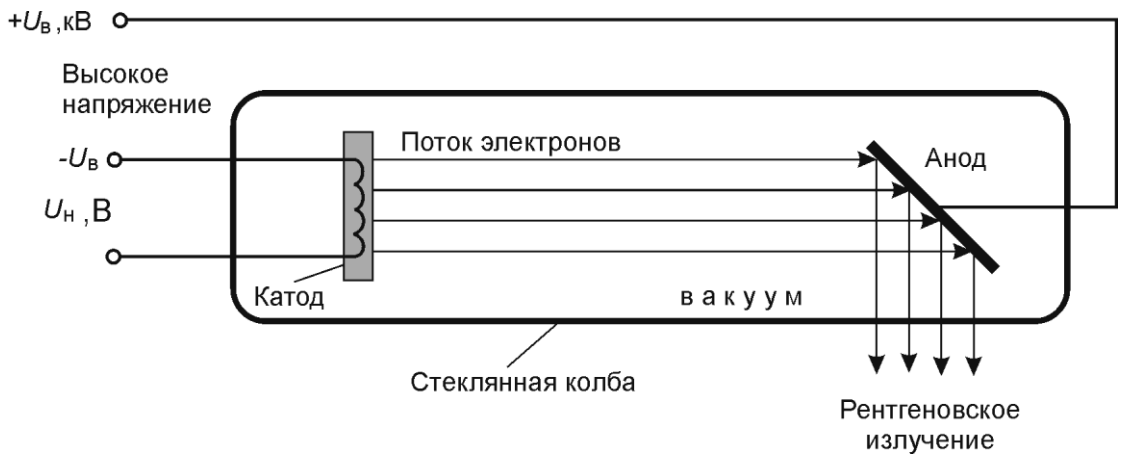
[19] *Ионизация* – образование положительных и отрицательных ионов и свободных электронов из электрически нейтральных атомов и молекул. Термином «ионизация» обозначают как элементарный акт (ионизация атома, молекулы), так и совокупность множества таких актов (ионизация газа, жидкости).

– оказывает воздействие на биологические объекты (причем характер и степень воздействия зависят от величины энергии, поглощенной объектом).

5.2. Получение рентгеновских лучей. Рентгеновская трубка

Для получения рентгеновских лучей используют специальные рентгеновские трубки. Они являются основными источниками рентгеновских лучей для промышленного, технического и медицинского применений. Рентгеновская трубка генерирует излучение только тогда, когда на нее подано высокое электрическое напряжение.

Схема рентгеновской трубки очень проста (рис. 5.2, а). Она состоит из стеклянной или керамической вакуумной оболочки, катодного и анодного узлов.



а

б

Рис. 5.2. Рентгеновская трубка.
а – схема; б – внешний вид рентгеновской трубки тип 0.32БПМ22-160[20]

Для работы рентгеновской трубки требуется два источника питания: один для питания нити накала (U_H), второй – для подачи высокого напряжения между катодом ($–U_B$) и анодом ($+U_B$). Для подвода питания в колбу впаиваются выводы из тугоплавкого металла. Из колбы откачан воздух.

Принцип работы рентгеновской трубки можно описать в следующем виде. На нить накала, обычно из вольфрамовой проволоки, подается напряжение, и она разогревается до высокой температуры (примерно до 2500°С). Нить накала явля-

[20] Рентгеновская трубка тип 0.32БПМ22-160, М.: NPO-PROMA.RU, 2014. Режим доступа: World Wide Web. URL: www.npo-proma.ru.

ется источником электронов. Разогрев способствует повышенному выделению электронов с нити, которые под влиянием приложенного между катодом и анодом высокого напряжения начинают с ускорением двигаться в сторону анода. Катод (катодный узел) имеет специальную конструкцию, в полость которой помещена нить накала. Одно из назначений этой конструкции – создать такую форму электрического поля, при которой обеспечивается необходимая фокусировка электронного пучка от нити накала к аноду.

Под влиянием электрического поля электроны направляются от катода к аноду и бомбардируют анод, на поверхности которого происходит их резкое торможение. При этом кинетическая энергия частиц $W_k = mV^2/2$, где m – масса частицы, а V– ее скорость, преобразуется частично в рентгеновские лучи, а также в тепло.

Вакуумная оболочка обеспечивает электронам возможность пролететь расстояние от катода до анода с ускорением (известно, что при наличии газа электроны сильно тормозятся его молекулами и поглощаются уже на расстоянии нескольких миллиметров).

Обычно анод делается из специальной меди, в которую вплавляется пластина из металла, о которую, собственно, и тормозятся электроны. Для рентгеновских трубок, используемых в досмотровых аппаратах, эта пластина (ее называют мишенью) делается из вольфрама. Он относится к наиболее тугоплавким металлам (температура плавления около 3400°С) и имеет большой атомный вес. Чем выше атомный вес мишени, тем сильнее тормозятся электроны.

Энергия тормозящихся на мишени электронов превращается либо в тепловую, нагревающую мишень, либо, в электромагнитную, которая и представляется рентгеновскими лучами. Тепловая энергия не используется и приводит к необходимости применять специальное принудительное охлаждение рентгеновской трубки при ее работе.

Экспериментально установлено, что интенсивность J рентгеновского излучения, возникающего при торможении электронов, прямо пропорциональна электрическому току /, протекающему через рентгеновскую трубку, атомному номеру материала мишени Z и квадрату ускоряющего напряжения U:

$$J = k \cdot I \cdot Z \cdot U^2$$

где k – коэффициент пропорциональности.

Коэффициент полезного действия (КПД)[211] рентгеновской трубки определяется как отношение этой интенсивности к подводимой электрической мощности. Так как последняя равна:

$$P_{эл} = I \cdot U,$$

то

[21] Коэффициент полезного действия – характеристика эффективности системы (устройства, машины) в отношении преобразования или передачи энергии. Определяется отношением ц полезно использованной энергии к суммарному количеству энергии, полученному системой. Из-за неизбежных потерь энергии на трение, на нагревание окружающих тел КПД всегда меньше единицы. Выражается КПД в виде правильной дроби или в процентах.

$$КПД = k \cdot Z \cdot U,$$

где k = (0,8 ± 0,2)·10^{-9}, $В^{-1}$ – коэффициент пропорциональности, учитывающий спектральный состав и расходимость пучка рентгеновских лучей.

Видно, что КПД рентгеновской трубки растет с увеличением напряжения между катодом и анодом, а также с увеличением атомного номера материала анода. Однако высоких значений КПД добиться все равно не удается (табл. 5.1), так как коэффициент пропорциональности имеет небольшую величину. Поэтому рентгеновские трубки часто конструируются на большую электрическую мощность (до нескольких кВт), чтобы получить рентгеновские пучки, подходящие для решения конкретной практической задачи.

Таблица 5.1

КПД рентгеновской трубки (материал мишени – вольфрам)

Ускоряющее напряжение, кВ	КПД, %
43	0,46
100	1,11
159	1,64
200	2,2
1000	9,0

Поскольку рентгеновская трубка имеет очень небольшой коэффициент полезного действия (несколько процентов), то большая часть энергии электронов, ударяющихся об анод, превращается в тепло. Поэтому рентгеновские трубки имеют конструкцию, позволяющую отводить тепло от анода. Медь выбирается в качестве тела анода, чтобы обеспечить хороший теплоотвод, так как она обладает высокой теплопроводностью. Чтобы повысить степень теплоотдачи анода, на его медную часть укрепляют радиатор. Чем «мощнее» излучение, тем сильнее нагревается анод. Для мощных рентгеновских трубок применяют масляное или воздушное принудительное охлаждение.

Кроме рентгеновских трубок, другими источниками рентгеновского излучения, которые используются в технике, являются радиоактивные изотопы и линейные ускорители электронов. Они, как правило, дают более жесткое рентгеновское излучение, чем рентгеновские трубки.

Образующееся рентгеновское излучение может быть двух видов:

– характеристическое излучение, несущее информацию об элементном составе вещества;

– тормозное (или непрерывное излучение), которое используется, в частности, в «просвечивающих» установках.

5.2.1. Тормозное рентгеновское излучение

Этот вид излучения имеет непрерывный спектр (рис.), ограниченный со стороны коротких длин волн значением:

$$\lambda_{\min} = \frac{12.4}{U},$$

где $\lambda_{\min}$ – так называемая, коротковолновая граница спектра, выраженная в Å; U – ускоряющее напряжение на рентгеновской трубке, выраженное в кВ.

Зависимость интенсивности тормозного рентгеновского излучения от длины волны (спектральная плотность) описывается выражением:

$$J(\lambda) = \frac{c^2}{\lambda_{\min}} \cdot C \cdot I \cdot Z \cdot \frac{\lambda - \lambda_{\min}}{\lambda^3}$$

где C – постоянный коэффициент; I – электрический ток, протекающий через рентгеновскую трубку.

Это выражение справедливо почти во всей области непрерывного спектра, за исключением непосредственной близости к коротковолновой границе $\lambda_{\min}$. Максимум распределения находится при:

$$\lambda_m = \frac{3}{2} \cdot \lambda_{\min}.$$

Механизм образования тормозного излучения следующий. Пучок электронов, обладающих большой кинетической энергией, падает на вещество мишени. Отдельный электрон, проходя вблизи ядра атома вещества (рис. 5.3), испытывает большое отрицательное ускорение (торможение) за счет действия кулоновских сил. Из электродинамики известно, что заряды, движущиеся с отрицательным ускорением (в данном случае электроны), должны излучать в окружающие пространство часть энергии в виде электромагнитных волн. Величина потери энергии в элементарном акте торможения зависит от множества параметров, в том числе от расстояния между рассеивающим центром и линией первоначального движения рассеивающейся частицы, заряда ядра вещества мишени и др. Для отдельного электрона может быть один акт торможения (образуется фотон с $\lambda_{\min}$, соответствующий коротковолновой границе спектра), а может быть целая серия актов торможения, при которой образуются рентгеновские кванты с длинами волн больше $\lambda_{\min}$ (длинноволновой границы спектра не существует) [22].

При повышении напряжения на рентгеновской трубке повышается и энергия электронов. Поэтому уменьшается значение коротковолновой границы $\lambda_{\min}$ (рис. 5.4). Максимум распределения $\lambda_{\min}$ также сдвигается в сторону более коротких длин волн. Говорят, что такое излучение становится более «жестким». У него повышается проникающая способность.

[22] Кошелев В.Е. Рентгеновские методы и технические средства таможенного контроля: Учебн.пособие. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2003. – 248 с.

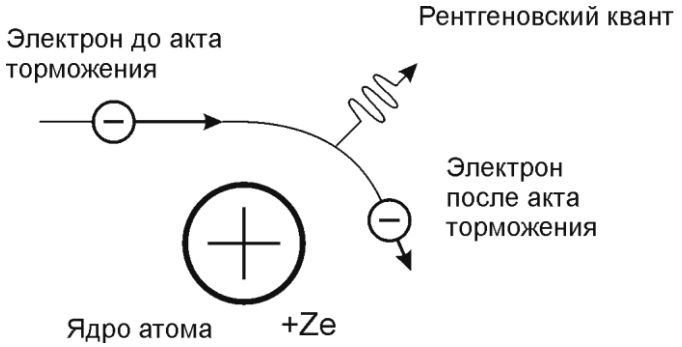


Рис. 5.3. Механизм образования непрерывного спектра рентгеновского излучения

При повышении анодного тока рентгеновской трубки энергия электронов не увеличивается, но увеличивается их число (рис. 5.5). Соответственно увеличивается и интенсивность рентгеновских лучей. «Жесткость» излучения при этом не меняется.

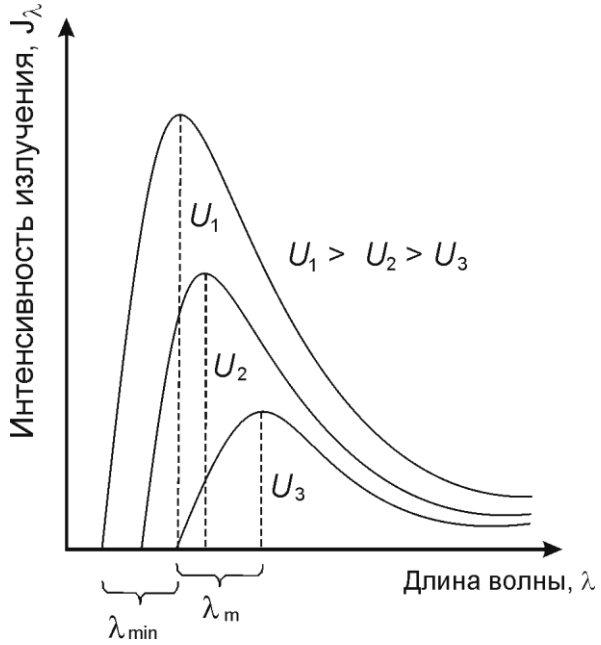


Рис. 5.4. Зависимость непрерывного спектра рентгеновского излучения от рабочего напряжения рентгеновской трубки

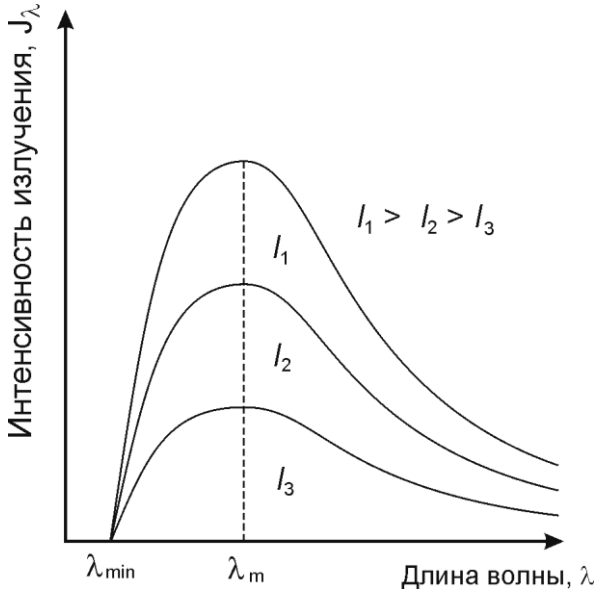


Рис. 5.5. Зависимость непрерывного спектра рентгеновского излучения от тока через рентгеновскую трубку

5.2.2. Характеристический рентгеновский спектр

При образовании характеристического рентгеновского излучения работает совершенно другой механизм. Этот спектр имеет линейчатую структуру, *характеризующую* химический состав материала анода рентгеновской трубки. Отсюда и возникло его название.

Характеристический спектр образуется за счет взаимодействия бомбардирующих мишень электронов с электронами, вращающимися на оболочках атомов вещества мишени. Если энергия падающих электронов достаточно велика для того, чтобы выбить электрон с внутренней оболочки атома, то после этого в атоме произойдет целый каскад переходов электронов с одной оболочки на другую. При переходе с уровней с большей энергией на уровни с меньшей энергией происходит излучение рентгеновского кванта, имеющего строго определенную длину волны (энергию). Такие кванты и составляют характеристический линейчатый спектр (рис. 5.6).

Структура характеристических спектров различных элементов одна и та же, так как она обусловлена строением электронных оболочек атомов, которые заполняются по единым законам. Различие наблюдается только в длинах волн (или энергиях) спектральных линий. При увеличении атомного номера Z элемента происходит лишь смещение спектров в область высоких энергий, то есть коротких длин волн.

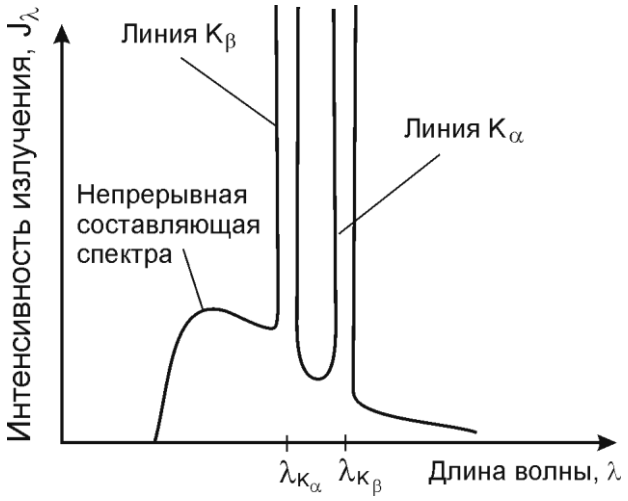


Рис. 5.6. Характеристический спектр рентгеновского излучения

Закономерность образования спектральных линий характеристического излучения была обнаружена английским ученым Г.Мозли[23] в 1913 году:

[23] Ге́нри Гвин Дже́фрис Мо́зли – Henry Moseley (1887, г.Уэймут, Англия – 1915, г.Галлиполи, Турция) – английский физик, один из основоположников рентгеновской спектроскопии. Учился в Итоне и Тринити-колледже Оксфордского университета. В 1910-1914 гг. работал в лаборатории Э.Резерфорда в Манчестерском университете, а затем в Оксфордском университете. В 1913 году в серии блестящих экспериментов установил зависимость между частотой спектральных линий характеристического рентгеновского излучения и атомным номером излучающего элемента. Согласно закону Мозли, «квадратный корень из частоты соответственных линий в рентгеновских спектрах различных элементов увеличивается при переходе от данного элемента к следующему на одну и ту же величину». Это фундаментальное открытие имело огромное значение для установления физического смысла периодической системы элементов и атомного номера. С началом Первой мировой войны Мозли был направлен на фронт инженером и погиб в Галлиполи (ныне Гелиболу, Турция) 10.08.1915.

$$\nu = c \cdot R \cdot (Z - S)^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right),$$

где ν – частота линии спектра ($\lambda \cdot \nu = c$); R= 10973731 м$^{-1}$ – постоянная Ридберга; S – экранирующая постоянная (она учитывает, в какой мере притяжение электрона к ядру в атоме ослаблено отталкивающим действием остальных электронов); S = 1 для К-серии, S = 7,4 и т.д.; n_1, n_2 – главные квантовые числа уровней, между которыми осуществляется переход электрона, сопровождающийся излучением данной линии спектра.

Закон Мозли позволяет рассчитывать длины волн линий характеристических спектров любых элементов. По результатам измерения длин волн можно определить атомный номер любого элемента, в том числе и тех элементов, которые еще не открыты. Исследование рентгеновских спектров позволило уточнить положение некоторых элементов в таблице Д.И.Менделеева.

Таким образом, характеристическое излучение присуще атомам химических элементов. Спектр не зависит от того, является ли данный элемент чистым или входит в состав какой-либо смеси или соединения.

Так как электронные оболочки каждого элемента имеют индивидуальное строение, присущее только этому элементу, то характеристическое излучение от сложных многоэлементных материалов будет содержать все их спектры, причем, чем интенсивнее линии в спектре, тем больше данного химического элемента содержится в материале. На этом факте основан принцип действия рентгеноспектральных приборов для неразрушающего химического анализа сложных веществ.

В рентгеновской трубке характеристический спектр возникает всегда на фоне непрерывного тормозного излучения. При плавном повышении ускоряющего напряжения на рентгеновской трубке вначале образуется непрерывный спектр. Затем на фоне непрерывного спектра возникают острые максимумы характеристического излучения. С увеличением напряжения интенсивность этих пиков возрастает, но их положение не меняется, зато меняется положение максимума непрерывного спектра и его коротковолновой границы, а также увеличивается его интенсивность. Увеличение проникающей способности излучения связано именно с непрерывным спектром. «Жесткость» излучения обусловлена именно им. При напряжениях просвечивания в таможенных рентгеновских аппаратах вклад характеристического спектра несущественен.

5.3. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом

Любой рентгеновский источник испускает сразу множество рентгеновских квантов, которые движутся в одном и том же или в близких направлениях. Такие кванты образуют пучок рентгеновских лучей.

При прохождении сквозь вещество пучок рентгеновских лучей ослабляется. То есть количество квантов рентгеновского излучения в прошедшем пучке становится меньше по сравнению с количеством квантов в исходном (падающем). Ме-

ханизмы взаимодействия отдельного рентгеновского кванта с элементарными частицами, из которых построено вещество, сложны и многообразны. Обычно для рентгеновского излучения, интересующего нас диапазона рассматривают следующие механизмы:

1. Фотоэффект.
2. Неупругое рассеяние (или Комптон-эффект).
3. Упругое рассеяние.

Еще один теоретически важный механизм взаимодействия электромагнитного излучения с веществом – образование электронно-позитронных пар – играет роль только для жесткого рентгеновского излучения, так как имеет пороговую энергию кванта:

$$E = 2m_e c^2 = 1{,}022 \text{ МэВ}$$

где m_e – масса покоя электрона.

Фотоэффект

При *фотоэффекте* (рис. 5.7) рентгеновский квант поглощается атомом вещества, а из атома вылетает фотоэлектрон. После этого на его место может перейти другой электрон с верхней оболочки. Этот переход сопровождается излучением кванта характеристического спектра поглощающего вещества. Такое характеристическое излучение называют флуоресцентным. Этим названием подчеркивается, что характеристические лучи возникли не при бомбардировке вещества электронами, а при его облучении фотонами рентгеновского спектра. Явление фотоэффекта преобладает для тяжелых атомов и с физической точки зрения означает взаимодействие рентгеновского излучения с электронами, находящимися на внутренних оболочках атома.

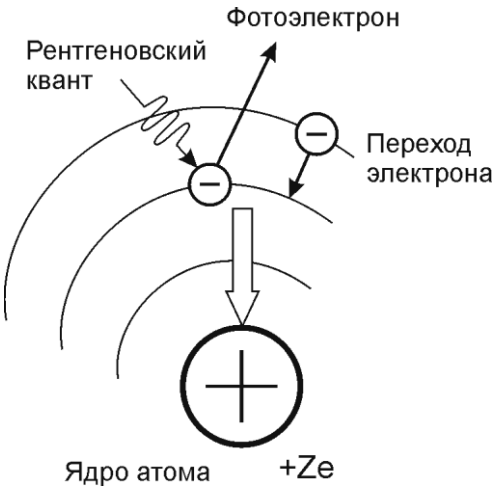


Рис. 5.7. Схема механизма поглощения рентгеновского кванта при фотоэффекте

Комптон-эффект

Взаимодействие падающих рентгеновских квантов с электронами вещества, которые могут свободно перемещаться между различными атомами, происходит по механизму Комптон-эффекта (рис. 5.8). Такое взаимодействие, называемое также *неупругим* или *некогерентным рассеянием*, происходит следующим образом. Падающий квант сталкивается с электроном и передает ему часть энергии (и импульса), после чего сам движется в новом направлении. В результате длина волны рентгеновского кванта увеличивается (энергия уменьшается), и он меняет направление своего движения (то есть удаляется из направленного падающего пучка рентгеновских лучей). Неупругое рассеяние наблюдается преимущественно при прохождении излучения через вещества, содержащие легкие атомы.

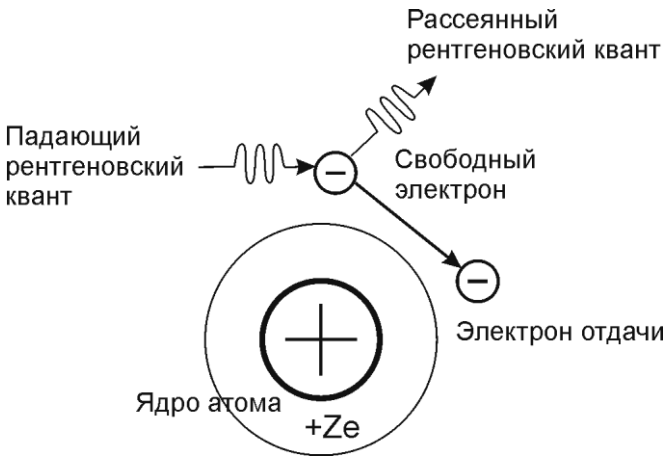


Рис.5.8. Схема механизма рассеяния рентгеновского кванта при Комптон-эффекте (неупругое рассеяние)

Упругое рассеяние

Кроме неупругого рассеяния существует еще один тип рассеяния – упругое. Оно не приводит к изменению энергии фотонов, но также вызывает изменение направления их движения. В отличие от фотоэффекта, оно происходит при воздействии мягкого рентгеновского излучения с электронами атома, то есть тогда когда энергии кванта не хватает для того, чтобы выбить электрон со своей орбиты. При этом электроны атомов вещества, под действием переменного электрического поля Рентгеновских квантов, получают ускорение и сами начинают излучать электромагнитные волны той же частоты, что и первичное излучение. Эти волны и представляют собой упруго (или когерентно) рассеянное излучение.

При упругом рассеянии излучение от электронов в определенных направлениях имеет одну и ту же фазу волны. Такие волны будут складываться, образуя так называемые «дифракционные максимумы». Интенсивности и направления распространения дифракционных максимумов зависят от кристаллической структуры вещества, которое рассеивает излучение. На этом явлении основаны методы рентгеноструктурного анализа, который применяется для идентификации ве-

ществ и химических соединений. Специальная аппаратура, предназначенная для проведения исследований подобного типа, имеется в таможенных экспертных учреждениях.

Итак, рассеяние излучения в веществе, в котором присутствуют связанные[24] и свободные[25] электроны, носит двойственный характер: одновременно наблюдается упругое и неупругое рассеяния. В определенных условиях один из этих процессов значительно преобладает над другим: для тяжелых атомов и мягкого излучения характерно упругое рассеяние, для легких атомов и жесткого излучения – неупругое. Эта закономерность используется в методах определения характеристик веществ по рассеянию рентгеновских пучков.

Таким образом, в результате взаимодействия рентгеновского излучения с веществом происходит не только его поглощение, но также и его рассеяние (рис. 5.9).

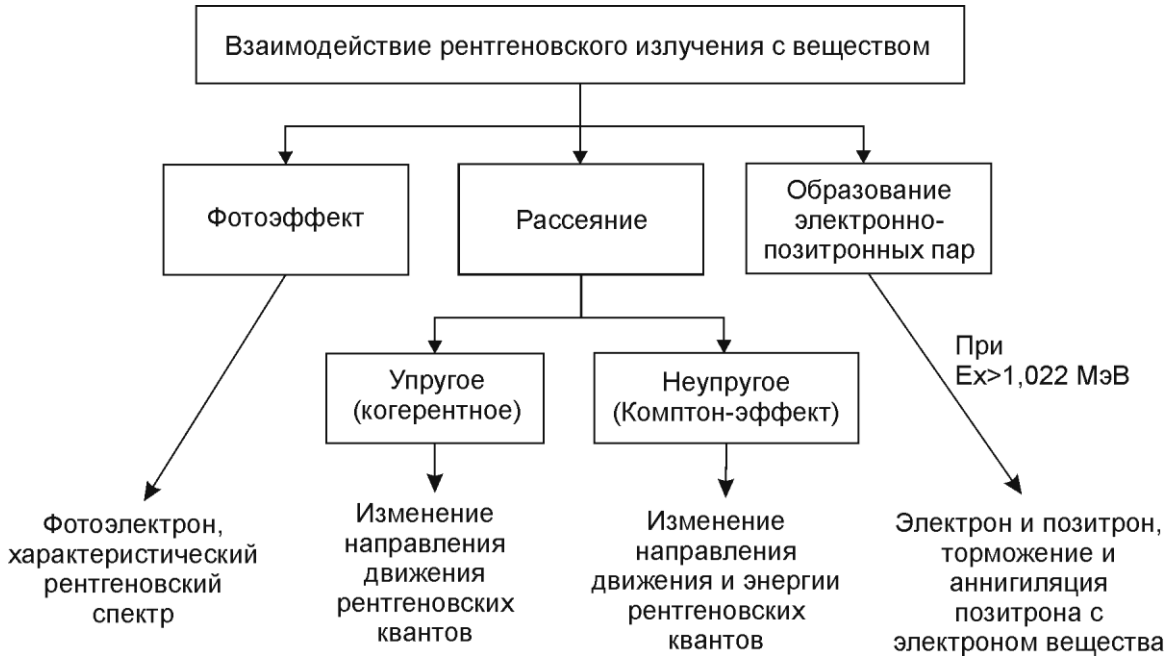


Рис. 5.9. Механизмы взаимодействия рентгеновского излучения с веществом

Такие процессы как образование флуоресцентного излучения, упругое и неупругое рассеяние приводят к тому, что вокруг облучаемого объекта образуется непрерывное поле излучения. Объект как бы сам становится источником излучения (рис. 5.10), причем излучает «во все стороны». Поэтому просвечивание объектов рентгеновскими лучами требует применения специальной биологической

[24] Связанные электроны – в твердом кристаллическом веществе, электроны, остающиеся в электронных оболочках атома и составляющие вместе с ядром кристаллическую структуру вещества.
[25] Свободные (или слабо связанные) электроны – в твердом кристаллическом веществе, электроны, имеющие незначительное взаимодействие с кристаллическим остовом ядер и других электронных оболочек и локализующиеся поэтому во всем объеме вещества.

защиты, устанавливаемой со всех сторон объекта, в силу того, что наперед неизвестны ни его внутренняя структура, ни химический состав.

Наличие разных механизмов взаимодействия рентгеновских квантов с веществом приводит к тому, что в одном и том же веществе излучение различной длины волны поглощается в разной степени.

«Жесткая» составляющая рентгеновского спектра отличается высокой проникающей способностью, особенно для легких органических веществ. Так как в тормозном спектре длинноволновой границы не существует, то форма спектральной кривой в этой области зависит от того, через какое вещество прошло излучение (рис. 5.10). При прохождении через неорганические вещества, например металлы, спектральная кривая со стороны больших длин волн резко падает вниз. При прохождении через органику она снижается значительно медленнее.

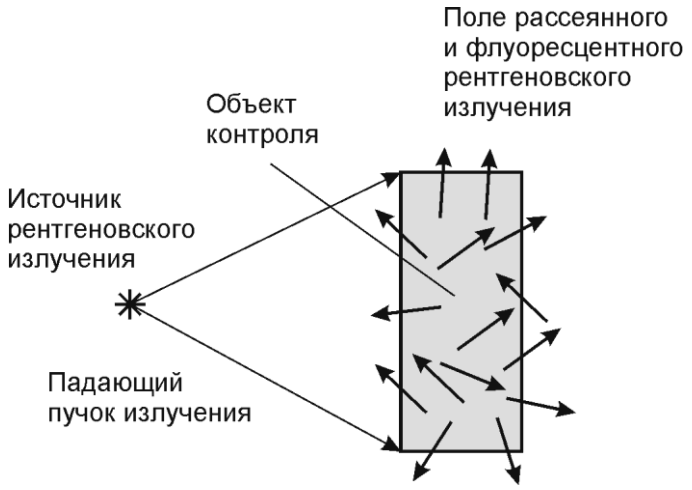


Рис. 5.10. Объект просвечивания – источник непрерывного поля рентгеновского излучения

То есть имеет место зависимость коэффициента ослабления рентгеновских лучей, как от атомного номера элемента, так и от длины волны рентгеновского излучения. Это явление называется «фильтрацией излучения». Оно используется для определения характеристик просвечиваемого вещества.

5.4. Поглощение рентгеновских лучей. Образование теневых картин

Рентгеновские лучи поглощаются в той или иной степени всеми веществами, через которые они проходят. Интенсивность излучения (или количество квантов), поглощенная в веществе, зависит от толщины поглощающего слоя, природы вещества и длины волны излучения.

Чем толще слой вещества и чем больше его плотность, тем сильнее оно поглощает рентгеновские лучи. На экране рентгеновского аппарата такое вещество будет выглядеть более темным.

Разнородные по строению предметы, состоящие из различных веществ или с различной их толщиной, будут давать на экране аппарата теневые изображения (картины), воспроизводящие их внутреннее строение.

Для количественного описания поглощения рентгеновских лучей в веществе вводят понятие линейного коэффициента ослабления (рис. 5.11).

Если до входа в поглощающее вещество рентгеновский пучок имеет интенсивность I_0, то после прохождения слоя вещества толщиной x его интенсивность можно записать как:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}$$

где μ – линейный коэффициент ослабления, выраженный обычно в см$^{-1}$.

Иными словами μ характеризует относительное уменьшение интенсивности пучка на пути длиной в 1 см для данного вещества.

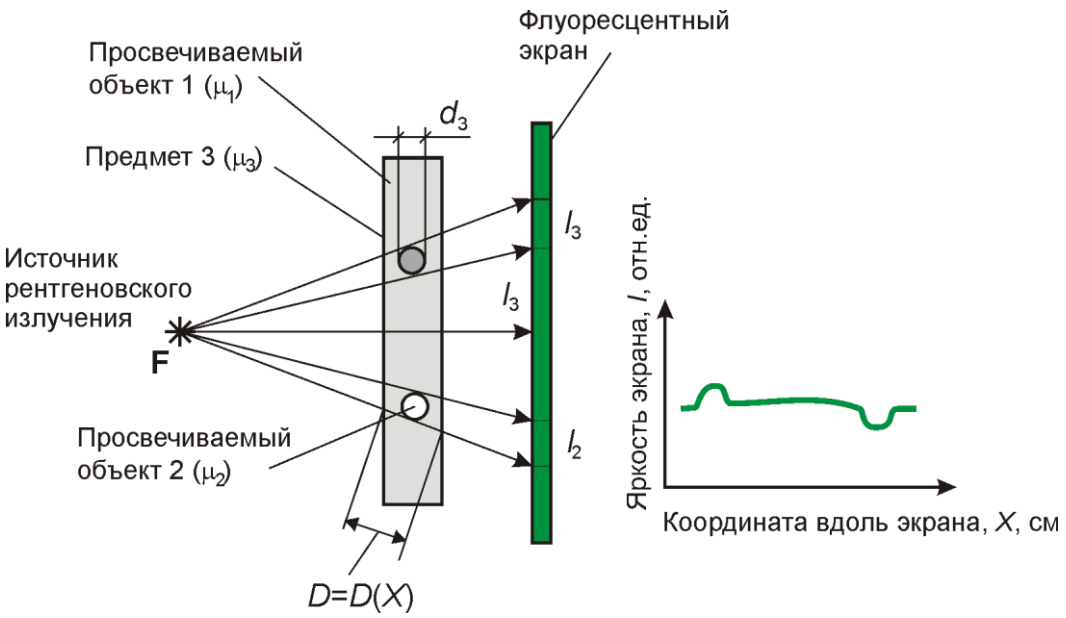


Рис. 5.11. К расчету ослабления интенсивности рентгеновского излучения веществом

На рис. 5.11 можно видеть, что интенсивность излучения, а значит и яркость свечения экрана, связана с разницей в линейных коэффициентах ослабления рентгеновских лучей веществ, которые встречаются на пути рентгеновского пучка.

Если μ_1-μ_2>0, то есть предмет 2 имеет меньший коэффициент линейного ослабления, чем объект 1, то соответствующий участок на экране будет светиться ярче (I_1>I_2).

Если μ_1-μ_2<0, то есть предмет 3 имеет больший коэффициент линейного ослабления, чем объект 1, то соответствующий участок на экране будет выглядеть более темным (I_3<I_1).

Контрастность изображения предмета, которая определяется как отношение интенсивностей лучей, прошедших предмет (например, предмет 2) и объект 1 и только объект 1, может быть оценена как:

$$K = \frac{I_2}{I_1} = \frac{I_0 \cdot e^{-[\mu_1 \cdot D - (\mu_1 - \mu_2) \cdot d_2]}}{I_0 \cdot e^{-\mu_1 D}} = e^{(\mu_1 - \mu_2) \cdot d_2}$$

Чем выше контрастность изображения предмета, тем лучше он виден на экране. Как видно из формулы, чем больше размер предмета (d_2) и чем больше разница в коэффициентах линейного ослабления предмета и объекта (μ_1-μ_2), тем выше контрастности его изображения.

Из формулы для коэффициента линейного ослабления рентгеновских лучей нетрудно подсчитать толщину слоя вещества Δ, в котором интенсивность пучка уменьшается в два раза (так называемый слой половинного ослабления):

$$\Delta = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0{,}692}{\mu}$$

Если слой половинного ослабления известен, например, определен экспериментально методом подбора, то с помощью этого соотношения может быть вычислен коэффициент μ.

Для чистых веществ значения слоя половинного ослабления могут значительно отличаться друг от друга. Например, для ослабления вдвое интенсивности излучения с длиной волны λ = 0,25 Å требуется слой алюминия толщиной 7 мм, а слой свинца – толщиной всего 0,075 мм. Соответствующие толщины для излучения с длиной волны 0,01 Å равны 45 и 9 мм. Эти данные свидетельствуют о том, что свинец является значительно более эффективным поглотителем излучения (особенно более мягкого), чем алюминий. Однако при больших энергиях рентгеновского излучения свинцовая защита становится менее действенной.

Поскольку ослабление излучения обусловлено явлениями фотоэффекта, неупругого рассеяния и образования электронно-позитронных пар, линейный коэффициент ослабления можно представить в виде суммы трех коэффициентов, ответственных за каждое из них по отдельности:

$$\mu = \tau + \sigma + \pi$$

где τ – относится к фотоэффекту; σ – к неупругому рассеянию; π – к образованию пар.

Линейный коэффициент ослабления зависит от длины волны излучения и рода вещества, через которое оно проходит.

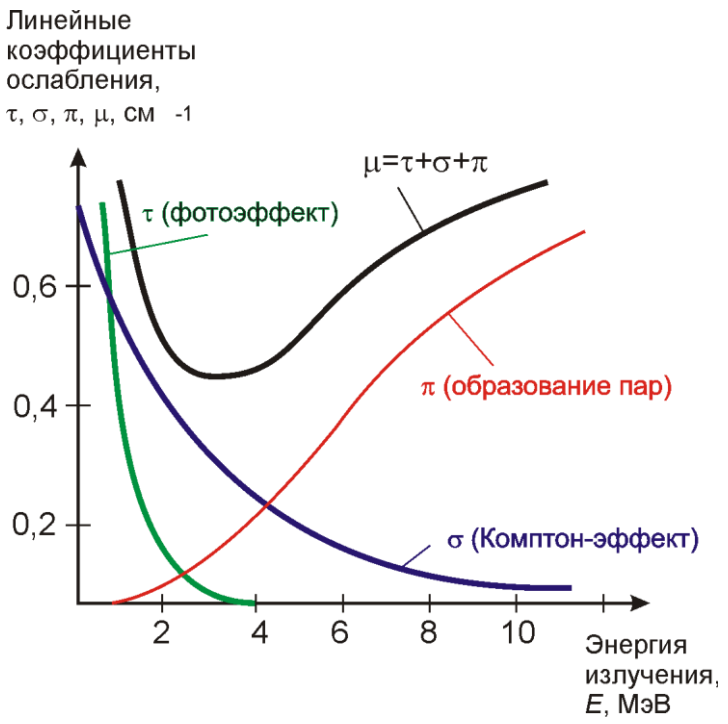


Рис. 5.12. Зависимость линейного коэффициента ослабления рентгеновского излучения μ от энергии излучения для свинца

Линейные коэффициенты фотоэлектрического поглощения (τ), неупругого рассеяния (σ) и поглощения из-за эффекта образования пар (π) в разной степени зависят от энергии квантов и рода поглощающего вещества. С ростом энергии квантов коэффициенты τ и σ уменьшаются (τ особенно сильно), а коэффициент π возрастает. При увеличении энергии излучения линейный коэффициент ослабления вначале падает до некоторого минимума, а затем начинает возрастать (рис. 5.12). В области минимума данное вещество обладает наибольшей прозрачностью для излучения. Например, для свинца значение минимума равно 2,5 МэВ, для железа – 8 МэВ. Именно поэтому в рентгеновских досмотровых комплексах, где энергия излучения достигает более высоких величин, свинцовая защита не так эффективна, как для «обычных» просвечивающих аппаратов.

Поделив μ на ρ (плотность вещества), получим так называемый массовый коэффициент ослабления, который характеризует ослабление излучения единицей массы вещества:

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\tau}{\rho} + \frac{\sigma}{\rho} + \frac{\pi}{\rho} = \tau_m + \sigma_m + \pi_m$$

где τ_m, σ_m, π_m – массовые коэффициенты фотоэлектрического поглощения, неупругого рассеяния и поглощения из-за эффекта образования электронно-позитронных пар соответственно.

Массовые коэффициенты ослабления не зависят от агрегатного состояния вещества[26]. Поэтому в справочной литературе обычно приводят именно их значения (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Массовые коэффициенты ослабления μ для некоторых веществ при различных энергиях излучения

Энергия излучения, кэВ	Массовые коэффициенты ослабления, см2/г			
	алюминий	медь	молибден	свинец
5	195,5	190,2	580,1	791,2
10	26,39	225,1	86,31	132,9
20	3,386	32,99	83,67	85,20
40	0.562	4,838	12,83	14,20
60	0,279	1,547	4,279	4,983
80	0,203	0,751	1,958	2,364
100	0,172	0,453	1,097	5,596
300	0,105	0,126	–	0,624

Зная массовый коэффициент поглощения для данного вещества и его плотность (в жидком, газообразном или твердом состоянии) можно вычислить линейный коэффициент ослабления рентгеновских лучей. Ослабление излучения в сложном, многоэлементном веществе зависит от того, какие атомы и в каком количестве входят в состав этого вещества, поэтому массовый коэффициент ослабления μ_m любого сложного вещества (смеси, химического соединения, сплава) можно оценить по формуле:

$$\frac{\mu}{\rho} = b_1 \frac{\mu_1}{\rho_1} + b_2 \frac{\mu_2}{\rho_2} + b_3 \frac{\mu_3}{\rho_3} + \ldots,$$

где b_1, b_2, b_3,... – массовые доли[27] отдельных компонентов вещества; μ_1/ρ_1; μ_2/ρ_2; μ_3/ρ_3 … их массовые коэффициенты ослабления.

Контрольные вопросы по главе 5

1. Рентгеновское излучение: определение, свойства.

[26] Агрегатное состояние вещества – состояние одного и того же вещества, переходы между которыми сопровождаются скачкообразным изменением его свободной энергии, энтропии, плотности и др. физических свойств. Все вещества (за некоторым исключением) могут существовать в трех агрегатных состояниях – твердом, жидком и газообразном. Так, вода при нормальном давлении р = 760 мм рт.ст. и при температуре Т = 0°С кристаллизуется в лед, а при 100°С кипит и превращается в пар. Четвертым агрегатным состоянием вещества часто считают плазму.

[27] *Массовая доля* – безразмерная физическая величина, характеризующая концентрацию и равная отношению массы компонента смеси к массе смеси. Массовая доля выражается в долях единицы, например сотых (проценты), тысячных (промилле), миллионных и обозначается соответственно %, ‰, млн.$^{-1}$.

2. Получение рентгеновского излучения с использованием рентгеновской трубки. Устройство рентгеновской трубки.
3. Тормозное рентгеновское излучение: механизм образования.
4. Характеристический рентгеновский спектр. Закон Г.Мозли.
5. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом (фотоэффект, Комптон-эффект, упругое рассеяние).
6. Поглощение рентгеновских лучей. Образование теневых картин.

Глава 6. Современная досмотровая рентгеновская техника

6.1. Классификация досмотровой рентгеновской техники

Досмотровая рентгеновская техника как вид аппаратуры интроскопии предназначена для получения визуальной информации о внутреннем устройстве и содержимом контролируемого объекта таможенного контроля.

Целями таможенной интроскопии объектов являются: установление принадлежности находящихся в них предметов к определенным группам, видам, классам, типам, выявление в контролируемых объектах характерных конструктивных признаков тайников или сокрытых вложений, а также предметов, подозрительных на определенные конкретные виды предметов таможенных правонарушений. В процессе данного таможенного действия оперативный работник, анализируя на экране аппаратуры интроскопии визуальное изображение внутреннего строения контролируемого объекта, по совокупности характерных индивидуальных признаков и сохранившимся в его памяти мысленным образам узнает назначение и принадлежность предметов. Самым важным и сложным в данном действии является знание совокупности характерных признаков и способов устройства тайников и внешнего вида предметов таможенных правонарушений и умение выявлять их на фоне значительного множества иных маскирующих элементов (нелогичных пустот, преград, уплотнений и др.).

Досмотровая рентгеновская техника (далее – ДРТ) – это первый и основной класс технических средств таможенного контроля, представляющий собой комплекс рентгеновской аппаратуры, специально предназначенный для визуального таможенного контроля ручной клади и багажа пассажиров, предметов отдельно следующего багажа, среднегабаритных грузов и международных почтовых отправлений без их вскрытия с целью выявления в них предметов, материалов и веществ, запрещённых к ввозу (вывозу) или не соответствующих декларированному содержанию.

В зависимости от видов указанных в определении объектов контроля, перемещаемых через таможенную границу, принятой технологии таможенного контроля на конкретном участке и условий, в которых он осуществляется, среди ДРТ выделяют установки:

– контроля содержимого ручной клади и багажа пассажиров и транспортных служащих;

– углублённого контроля отдельных предметов ручной клади и багажа пассажиров, транспортных служащих и грузовых упаковок;

– контроля содержимого среднегабаритных багажа и грузов;

– инспекционно-досмотровые комплексы для контроля транспортных средств и крупногабаритных грузов (контейнеры, вагоны, цистерны и пр.);

– контроля содержимого международных почтовых отправлений;

– контроля физических лиц.

Исходя из условий, в которых осуществляется таможенный контроль, можно выделить следующие два их вида: стационарные и оперативные.

Стационарные условия – это условия, когда таможенный контроль осуществляется в специально выделенных для этих целей помещениях, постоянно или временно принадлежащих таможенной службе, где стационарно установлены необходимые для контроля технические средства, применительно к конкретным видам объектов таможенного контроля и установленных для них технологий контроля. К таким помещениям относятся: пассажирские досмотровые залы аэро- и автовокзалов, железнодорожных станций, морских и речных вокзалов, помещения складов, пакгаузов, закрытых грузовых площадок, почтамтов, а также специально построенные таможенные инспекционно-досмотровые боксы.

Оперативные условия – это условия, когда таможенный контроль осуществляется в местах, где стационарная установка в них технических средств таможенного контроля невозможна или нецелесообразна. Например, в связи с малыми объёмами досмотровых операций или ввиду их нерегулярности и эпизодичности в этих местах.

По способам просвечивания объектов контроля и формирования изображений различают проекционные и сканирующие установки.

В *проекционных* установках рентгеновскому облучению подвергается сразу весь объект. Прошедшее через объект излучение преобразуется в теневую картинку на специальном экране. В некоторых установках этого типа первичное изображение с помощью оптико-электронных преобразователей преобразуется в цифровое изображение и после соответствующей обработки выдается на монитор компьютера.

В *сканирующих* установках последовательно просвечиваются отдельные участки объекта. Итоговое изображение формируется путем «сборки» результатов просвечивания отдельных участков. В сканирующих установках необходим механизм перемещения объекта вдоль источника рентгеновского излучения либо перемещения рентгеновского луча по поверхности объекта.

В проекционных и сканирующих установках используются разные по форме пучки облучающих рентгеновских лучей, разные способы и алгоритмы формирования изображений.

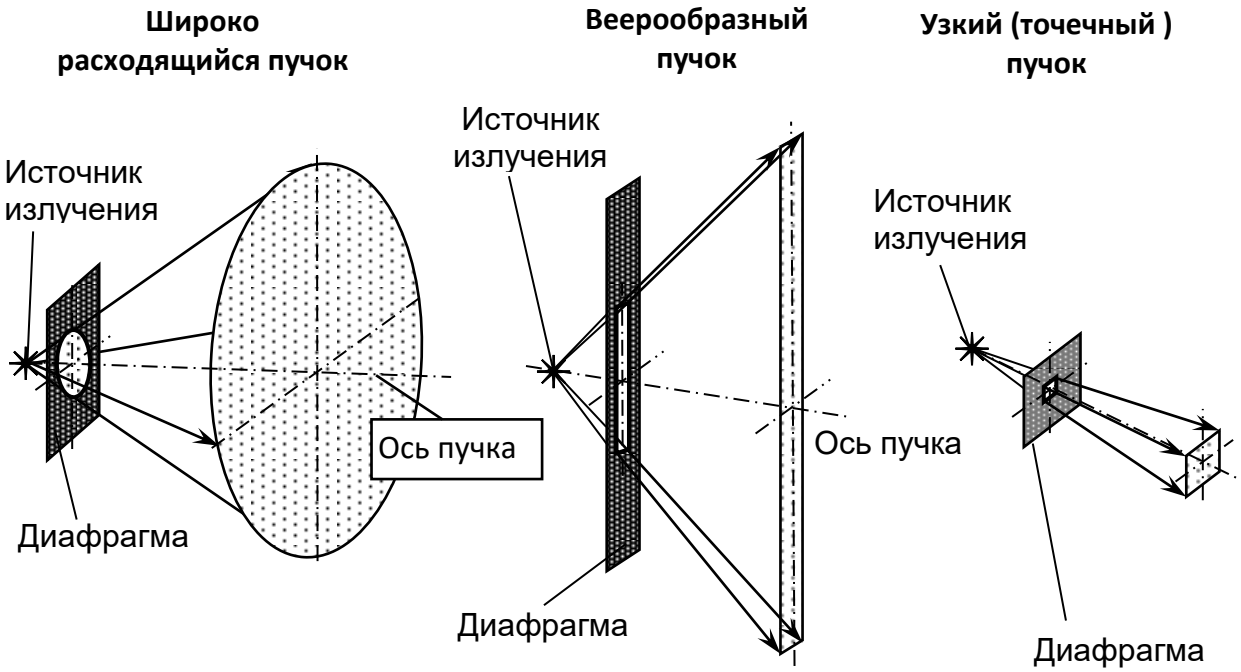


Рис. 6.1. Формы рабочих пучков рентгеновских лучей, применяемых в различных методах просвечивания объектов

Для получения необходимых форм облучающих пучков лучей между источником излучения и объектом помещается диафрагма (коллиматор). На рис. 6.1 показаны формы рентгеновских лучей, используемые для облучения (просвечивания) объекта контроля в досмотровых установках. В проекционных установках используется широкий пучок, в сканирующих – веерообразный (плоский) или точечный.

6.2. Рентгеновские аппараты сканирующего типа

В рентгеновских установках, содержащих конвейерный транспортер, процесс формирования электронного образа изображения объекта на дисплее ЭВМ предполагает последовательное просвечивание отдельных участков исследуемого объекта с последующей «сборкой» на экране изображения объекта в целом, поэтому такие досмотровые установки называют *сканирующими*.

Как правило, эти установки работают там, где оформляются большие пассажирские и грузовые потоки: в аэропортах, автомобильных пунктах пропуска, на складах временного хранения и т.д. Кроме таможенных нужд, они могут использоваться в правительственных учреждениях, службах безопасности и др. Существует целая серия таких аппаратов с различными типоразмерами досмотровых тоннелей (от десятков сантиметров до 1–2 метров), предназначенных специально для контроля объектов различных габаритов и веса: от почтовых отправлений и носимого багажа пассажиров до крупных ящиков.

В установках этого типа контролируемый объект устанавливается на ленту движущегося конвейера. С его помощью объект контроля перемещается через досмотровый тоннель, где «просвечивается» рентгеновскими лучами.

Рис. 6.2 иллюстрирует принцип работы установок сканирующего типа.

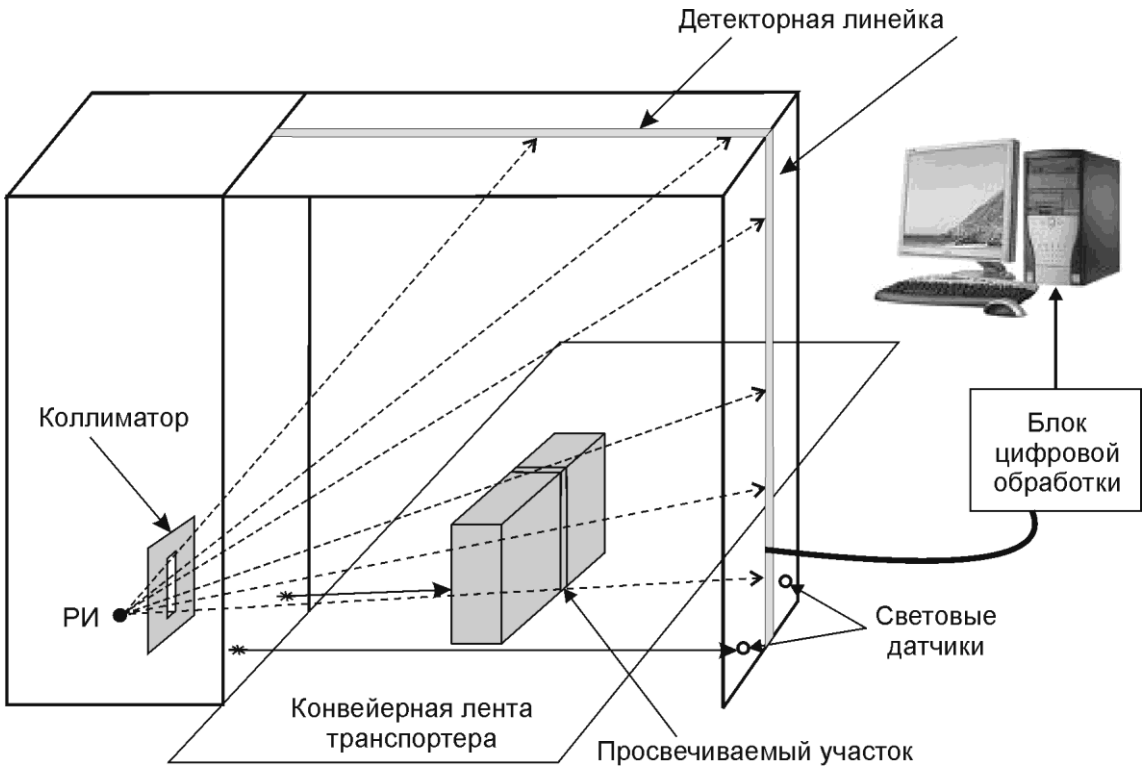


Рис. 6.2. Принцип работы рентгеновской установки сканирующего типа

На рис. 6.3 приведена блок-схема рентгеновской установки сканирующего типа.

В число основных конструктивных узлов установки входят: рентгеновский излучатель (РИ) на основе рентгеновской трубки, конвейерная лента для перемещения объекта контроля, досмотровый тоннель, инфракрасные датчики включения и выключения РИ, детекторная линейка для регистрации прошедшего через объект излучения, блок цифровой обработки сигналов на основе ЭВМ.

Генератор рентгеновского излучения включается, когда установленный на конвейерную ленту и движущийся вместе с ней объект контроля пересекает линию первого датчика (датчика включения).

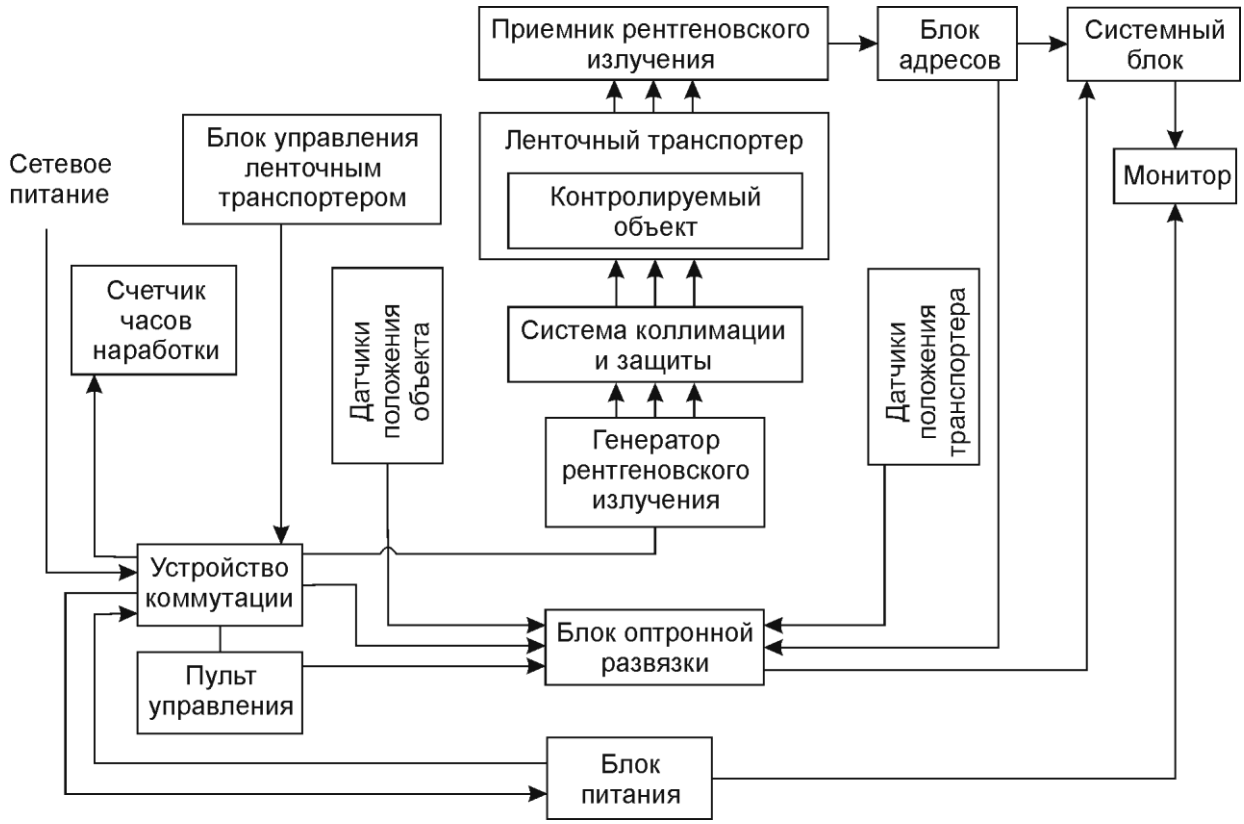


Рис. 6.3. Блок-схема рентгеновской установки сканирующего типа

Для формирования РИ направленного рентгеновского пучка, узкого в горизонтальной плоскости и веерной формы в вертикальной плоскости (угол около 60°), используется система коллимации и защиты.

«Мягкая» и «жесткая» составляющие рентгеновского пучка, прошедшие сквозь объект контроля, попадают на детекторную линейку, состоящую из миниатюрных элементов – фотодиодов и электронных усилителей. Каждый элемент детекторной линейки преобразует поступающее на него рентгеновское излучение в электрический сигнал. Амплитуда сигнала на выходе отдельного детектора тем выше, чем меньше было поглощение рентгеновского излучения, прошедшего через соответствующий участок объекта и попавшего на соответствующий элемент-детектор. Через фиксированные короткие промежутки времени эти сигналы поступают в блок адресов, где нормируются и передаются в системный блок для дальнейшей обработки и формирования изображения.

Управление работой аппарата осуществляется системным блоком через блок адресов и блок оптронной развязки. Сигналы от клавиатуры, пульта управления и датчиков положения контролируемого объекта, установленного на ленточный транспортер, через блок оптронной развязки и блок адресов поступают в системный блок. Обработанный и сформированный системным блоком сигнал изображения поступает на монитор, на экране которого появляется изображение контролируемого объекта.

Генератор РИ отключается после пересечения объектом контроля линии второго датчика.

На экране монитора может иметься информационная строка, на которой отображаются дата и время проведения досмотра, а также число объектов, прошедших досмотр. В графе “режим” отображается выбранный тип представления изображения (черно-белое, цветное, осветление и т.д. в соответствии с командой, выбранной на клавиатуре пульта управления).

Поступающая от приемников рентгеновского излучения информация записывается на жестком диске системного блока. Это позволяет неограниченно долго рассматривать изображение контролируемого объекта на экране монитора даже после выключения рентгеновского излучения, а в случае необходимости вызывать уже прошедшее изображение для повторного рассмотрения.

Подключение интроскопа к сети питания, контроль времени наработки, распределение питающих напряжений и поступающих команд управления осуществляется с помощью устройства коммутации. Ресурс работы устройства контролируется счетчиком часов наработки. Для питания низковольтных цепей стабилизированным напряжением служит блок питания.

В разных аппаратах может быть установлено различное количество детекторов. Все зависит от размера досмотрового тоннеля и заданной разрешающей способности аппарата (возможности различать мелкие детали в объекте). Например, в аппарате «HI-SCAN 5170» насчитывается 640 отдельных элементов-детекторов.

В процессе движения объекта контроля с помощью детекторной линейки периодически регистрируется интенсивность прошедшего излучения в вертикальной плоскости, т.е. делаются «снимки» множества вертикальных «разрезов» объекта. Цифровой блок обработки преобразует напряжение на выходе каждого детекторного элемента в код, величина которого зависит от интенсивности попавшего на детектор излучения.

После фиксации детекторной линейкой очередного вертикального «среза» на экране засвечивается вертикальная полоса пикселей (участков экрана), при этом яркость свечения отдельных пикселей определяется кодами, полученными для выходных напряжений соответствующих детекторных элементов. Изображение объекта получается в результате соединения на дисплее компьютера изображений отдельных «разрезов» в одну цельную картинку. Именно поэтому любой, кто наблюдал за формированием изображения на установке конвейерного типа, мог заметить, что изображение содержимого объекта контроля появляется на дисплее не сразу, а по частям. Развертка в горизонтальном направлении обеспечивается за счет перемещения объекта на транспортере по тоннелю. Число горизонтальных «разрезов» зависит от скорости движения и протяженности объекта контроля.

Детекторная линейка является важнейшим элементом рентгеновских установок сканирующего типа (рис. 6.4). Ее характеристики во многом определяют характеристики всей установки. Основная функция детекторной линейки - преобразовать рентгеновские лучи, не воспринимаемые органами чувств человека, в электрические сигналы, по которым на экране монитора компьютера можно создать теневую картинку объекта просвечивания.

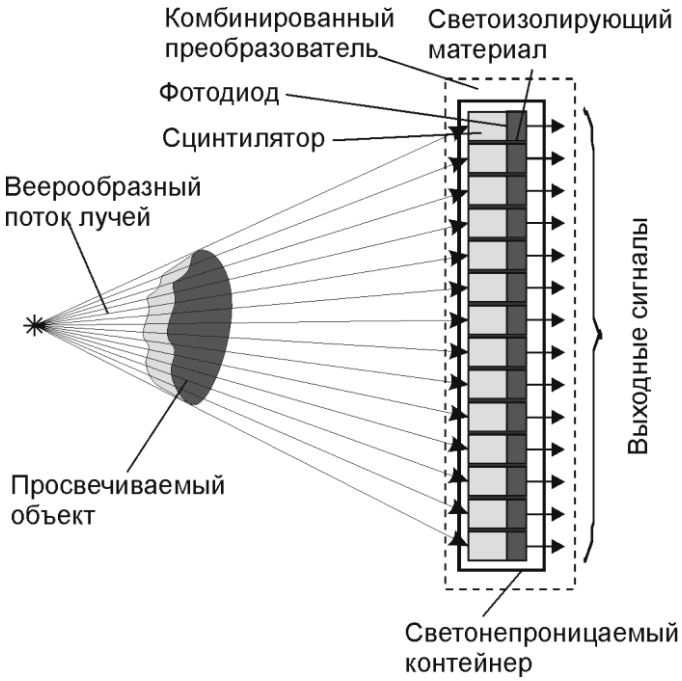


Рис. 6.4. Устройство детекторной линейки

В качестве первичных регистраторов рентгеновских лучей в детекторной линейке могут использоваться разные по принципу работы элементы. Известны сцинтилляционные, газоразрядные, полупроводниковые, химические и другие виды детекторов. В досмотровой рентгеновской технике чаще всего используются сцинтилляционные и полупроводниковые детекторы.

В сцинтилляционном детекторе рентгеновское излучение преобразуется сначала в световое, которое затем с помощью специального фотоприемника преобразуется в электрический сигнал, поступающий далее на электронную схему сбора и обработки данных. В качестве фотоприемника используется фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) или специальный фотодиод.

Отдельный детектор представляет собой прозрачный кристалл (сцинтиллятор), люминесцирующий под воздействием рентгеновских лучей. Рентгеновский квант, падая на сцинтиллятор, взаимодействует с его атомами. При этом некоторое количество атомов вещества, составляющего сцинтиллятор, переходит в возбужденное состояние. Обратный переход атомов в нормальное состояние сопровождается испусканием квантов видимого света – люминесценцией. Люминесценция в сцинтилляторе происходит почти мгновенно (через 10^{-9}-10^{-7} с) после возбуждения. В качестве сцинтилляторов обычно используются кристаллы NaI или KI с добавкой небольшого количества таллия (говорят: «активированные таллием»). Обычно их обозначают NaI(Tl) и KI(Tl) соответственно.

Фотоприемник представляет собой некоторую конструкцию, которая созданный сцинтиллятором световой поток преобразует в импульс электрического тока. Фотоприемник не просто преобразует световой поток в электрический ток, но и производит усиление этого тока.

Очевидно, что пары «сцинтиллятор-фотоприемник» должны быть светоизолированы друг от друга и от внешнего света, для чего в конструкции детекторной линейки имеются светоизолирующие прокладки. Фактически каждая пара сцинтиллятор-фотоприемник «упакована» в специальный контейнер, из которых и набирается детекторная линейка.

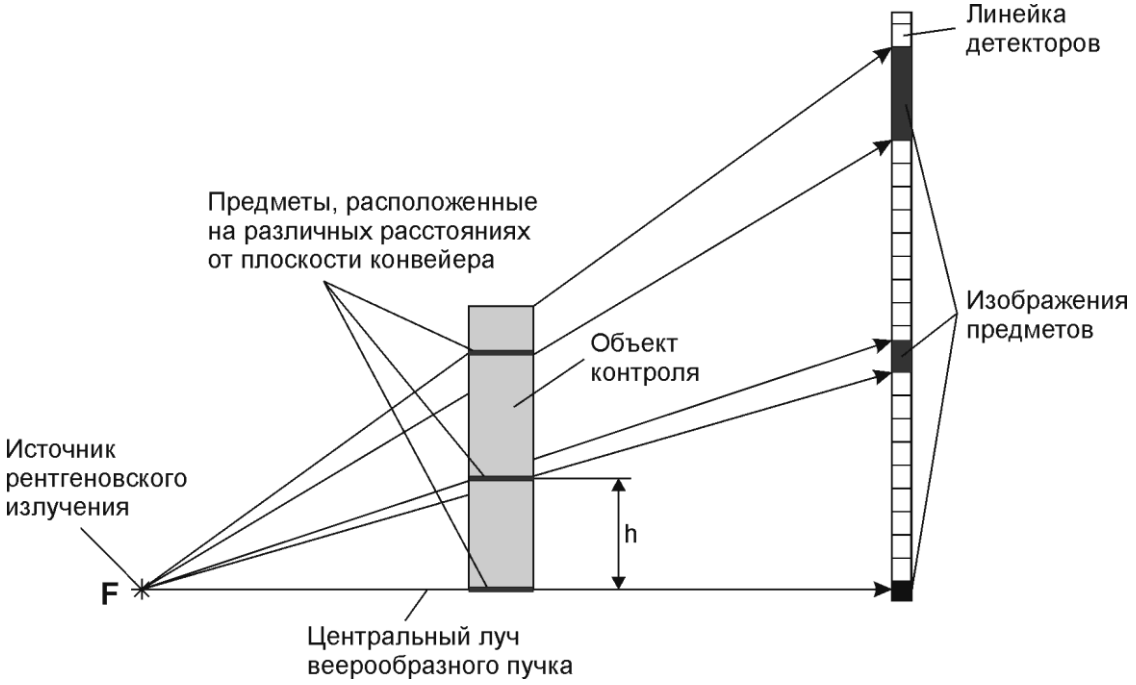


Рис. 6.5. Линейные искажения предметов в конвейерных установках

В рентгеновских сканирующих установках рентгеновский излучатель устанавливается на уровне плоскости конвейерной ленты. В результате, чтобы зарегистрировать «разрез» объекта контроля, вертикальная детекторная линейка должна имеет высоту гораздо большую, чем высота объекта. Это хорошо видно на рис. 6.5.

Чтобы сделать рентгеновский аппарат более компактным по высоте, линейку детекторов выполняют из двух частей, соединенных между собой под прямым углом (о ее форме обычно говорят «L-образная» или «Г-образная»). Такая линейка использована практически во всех современных установках. Однако в них возникают дополнительные искажения, связанные с использованием горизонтальной части детекторной линейки.

Зависимость размеров досмотрового тоннеля от конструкции линейки показана на рис. 6.6. На рисунке объект в разрезе имеет прямоугольную форму и выделен более темным цветом. Если предположить, что в установке используется вертикальная линейка, то ее длина АО будет определяться «размахом» лучей, проходящих через крайние точки объекта контроля (рис. 6.6, б).

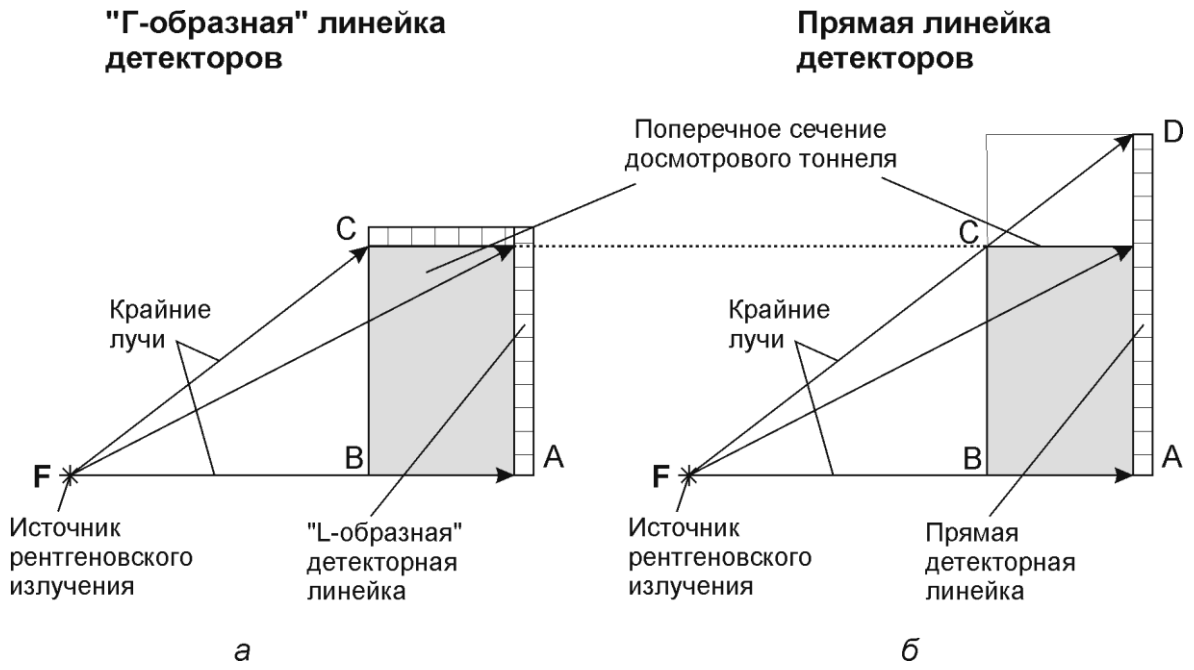


Рис. 6.6. Зависимость габаритов установки от конструкции детекторной линейки

Если использовать Г-образную линейку, то можно сократить высоту досмотрового туннеля до высоты просвечиваемого объекта (рис. 6.6 а). Возможный коэффициент уменьшения легко рассчитать по теореме о подобных треугольниках при известных расстояниях от источника излучения до детекторной линейки (FA) и объекта (FB), высоте объекта (AC).

Рассматривая рис. 6.5 и 6.6, нетрудно увидеть, что при просвечивании плоский прямоугольный предмет на горизонтальной оси рентгеновского излучателя будет восприниматься как черта, а при других положениях – как прямоугольник. Поэтому сигналы, выдаваемые детекторной линейкой, предварительно подвергаются компьютерной обработке, чтобы получить более реальные изображения просвечиваемых предметов. В то же время получаемые искажения в некоторых случаях играют «положительную» роль. Например, они дают возможность просматривать верхнюю стенку объекта на предмет сокрытия в ней недозволенных вложений. Именно поэтому в реальных аппаратах фокус рентгеновской трубки F может располагаться даже ниже плоскости конвейера.

В аппаратах сканирующего типа применяются особые способы радиационной защиты. Защита собственно рентгеновского генератора обеспечивается свинцовым кожухом. Конструкция туннеля, через который перемещается багаж, выполняется из металлических листов толщиной 1,5-2,5 мм. Детекторная линейка снабжается свинцовым экраном. Загрузочно-разгрузочные арки туннеля закрываются резиновыми свинцовосодержащими лентами.

Датчики включения/выключения РИ также являются средством повышения радиационной безопасности. С их помощью рентгеновское излучение включается только на время прохождения объектом линейки детекторов. При этом человек мо-

жет находиться в стороне от направления распространения рентгеновских лучей. Кроме того, в установках конвейерного типа используются частоты и интенсивности излучения, которые гарантируют сохранность даже фотопленки, находящейся в багаже пассажира, и относительно безопасны для оператора установки при случайном облучении. Так, в технических описаниях аппарата «HI-SCAN5170-A» указано, что доза на объект за инспекцию не превышает 2 мкЗв, а аппарата Ин-Спектор 60/70Z – 0,9 мкЗв что гарантирует сохранность самой чувствительной фотопленки даже после нескольких процедур сканирования.

В современных досмотровых установках, наряду с монитором для вывода черно-белых изображений, имеется монитор для формирования цветных изображений. Известно, что человек обычно способен различить на экране черно-белого монитора примерно 20 градаций серого цвета (от ярко-белого до черного), а цветов – несколько тысяч. Поэтому применение цветных изображений повышает информативность изображений.

Например, в рентгеновской установке «FISCAN SMEX-6585R», наряду с монитором для вывода черно-белых изображений, имеется второй монитор – для вывода цветных изображений. При этом для отображения состава вещества контролируемых объектов используются следующие цвета:

– *оранжевый* – химические элементы с атомным номером менее 10 (взрывчатые вещества, лекарства, пластмасса, ткань, дерево, вода);

– *зеленый* – химические элементы с атомным номером от 10 до 17 (алюминий, кремний);

– *светло-зеленый* – смесь органического и неорганического вещества с преобладанием органического;

– *синий* – неорганические вещества с большим атомным весом (железо, медь, цинк, никель, сталь и др.). Чем больше плотность вещества, тем более темный синий цвет;

– *коричнево-красный* – очень высокая плотность (например, свинцовый лист или массивный металлический предмет).

В некоторых установках можно получать сразу два изображения для каждого просвечиваемого объекта. Причем существует два способа их получения.

В первом случае (система Hi-MAT) дополнительное изображение получается за счет применения сдвоенных линеек детекторов, когда вторая линейка, расположенная непосредственно под первой, дополнительно фиксирует сигнал, прошедший через фильтр-пластину из медной фольги. После обработки и коррекции полученные данные записываются в цифровую видеопамять в виде двух изображений (Hi-MAT). Фактически этот метод позволяет разделять материалы по эффективному атомному номеру.

Практически все вещества, из которых состоят реальные предметы, содержат в себе атомы различных химических элементов.

Для них можно ввести понятие эффективного атомного номера $Z_{эфф}$, который определяется как усредненное значение порядковых номеров, составляющих вещество элементов периодической таблицы Д.И. Менделеева:

$$Z_{эфф} = \frac{\sum z_i m_i}{\sum m_i}$$

где суммирование производится по всем i=1…N химическим элементам, входящим в вещество; m_i – массовые доли химических элементов, входящих в вещество; Z_i – их атомный номер.

Например, для воды (H_2O) $Z_{эфф}$ равен 7,2; для двуокиси кремния (SiO_2) – 11,8; для соляной кислоты (HCl) – 16,6; для героина ($C_{21}H_{23}NO_5$) – 6,2 и т.д. Для многих веществ эффективные атомные номера могут различаться слабо или практически совпадать. Однако при совместном анализе формы предмета, его внутреннего строения и размеров со значениями эффективного атомного номера появляется возможность существенно повысить распознаваемость предметов.

Для оценки эффективного атомного номера в конвейерных рентгеновских аппаратах применяют упомянутые выше «сдвоенные» линейки детекторов. Она представляет собой две обычные детекторные линейки, рабочие элементы которых расположены точно друг за другом относительно направления падения на них рентгеновских лучей. Между детекторными линейками проложена медная пластина, которая играет роль фильтра, «отсекающего» мягкую (т.е. не обладающую большой энергией и проникающей способностью) составляющую рентгеновского спектра. Таким образом, детектор первой линейки фиксирует интегральную интенсивность рентгеновских лучей всех энергий, то есть рентгеновское излучение, прошедшее как сквозь «легкие» (малое $Z_{эфф}$), так и сквозь «тяжелые» предметы (большое $Z_{эфф}$), а детектор второй линейки – интегральную интенсивность рентгеновских квантов, относящихся к коротковолновой части спектра (большие энергии), и прошедших сквозь «тяжелые» предметы.

Во втором случае дополнительное изображение получается в результате облучения объекта контроля под другим «углом». Это обеспечивается применением двух источников рентгеновского излучения, расположенных на определенном расстоянии и под определенным углом друг к другу, либо специальной рентгеновской трубки, имеющей два катода, две управляющих сетки, один общий анод и одну систему визуального изображения. Электронное управление каждым из двух генераторов или сетками одного генератора обеспечивает их попеременное включение. Соответственно рентгеновское излучение проходит через объект контроля под разными углами и фиксируется двумя детекторными линейками, принимающими излучения с разных направлений. Возможность быстрого переключения от одного изображения к другому позволяет в аппаратах такого типа выявлять предметы, расположенные в объекте в труднораспознаваемой проекции. Оператор может наблюдать и анализировать одновременно две проекции инспектируемого объекта на одном мониторе (стереоскопический метод) или последовательно каждую из проекций на одном мониторе.

Пульт управления конвейерной установки позволяет увеличивать отдельные участки изображения, выделять цветом разные по плотности предметы, а «миганием» – особо плотные предметы, формировать негативное черно-белое изображение, изменять яркость изображения и т.п.

Рассмотрим параметры установок сканирующего типа на примере досмотровой рентгеновской установки «ИнСпектор 60/70Z», конструкция которой представлена на рис. 6.7, а пульт управления на рис. 6.8.

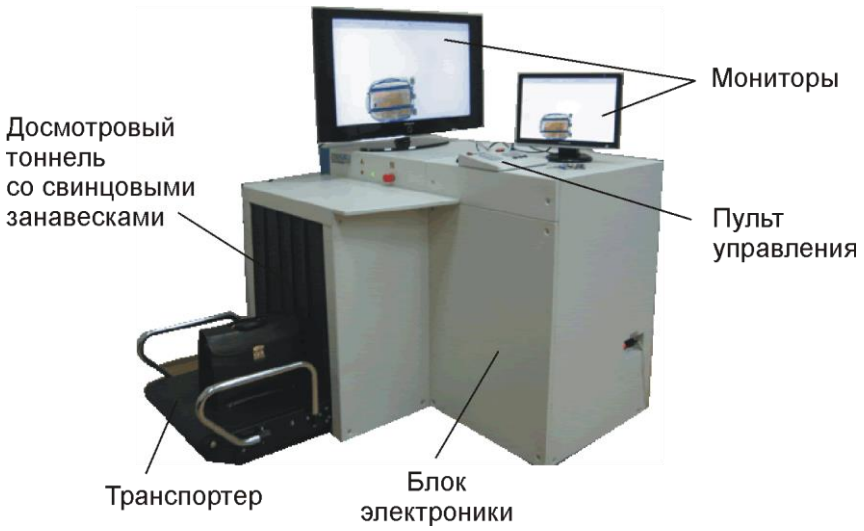


Рис. 6.7. Основные узлы установки «ИнСпектор 60/70Z»

Установка характеризуется следующими техническими характеристиками:
напряжение электропитания – 220 В (+10%; – 15%),
частота переменного напряжения – 50±3 Гц,
потребляемая мощность – около 1 кВ·А,
напряжение на аноде рентгеновской трубки – 140 кВ,
ток анода – 0,4 мА,
проникающая способность по стали – 28 мм стали,
цветное и черно-белое отображение результата просвечивания,
разрешающая способность – медная проволока диаметром 0,09 мм,
конвейер – скорость 0,17-0,24 м/с,
максимальная распределенная нагрузка на конвейер – не более 150 кг,
размер тоннеля: ширина – 640 мм, высота – 750 мм.

Конструкция установки «ИнСпектор 60/70Z» обеспечивает надежную защиту операторов и специалистов по обслуживанию и ремонту от вредного излучения. Лимитная величина излучения: 2,5 мкЗв/ч на удалении 5 см от корпуса системы.

Вход и выход в досмотровый тоннель закрываются специальными резиново-свинцовыми лентами для защиты от утечки рентгеновских лучей. Интенсивность излучения в любое время контролируется специальной электрической цепью, не-

зависимой от другой части системы. В случае неисправности цепи блокировки включить рентгеновский генератор невозможно.

Общий принцип работы установки «ИнСпектор 60/70Z» заключается в следующем. Проверяемый объект помещают на ленту транспортера. Когда объект попадает в туннель, его обнаруживает система световых барьеров. Сигналы от световых барьеров включают генератор рентгеновского излучения, формирующий при помощи коллиматоров тонкий веерообразный пучок рентгеновских лучей, который пронизывает объект в процессе контроля. Пучок лучей в большей или меньшей степени поглощается объектом и достигает линии детекторов. Линия детекторов состоит из 88 сменных модулей, которые преобразуют энергию рентгеновских лучей в электрическое напряжение различной величины.

Рис. 6.8. Кнопки пульта управления установки «ИнСпектор 60/70Z»

Выходные напряжения всех модулей считываются каждые 9 мс, что соответствует сканированию предмета слоями. Каждый слой имеет толщину около 1,7 мм.

Шаг за шагом движущийся объект сканируется последовательными слоями и 704 сигнала каждого слоя последовательно передаются в систему цифровой обработки изображений. Здесь осуществляется аналого-цифровое преобразование отдельных напряжений и запоминание их величин в цифровой видеопамяти. Содержание видеопамяти в конечном счете отображается на экране монитора. 704 различных величин напряжений по каждому слою объекта отображаются одно над другим в виде вертикальной колонки рентгеновского изображения, состоящей из 704 элементов изображения различной яркости в зависимости от степени поглощения рентгеновских лучей.

Уже во время процедуры сканирования можно наблюдать последовательное построение вертикальных столбцов на экране, как результат поэтапной передачи данных контроля.

При непрерывном потоке груза транспортер останавливать не следует. Расстояние между отдельными грузами должно быть не менее 30 см. При более близком расположении груза установка не в состоянии проводить тестирование линеек и на изображении могут появляться горизонтальные полосы.

По окончании сканирования груза сигналы световых барьеров выключают генератор рентгеновского излучения.

Во время проверки груза установка автоматически включает и выключает рентгеновский излучатель. При включенном излучателе загораются индикаторы красного цвета на входе и выходе туннеля и индикатор включения рентгеновского излучения.

Во время работы оператор может выключить установку в аварийном порядке красной кнопкой на пульте управления или кнопками аварийного отключения, расположенными на входе и выходе туннеля.

Цифровыми кнопками 1–9 (рис. 6.8) производится выбор сектора просмотра и увеличения изображения. Кнопкой «ОТМЕНА УВЕЛИЧ» производится отмена увеличения. Сочетанием кнопок «С2» и «5» включается и выключается режим «лупа».

Кнопкой «ВЫСОК ПРОНИК» производится переключение изображений, наблюдаемых в жестком или мягком спектре излучения.

Нажатием кнопки «ВЫДЕЛ МАТЕР» (выделение материала) переключается изображение определяемой группы веществ путем окрашивания их на мониторе в следующие цвета:

желтый – органические вещества;

зеленый – неорганические вещества, «легкие» металлы;

синий – металлы.

Кнопкой «ЦВЕТ» производится окрашивание изображения на экране монитора в зависимости от $Z_{эфф}$. элементов груза. Информация о толщине материала передается оттенками цветов. Органические вещества различной толщины будут

окрашиваться на экране монитора в диапазоне от светло-желтого до темно-оранжевого, неорганические вещества и «легкие» металлы в диапазоне от светло-зеленого до темно-зеленого, а металлы от светло- синего до черного. Повторное нажатие этой клавиши отменяет окрашивание.

Ступенчатая обработка изображения производится кнопкой «ГАММА КОРР.» (гамма коррекция) при необходимости идентификации плотных или слабоконтрастных грузов, которые не наблюдаются при исходных (загружаемых) при включении установки значений «ГАММА КОРР»

Переход в плавное изменение уровня яркости, контрастности и гамма коррекции при наблюдении элементов груза производится следующим образом.

Нажать и удерживать кнопку «С2» и одиночным нажатием цифровых кнопок «7» (увеличение) или «1» (уменьшение) можно плавно, пошагово изменять параметр «ГАММА КОРР». Нажать и удерживать кнопку «С2» и одиночным нажатием цифровых кнопок «8» (увеличение) или «2» (уменьшение) можно плавно, пошагово изменять параметр «ЯРКОСТЬ». Нажать и удерживать кнопку С2 и одиночным нажатием цифровых кнопок «9» (увеличение) или «3» (уменьшение) можно плавно, пошагово изменять параметр «КОНТРАСТ». При нажатии «С2» и цифровой кнопки «5» включается автоматическая настройка контраста и яркости, при этом ручные настройки перестают работать. Повторное нажатие «С2» и «5» отключает эту функцию.

Отмена всех обработок производится кнопкой «ОТМЕНА».

При необходимости включается негативное изображение кнопкой «НЕГАТИВ/ПОЗИТИВ». Для получения позитивного изображения необходимо повторно нажать эту кнопку. Кнопкой «ЦВЕТ» производится окрашивание позитивного и негативного изображения.

Оператор имеет возможность просмотреть до десяти изображений ранее досмотренных грузов при движение транспортера в одном направлении. Для этого надо нажать кнопку «С2» и одновременно одну из кнопок включения транспортера. При этом на экране монитора будут проходить изображения ранее досмотренных грузов. Кнопкой «СТОП» можно остановить изображение заинтересовавшего груза.

При необходимости оператор может запомнить изображение заинтересовавшего его груза, нажав на кнопку «ЗАПИСЬ».

При нажатии кнопок «С2» и «ЗАПИСЬ» на экране монитора появляется список ранее записанных изображений. С помощью кнопок «8» и «2» может выбрать изображение заинтересовавшего его груза и нажатием кнопки "↵" вывести его на экран монитора.

Количество циклов контроля можно увидеть в левом верхнем углу экрана монитора.

Ассоциация научно-технического сотрудничества "Тестрон" – разработчик и производитель ДРТ, с 1999 года выпускает, поставляет и обслуживает рентгено-телевизионные установки серии "Филин". Эти установки применяются достаточно широко: от досмотра почтовой корреспонденции – "Филин 3010" до инспекции 40-

футовых морских контейнеров и автомашин – "Филин Cargo Scan 450". Далее, на рис. 6.9–6.19 представлены изображения внешнего вида современной досмотровой рентгеновской техники.

Рис. 6.9. КРП-01 «САТУРН»
(имеет систему подвижек, позволяющую исследовать объект под разными углами)

Рис. 6.10. Филин 145185

Рис. 6.11. УРД «ЭКСПЕРТ»

а. ИнСпектор 60/40Z

б. ИнСпектор 60/70Z

в. ИнСпектор 120/90Z

г. ИнСпектор 150/165Z

Рис. 6.12. Продукция фирмы ООО СКБ «Медрентех»[28]

[28] Специальное конструкторское бюро «Медрентех» [Электронный ресурс]: М.: MEDRENTECH.RU, 2009. Режим доступа: World Wide Web. URL: www.medrentech.ru.

а. Hi-Scan 150150-300

б. HI-SCAN 145180

в. HI-SCAN 6040i

г. HI-SCAN 100100V

Рис. 6.13. Продукция компании Smiths Heimann[29]

[29] Группа компаний Techno [Электронный ресурс]: СПб.: TECHNO.SPB.RU, 2009. Режим доступа: World Wide Web. URL: www.techno.spb.ru.

Рис. 6.14. HI-SCAN 85120

Рис. 6.15. HI-SCAN 100100 T-2is (снабжен двумя генераторами рентгеновского излучения, позволяющими досматривать грузы в двух плоскостях)

Рис. 6.16. Vivid VIS108[30] производства L3 Communications Security & Detection Systems

[30] L3 Communications Security & Detection Systems [Электронный ресурс]: М.: DSXRAY.COM, 2009. Режим доступа: World Wide Web. URL: www.dsxray.com.

Рис. 6.17. Linescan 226[31] – большой грузовой рентгено-телевизионный интроскоп производства L3 Communications

Рис. 6.18. CX-450PDV Pallet X-ray System[32] производства L3 Communications снабжена генератором РИ с анодным напряжением 450 кВ, позволяющим осуществлять панорамное сканирование объектов в режиме с проникающей способностью до 90 мм по стали в режиме «двух энергий» для более точного распознавания различных материалов

[31] GT Gate Technologies [Электронный ресурс]: М.: GATE-TECH.RU, 2009. Режим доступа: World Wide Web. URL: www.gate-tech.ru.

[32] L3 Communications Security & Detection Systems [Электронный ресурс]: М.: DSXRAY.COM, 2009. Режим доступа: World Wide Web. URL: www.dsxray.com.

Рис. 6.19. Rapiscan 632 XR[33]

6.3. Досмотровые рентгеновские системы для томографии грузов

Особый интерес представляют системы, основанные на технологии компьютерной томографии (КТ). За изобретение КТ американский физик А.Кормак и английский инженер-физик Г.Хаунсфилд в 1972 году были удостоены Нобелевской премии по физиологии и медицине. В своем развитии компьютерная томография прошла несколько этапов развития:

Аппарат 1-го поколения появился в 1973 году КТ аппараты первого поколения были пошаговыми. Была одна трубка направленная на один детектор. Сканирование производилось шаг за шагом делая по одному обороту на слой. Один слой изображения обрабатывался около 4 минут.

Во 2-ом поколении КТ аппаратов использовался веерный тип конструкции. На кольце вращения напротив рентгеновской трубки устанавливалось несколько детекторов. Время обработки изображения составило 20 секунд.

3-е поколение компьютерных томографов ввело понятие спиральной компьютерной томографии. На каждом шаге транспортерной ленты сканирующая система (гантри[34]) синхронно осуществляла полное вращение по часовой стрелке, что значительно уменьшило время исследования.

В сканирующей системе 4-ого поколения вращается лишь рентгеновская трубка, а детекторная линейка, имеющая форму кольцу, неподвижна.

Новым витком развития является предложенная компанией Elscint Co. в 1992 году система многослойного одновременного сканирования. Она реализуется путем использования широкой детекторной линейки с несколькими рядами чувствительных элементов. В настоящее время известны образцы томографов (фирмы Toshiba), обеспечивающие 320-слойное одновременное сканирование. При

---

[33] Rapiscan systems [Электронный ресурс]: USA.: RAPISCANSYSTEMS.COM, 2009. Режим доступа: World Wide Web. URL: www.rapiscansystems.com.

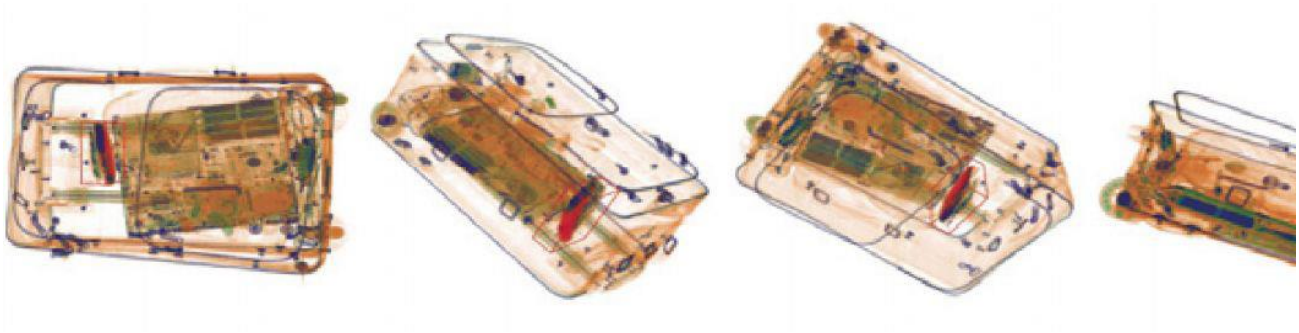
[34] *Гантри* – подвижная, как правило кольцевая, часть томографического аппарата, содержащая сканирующее оборудование.

этом используются излучающие системы со специальной конфигурацией пучка рентгеновских лучей.

Примером использования технологии компьютерной томографии является досмотровая установка eXaminer® 3DX (рис. 6.20) производимая фирмой L3 Communications Security & Detection Systems. Эта установка обеспечивает формирование трехмерного изображения багажа с пропускной способностью 360 ед. в час.

а

б



в

Рис. 6.20. Досмотровые томографы
а – досмотровая установка eXaminer® 3DX для томографии грузов;
б – досмотровая установка для компьютерной томографии Analogic Cobra[35]
в -– томограммы ручной клади пассажиров

Оперативно-технические характеристики современных досмотровых рентгенотелевизионных установок основных отечественных и зарубежных фирм-производителей. представлены в табл. 6.1.

[35] http://www.futureairport.com.

Таблица 6.1

Оперативно-технические характеристики современных досмотровых рентгеновских аппаратов

Наименование параметра	Значение параметра для конкретного аппарата										
	Филин 145185	УРД «Эксперт» 90х120ээ	КРП-01 «Сатурн»	Инспектор 120/90Z	HI-SCAN 145180	HI-SCAN 100100V, 100100T	HI-SCAN 85120	HI-SCAN 6040 i	Vivid VIS 108	Linescan 226	Rapiscan 632 XR
Анодное напряжение, кВ	160 (140)	80..160	80..160 150..300	–	160 (140)	–	140	140	75 150	320	150
Потребляемая мощность, кВт	0,3	1,2	1	1.3	1	–	0,9	0,8	–	–	–
Масса, кг	–	1400	–	1200	–	–	–	–	1973	2268	2154
Размер тоннеля, – ширина, мм – высота, мм	1450 1850	920 1400	–	1240 910	1450 1800	1000 1000	855 1215	620 418	2500 1000	2,438 2,286	1500 1650
Максимальная равномерная загрузка на конвейер, кг	1200	1200	–	250	1200	–	200	160	181	3635	3000
Разрешающая способность (по проволоке), мм	0,09..0,1	0,1	0,05	0,09	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,25	0,1
Проникающая способность по стали	30	25	25 (48)	26..33	25..30	30	25..27	27..30	30	51	30
Рентгеновская доза при досмотре, мкЗв	–	0,8	–	1	0,7	–	0,8..1,6	0,7..1,4	1,5	1,2	1
Направление пучка	–	Д	–	56°	Д	–	Д	Д	верт. вверх	–	Г
Детекторная линейка	–	Г	–	L	Г	–	Г	Г	–	L	–
Число уровней серого в памяти	4096	4096	4096	4096	4096	–	4096	4096	–	–	–

6.4. Досмотровые флюороскопы

Существует класс досмотровых рентгеновских установок, главной особенностью которых является использование специального флюороскопического[36] экрана для отображения результатов просвечивания контролируемого объекта. Этот экран покрыт специальным веществом (люминофором), которое может преобразовывать энергию невидимых рентгеновских лучей в излучение в виде квантов видимого света, воспринимаемых глазом человека. При прекращении воздействия излучения на экран свечение прекращается. Каждый квант рентгеновского излучения, попадая на экран, покрытый люминофором, порождает квант света. Чем больше энергия рентгеновских квантов, попадающих на некоторую область экрана, тем ярче свечение этой области. Одним из лучших флюоресцирующих веществ для покрытия экранов считается смесь сульфида цинка (ZnS) с сульфидом кадмия (CdS), активированных серебром.

Свечение, возникающее под воздействием внешнего облучения и исчезающее в течение короткого времени после окончания воздействия, называют флюоресценцией. Поэтому установки, использующие такой экран, называют флюороскопами.

В 90-х годах таможенные органы России активно оснащались установками для флюороскопического рентгеновского контроля «Короб-А» (другое название «Флюрекс»), которые относятся к стационарным проекционным рентгеновским установкам 2-го типа. Они предназначались для углубленного таможенного контроля багажа и ручной клади.

Принцип работы флюороскопической установки можно пояснить следующим образом (рис. 6.21).

Излучение от источника рентгеновских лучей проходит через контролируемый (просвечиваемый) объект и попадает на экран. На нем прошедшее через объект рентгеновское излучение преобразуется в световой рельеф (так называемое «теневое изображение»).

Лучи, прошедшие через различные участки просвечиваемого объекта, будут иметь разную интенсивность из-за неодинаковых значений коэффициентов ослабления рентгеновского излучения вследствие различной толщины и плотности предметов в просвечиваемом объекте. Поэтому участки экрана, находящиеся за толстыми предметами или предметами, изготовленными из сильно поглощающих веществ, светятся слабее по сравнению с участками, расположенными за тонкими предметами или предметами, сделанными из легких материалов. Иными словами, флюоресцентный экран играет роль преобразователя невидимого человеческим глазом «скрытого» рентгеновского изображения в видимый зрительный образ.

---

[36] *Флуоресце́нция, флюоресце́нция* (от названия минерала флюорит, у которого впервые была обнаружена флуоресценция, и лат. -escent – суффикс, означающий слабое действие).

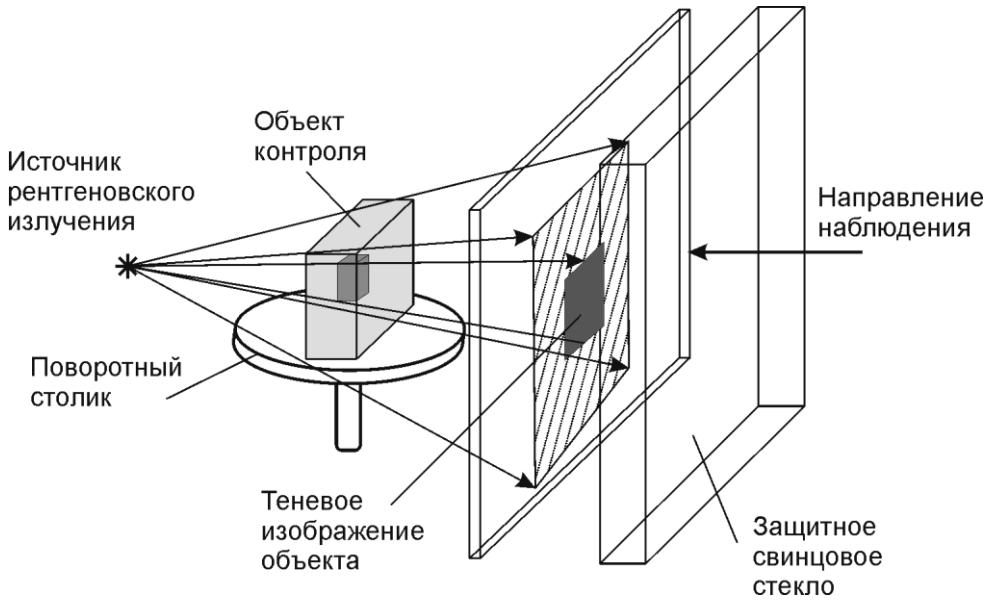


Рис. 6.21. Принцип получения теневых изображений
в рентгеновских установках флюороскопического типа

На рис. 6.21 в качестве объекта контроля показана коробка, внутри которой находится предмет (цилиндр) из плотного вещества. На участок экрана за плотным предметом будут воздействовать рентгеновские лучи меньшей интенсивности, чем на другие участки экрана, так как плотный предмет сильнее задерживает (поглощает) рентгеновские лучи. Поэтому на рисунке теневое изображение плотного предмета показано более темным, чем изображение остальной части коробки. Нетрудно увидеть, что размеры полученного изображения отличаются от реальных размеров контролируемого объекта, так как теневая картинка представляет собой его проекцию на экран.

В первых флюороскопах глаза оператора (наблюдателя) располагались на линии «источник излучения – объект – флюоресцентный экран» (рис. 6.22). Очевидно, что не вся энергия рентгеновских лучей будет поглощаться просвечиваемым объектом и флюоресцентным экраном. Чтобы защитить глаза оператора или телекамеру от остаточного рентгеновского излучения, за флюоресцентным экраном устанавливается защитное стекло с добавками свинца. В современных флюороскопах свечение экрана преобразуется в электрические сигналы, по которым создается изображение на телевизионном экране или мониторе компьютера. Очевидно, такие приборы более безопасны.

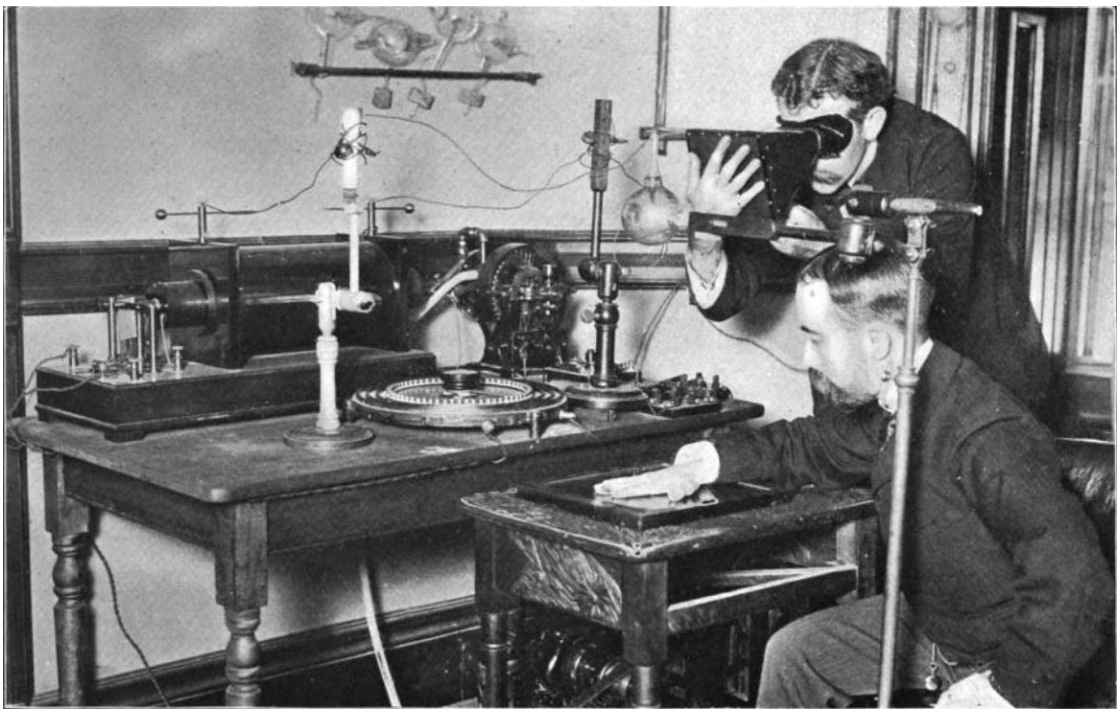


Рис. 6.22. Работа с первым флюороскопом (19 век)

На флюоресцентном экране отображаются светотеневые контуры, геометрически подобные контурам предметов, находящихся в объекте. Коэффициент М увеличения изображения может быть рассчитан из соотношения подобия треугольников, общей вершиной которых является источник излучения F (рис. 6.23). Нетрудно убедиться в справедливости соотношения:

$$M = \frac{R}{r} = \frac{L}{l}$$

где l и L – расстояния от источника до предмета и до экрана; r и R – размер предмета и размер его изображения на экране соответственно.

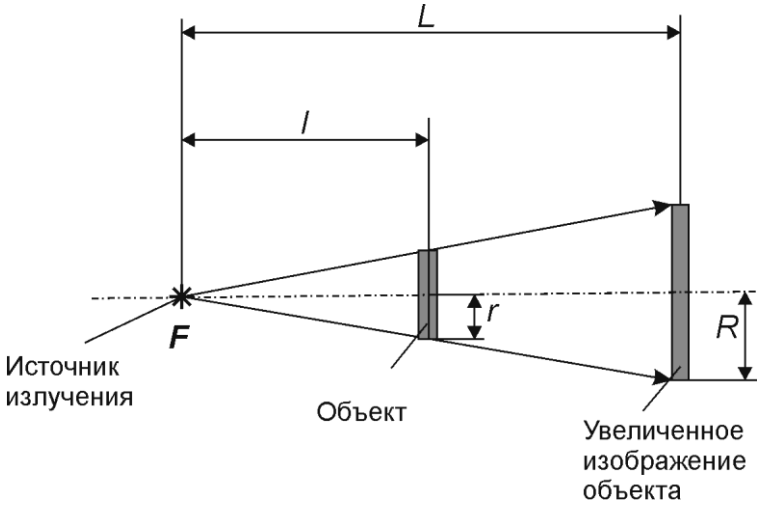


Рис. 6.23. К расчету коэффициента увеличения изображения

Реальное значение увеличения изображения объектов в рентгеновских досмотровых аппаратах обычно не превышает нескольких раз.

Следует помнить, что контур изображения на экране передает проекцию разреза просвечиваемого объекта в плоскости, перпендикулярной направлению рентгеновских лучей. В связи с этим разные по объемной форме предметы на флюоресцентном экране могут давать одну и ту же теневую картинку. Источник рентгеновского излучения должен иметь небольшие линейные размеры *b*, чтобы не вызывать искажений изображения на экране. При больших размерах источника через каждую «точку» объекта контроля от него будет проходить несколько лучей, т.е. будет получаться размытое изображение точки (рис. 6.24). Кроме того, изображения отдельных «точек» будут частично накладываться друг на друга.

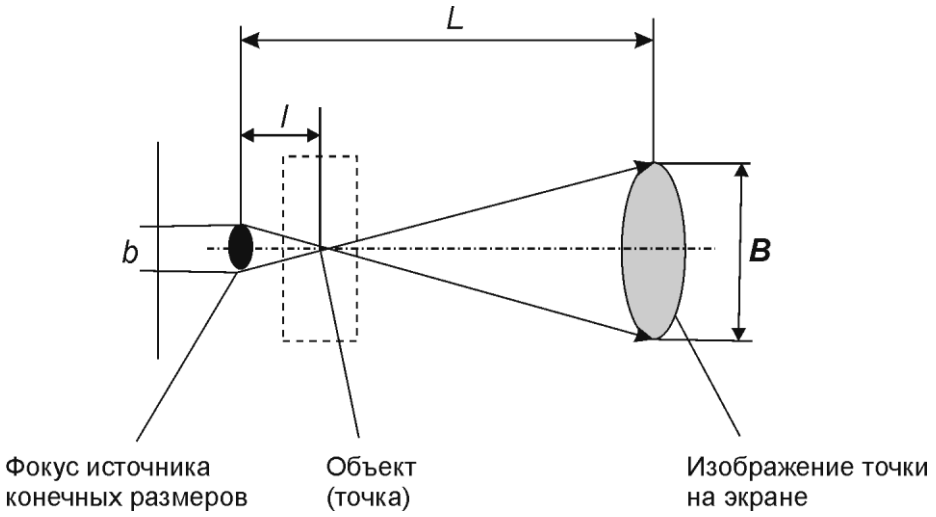


Рис. 6.24. Искажение изображения вследствие конечных размеров источника излучения

Размер *B* теневого изображения источника вычисляется также из подобия треугольников:

$$\frac{B}{b} = \frac{L-l}{l} = M-1, \text{ откуда } B = b\cdot(M-1)$$

где $M = L/1$.

Вследствие конечного размера источника разрешающая способность[37] δ проекционного метода будет ограничена значением:

$$\delta = b\cdot\left(1-\frac{1}{M}\right) \text{ или, оценивая ее сверху, } \delta \approx b.$$

[37] *Разрешающая способность* – свойство раздельно воспроизводить мельчайшие детали наблюдаемого объекта. Разрешающая способность количественно определяется минимальным расстоянием между двумя соседними точками предмета, которые в плоскости изображения воспроизводятся раздельно.

Минимальный размер фрагмента предмета, который может быть рассмотрен на изображении, не может быть меньше размера используемого источника рентгеновского излучения. Типичным значением разрешающей способности проекционного метода формирования изображения, применительно к рентгеновским досмотровым установкам таможенного контроля, является несколько десятых долей миллиметра.

Выпускаются как стационарные, так и мобильные (переносные, портативные) флюороскопические аппараты. Круг применения таких установок весьма широк – от проверки корреспонденции и обнаружения средств прослушивания или взрывных устройств в бытовой технике, до поиска скрытых вложений в специальных полостях, колесах транспортных средств.

Российская фирма ООО «Диагностика-М» (Москва) преуспела в разработке средств для обнаружения взрывчатых веществ, элементов взрывных устройств, радиоактивных элементов, в том числе и для контроля входящей почтовой корреспонденции. Одним из важнейших направлений деятельности ООО «Диагностика-М» является серийное производство поисково-досмотровой техники. Такие изделия, как стационарная **«Калан-2М»** (рис. 6.25) и переносная система **«Норка»** и (рис. 6.26), хорошо зарекомендовали себя, применяются для проверки почтовой корреспонденции, багажа, различных бытовых предметов с целью выявления взрывчатых веществ, для обследования контейнеров с опасными вложениями и другими запрещенными к провозу предметами. У фирмы есть новые разработки: **XR-PSCAN** – настольный сканер, предназначенный для контроля входящей почтовой корреспонденции (писем, бандеролей) на предмет обнаружения опасных вложений, взрывчатых, наркотических и радиоактивных веществ; **«Шток»** – стационарный досмотровый комплекс для рентгеновского обследования внутреннего содержимого упаковок, портфелей, почтовых отправлений в производственных и служебных помещениях; **«Томь»** – томографический комплекс для детального контроля сложных объектов и т.д. Большим спросом пользуется **«Калан-4»** – стойка с полной радиационной защитой, которую применяют при досмотре отдельных предметов, посылок, бандеролей и т.д.

Цифровая портативная рентгенотелевизионная установка Scantrak (рис. 6.27) предназначена для использования в таможенных органах, полиции, военных организациях, для обезвреживания взрывчатых веществ, в правоохранительных органах, тюрьмах и службах безопасности зданий.

Scantrak позволяет выполнять следующие действия: мгновенное обнаружение и распознавание подозрительных предметов; изменять режим просмотра изображения – увеличивать, менять режим позитив/негатив, осуществлять ротацию, получать псевдо-цветное и псевдо-трехмерное изображение.

«КАЛАН-2»

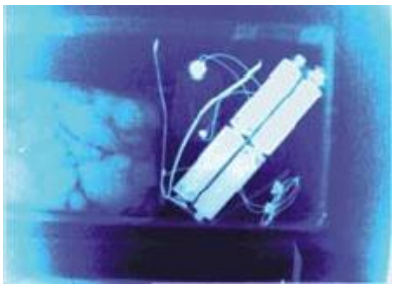
Средство подслушивания, скрыто установленное в бытовом предмете

Рис. 6.25. Внешний вид и результат визуализации ДРТ «КАЛАН-2»

Установка «НОРКА» на специальном штативе для досмотра корреспонденции

Содержимое подозрительного чемодана, выявленного при помощи рентгеновского просвечивания

Рис. 6.26. Внешний вид и результаты работы ДРТ «НОРКА»



А *Б* *в*

Рис. 6.27. Рентгенотелевизионная установка SCANTRAK:
а – псевдо-цветное изображение взрывного устройства;
б, в – псевдо-цветное изображение наркотиков

Переносная рентгенотелевизионная установка Дельта-160 (рис. 6.28), разработанная ООО «ТАСК-Т» (Москва) позволяет осуществлять оперативный досмотр любых подозрительных объектов (оставленного багажа, стен и перегородок, элементов автотранспорта и грузовых контейнеров) и обнаружению вложенных взрывных устройств, устройств негласного получения информации и контрабандных грузов. При расстоянии 20 см объекта до излучателя Дельта 160 обладает проникающей способностью по стали не менее 15 мм, что позволяют эффективно применять установку для задач, связанных с досмотром объектов с высокой плотностью преграды (кирпичных стен, труб, металлических контейнеров, элементов кузова автотранспорта и бензобаков).

Для использования установки в полевых условиях, излучатель снабжен источником автономного питания.

Рис. 6.28. Переносная ДРТ Дельта-160

Рентгенотелевизионный комплекс «Шмель-240ТВ», разработанный в фирме «Флэш электроникс» предназначен для проведения рентгеноскопического контроля оптически непрозрачных сред, материалов и изделий различных плотностей. Комплекс может быть использован для досмотра багажа, тары, посылок, при поиске закладок инородных предметов в помещениях и оборудовании учре-

ждений и банков, с документированием результатов контроля в электронном виде и отображением на экране монитора встроенного компьютера.

«Шмель-240ТВ» (рис. 6.29) предназначен для эксплуатации при: температуре от 0 до 40°С, атмосферном давлении (84–107) кПа, относительной влажности воздуха до 95% при температуре 25°С. Допускается использование составных частей комплекса (преобразователя рентгенооптического, аппарата рентгеновского) в диапазоне температур от минус 30°С до плюс 50°С. Конструкция комплекса позволяет работать с ним в нестационарных условиях.

«Шмель-240ТВ» обеспечивает обнаружение при расстоянии от рентгеновского аппарата до преобразователя рентгенооптического 1м следующих объектов:

- пистолет за преградой из пластика толщиной 180 мм,
- из алюминия толщиной 120 мм,
- из стали толщиной 25 мм;
- нож за преградой из пластика толщиной 160 мм,
- из алюминия толщиной 85 мм, из стали толщиной 20 мм;

электронные схемы за преградой:

- из пластика толщиной 120 мм,
- из алюминия толщиной 65 мм,
- из стали толщиной 18 мм;

взрывчатые вещества с характерным размером 50мм за преградой:

- из пластика толщиной 85 мм,
- из алюминия толщиной 50 мм,
- из стали толщиной 16 мм.

Комплекс позволяет обнаружить при расстоянии от аппарата рентгеновского до преобразователя рентгенооптического 0,5 м пистолет за преградой 40 мм стали. Разрешающая способность комплекса позволяет обнаруживать 6-ую проволоку из стали диаметром 0,125 мм проволочного эталона №12 по ГОСТ 7512-82.

Автоматическая регулировка яркости видеотракта обеспечивает получение качественных изображений в широком диапазоне расстояний от рентгеновского аппарата до преобразователя (от 0,3 до 4,0 метров).

Импульсное напряжение, прикладываемое к аноду рентгеновской трубки – 220-240 кВ. Ток потребления аппарата рентгеновского не более 4,5 А. Время непрерывной работы аппарата рентгеновского от полностью заряженного блока аккумуляторов в режиме излучения не менее 12 мин. Время непрерывной работы преобразователя рентгенооптического и блока управления и обработки изображения от встроенных блоков аккумуляторов не менее 3 часов.

Режим работы комплекса – повторно-периодический: время непрерывной работы аппарата рентгеновского за одно включение не более 15 с, интервал между включениями – не менее 45 с. При этом, суммарное время работы аппарата не должно превышать 10 минут в час.

А *Б* *в*

г

Рис. 6.29. Рентгенотелевизионный комплекс «Шмель-240ТВ»

В комплексе используется метод рентгеноскопии, который основан на получении информации об объекте путем просвечивания его рентгеновским излучением и преобразования теневого рентгеновского изображения в оптическое. Работа с комплексом осуществляется под управлением программного обеспечения «MobiDick». Регистрация изображения объекта производится преобразователем рентгенооптическим и передается в блок управления и обработки изображения, где оно отображается на экране встроенного компьютера, и может быть обработано и сохранено.

Питание составных частей комплекса – аппарата рентгеновского, рентгенооптического преобразователя осуществляется от встроенных блоков (батарей) аккумуляторных с емкостями 2 Ач и 1,2 Ач соответственно и номинальным напряжением 24 В, 12 В соответственно. Зарядка батарей осуществляется от входящих в комплект поставки зарядных устройств.

Аппарат рентгеновский, входящий в состав комплекса, импульсный, с рентгеновской трубкой со взрывной эмиссией электронов, не требующей накала и

нагрева для подготовки к работе. Напряжение на трубке и ток в ней не регулируется.

В ручке моноблока (рис. 6.29, в) расположены: сигнальная лампа рентгеновского излучения; ключ включения электропитания (замок безопасности в цепи питания моноблока рентгеновского); индикатор готовности моноблока рентгеновского к работе; индикатор процесса заряда аккумуляторной батареи; разъем подключения кабеля управления излучением.

Управление излучением моноблока рентгеновского в составе комплекса организовано таким образом, что рентгеновское излучение возможно только при наличии сигнала управления от блока управления и обработки изображения.

Преобразователь рентгенооптический, состоящий из флуоресцентного экрана, зеркала и ПЗС-камеры, осуществляет преобразование теневого рентгеновского изображения в видеосигнал. Флуоресцентный экран преобразует теневое рентгеновское изображение в видимое. Его размеры определяют рабочее поле контроля – 240x320 мм. Зеркало направляет изображение экрана в сторону ПЗС-камеры, которая преобразует изображение в видеосигнал.

На верхней панели преобразователя рентгенооптического (рис. 6.29, б) расположены: разъемы для подключения к аппарату рентгеновскому и блоку управления и обработки изображения; индикатор готовности преобразователя к работе; индикатор процесса заряда аккумуляторной батареи; кнопка включения питания; сетевой разъем питания. При подключении преобразователя рентгенооптического к сети осуществляется зарядка встроенной аккумуляторной батареи.

Блок управления и обработки изображения состоит из: встроенного компьютера с автономным источником электропитания и зарядным устройством; устройства управления работой комплекса, управляемое компьютером; специализированной клавиатуры и ряда дополнительных устройств. Управление работой комплекса осуществляется через блок управления и обработки изображения посредством специального программного обеспечения «MobiDick», содержащего также функции обработки, структурирования и хранения полученных изображений.

Имеется возможность подключения встроенного компьютера комплекса к телефонной сети через разъем «MODEM» и к локальным сетям типа «Ethernet» через разъем «LAN». Разъем «USB» позволяет подключать внешние устройства к встроенному компьютеру по интерфейсу USB 2.0.

Конструкция комплекса предусматривает снижение уровня облучения персонала и населения за счет:

– встроенного коллиматора, формирующего рабочий пучок излучения, не превышающий угол 90°;

– ограничения времени работы аппарата рентгеновского;

– нахождения оператора при работе в зоне, противоположной направлению излучения и ограниченной углами ±135° относительно направления излучения, на удалении 25 м от выходного окна аппарата.

Эффективная доза внешнего облучения оператора при семичасовом рабочем дне и пятидневной рабочей неделе составляет не более 2,4 мЗв/год. При эксплуатации комплекса вне специализированных помещений, исключающих попадание персонала и лиц из населения в радиационно-опасные зоны, работа с комплексом должна выполняться бригадой из двух человек, один из которых – оператор комплекса, другой – наблюдатель за радиационно-опасной зоной.

Для уменьшения границ радиационно-опасной зоны, в случае необходимости, следует устанавливать за преобразователем рентгенооптическим дополнительный экран из свинца толщиной 4 мм, перекрывающий прямой пучок излучения.

С 2003 года на вооружение таможенных органов России стали поступать рентгеновские **ручные сканеры скрытых полостей «ВАТСОН»** (рис. 6.30).

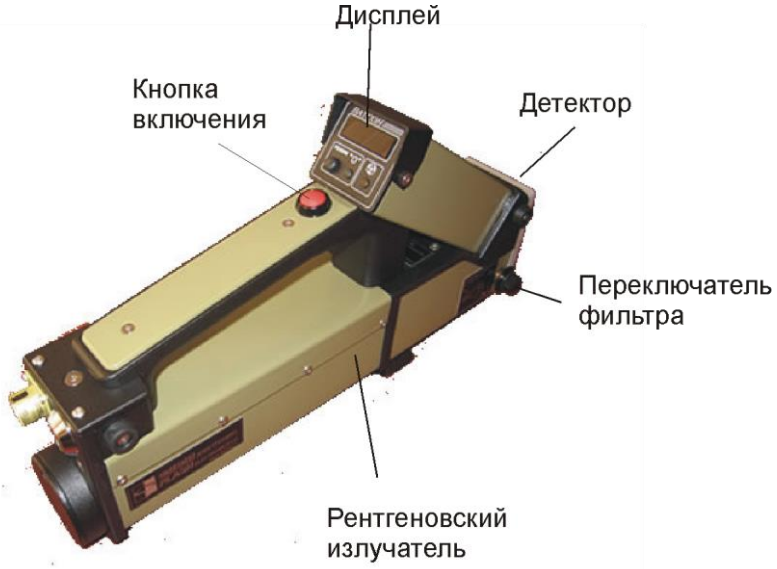


Рис. 6.30. Сканер скрытых полостей «ВАТСОН»

Сканер предназначен для обнаружения инородных вложений, в том числе оружия, наркотических и взрывчатых веществ, в оптически непрозрачных и скрытых полостях, таких как двери, сиденья, бензобаки, колеса, стенки кузовов автотранспорта, технологические люки авиатранспорта, полки, пространство за внутренней обшивкой пассажирских железнодорожных вагонов и т.п.

В сканере реализован принцип регистрации обратного рассеянного рентгеновского излучения. Источником излучения в данном случае является малогабаритный рентгеновский излучатель с анодным напряжением 50 кВ, что повысило безопасность эксплуатации прибора. Для регистрации рассеянного рентгеновского излучения в приборе используется сцинтилляционный детектор.

Сканер разрабатывался для обнаружения вложений низкой плотности 0,5–2 г/см^3 (пластмасса, органические вещества), хотя практически может выявлять и более плотные вложения. Максимальная толщина преграды, за которой сканер осуществляет гарантированное обнаружение вложений размером

20x20x20 мм и плотностью 0,5-2 г/см^3: из дерева – 35 мм, из алюминия – 6 мм, из стали – 1,0 мм.

Пучок излучения направляется на сканируемую поверхность через коллиматор. В зависимости от режима формируется пучок излучения, расходящийся на 60° (при сканировании плотных веществ) или 40° (при сканировании веществ с низкой плотностью).

При перемещении вдоль некоторой поверхности на дисплее показывается изменение уровня рассеянного излучения, принимаемого сканером. При этом возможны два режима работы:

– абсолютное измерение – на дисплее отображается число, прямо пропорциональное уровню рассеянного излучения. Данный режим позволяет оператору судить о соответствии сигнала рассеяния типовому уровню для данного объекта контроля;

– относительное измерение – на дисплее отображается разность уровня рассеивания в текущей точке и в точке, выбранной за базовую. Режим предоставляет большее удобство обнаружения вложения по отклонению значения сигнала рассеяния относительно установленного «0».

Конструкция сканера позволяет снизить уровень облучения персонала и повысить безопасность его применения благодаря:

– встроенному коллиматору, формирующему рабочий пучок излучения, не превышающий 60° без фильтра и 40° с фильтром;

– нахождению оператора в зоне, противоположной направлению излучения;

– наличию фильтра рентгеновского излучения, уменьшающего мощность дозы в рабочем пучке излучения в случае сканирования преграды с низкой плотностью без ручной установки фильтра (уменьшает мощность дозы в прямом пучке не менее чем в 5 раз).

Сканер имеет автоматическую блокировку излучения, которая срабатывает при попытке сканирования преграды с низкой плотностью без фильтра рентгеновского излучения.

6.5. Рентгенотелевизионные системы «Homo-scan» для персонального досмотра

Значительные пассажиропотоки в аэропортах, морских и железнодорожных вокзалах, определяют необходимость внедрения технических средств, обеспечивающих быстрый и эффективный персональный досмотр каждого пассажира с целью повышения уровня безопасности в зонах большого скопления людей. К таким техническим средствам относятся устройства типа «Homo-scan», предназначенные для обнаружения на (в) теле человека взрывчатых веществ, наркотиков и оружия.

Так, «Медрентех» предлагает установку **«Homo-scan»**[38]. Персональный досмотр человека в «Homo-Scan» (рис. 6.31) занимает всего 5 с, при этом пассажиру не нужно ничего с себя снимать, а поскольку сканер выполнен в виде кабины, рассеянное рентгеновское излучение практически отсутствует. Эта установка легко выявляет взрывчатые вещества, керамические и органические предметы спрятанные в складках одежды или на теле исследуемого. Предельная контрастная чувствительность установки позволяет распознавать медную проволоку 0,2 мм. Проникающая способность по стали – не менее 22 мм.

Доза, получаемая при однократном сканировании не превышает 0,3 мкЗв. Допустимо производить до 150-ти сканирований в год без ущерба для здоровья человека.

Рис. 6.31. Установка персонального досмотра человека «Homo-Scan»

Рис. 6.32. Установка персонального досмотра Secure 1000 компании Rapiscan

Система сканирования Secure 1000 производства компании Rapiscan является безопасной, не создающей неудобств обследуемому объекту системой сканирования, которая быстро и аккуратно выявляет и показывает металлические и неметаллические предметы, спрятанные на теле человека, что позволяет усилить безопасность и уменьшает необходимость в обыске.

Система Secure 1000 (рис. 6.32) позволяет оператору выявить опасность, путем вывода изображения взрывоопасных материалов, таких как динамит, пластиковая взрывчатка C4, DetasheetR, а также керамика, графитные волокна, пластиковые контейнеры, пластиковое оружие, стеклянные пробирки, шприцы, упакованные наркотики, упакованные денежные купюры и даже деревянные объекты. Лицо, которое должно пройти сканирование, устанавливается перед системой на 6 секунд. Производится его сканирование спереди, сзади и с 2 боков. Цифровое

[38] Специальное конструкторское бюро «Медрентех» [Электронный ресурс]: М.: MEDRENTECH.RU, 2009. Режим доступа: World Wide Web. URL: www.medrentech.ru.

изображение выводится непосредственно на экран компьютера, и на нем видно изображение предметов, спрятанных под одеждой.

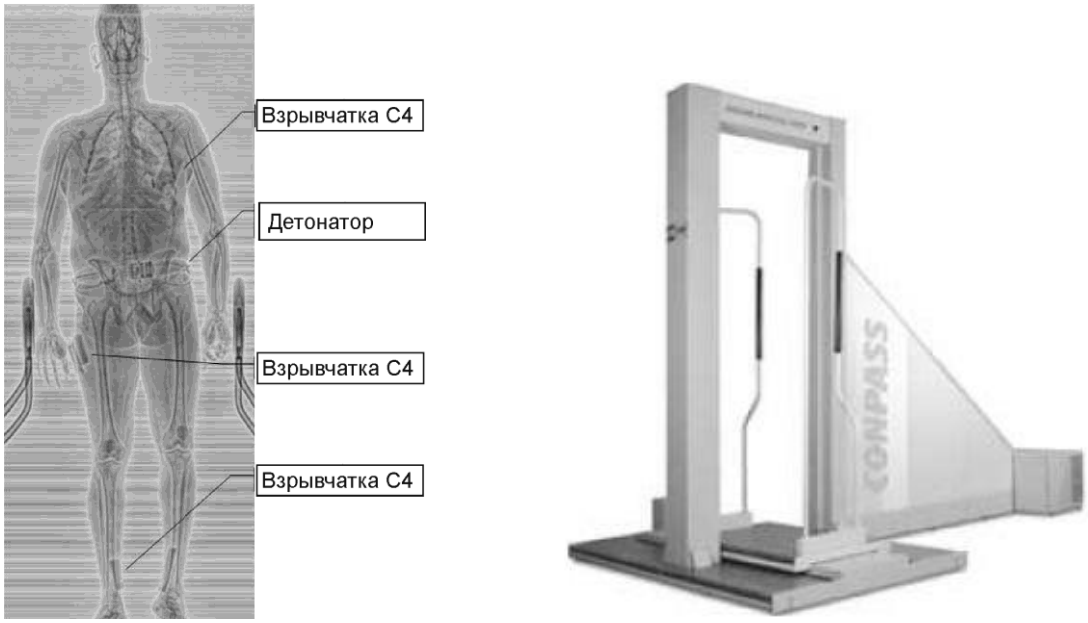
Система Secure 1000 работает на принципе сканирование предмета узким рентгеновским лучом. Часть рентгеновского луча отражается телом в обратном направлении. Такие отраженные лучи улавливаются системой датчиков и обрабатываются по определенному алгоритму.

Скорость сканирования Secure 1000 менее 8 секунд на одно изображение. При этом доза, полученная за один сеанс сканирования: менее 10 микро БЭР (рис. 6.33).

Рис. 6.33. Сравнительный уровень безопасности системы персонального досмотра

Цифровой рентгенографический сканер персонального досмотра «DRS SecureScan» предназначен для обнаружения опасных предметов, проглоченных или спрятанных в естественных полостях человека.

В сканере DRS SecureScan (рис. 6.34) использована уникальная технология, основанная на получении цифрового проекционного рентгеновского изображения человека в полный рост методом «сканирования плоским пучком». DRS SecureScan позволяет получить проекционное рентгеновское изображение конролируемого и «увидеть», что спрятано под одеждой; «заглянуть внутрь человека».



а *б*

Рис. 6.34. Установка SecureScan:
а – результат сканирования;
б – принцип работы

DRS SecureScan может использоваться в двух основных режимах: «Оптима» и «Скрининг». Изменение параметров рентгеновского излучения и цифрового изображения позволяет в зависимости от конкретной задачи провести оптимизацию системы. Например, скрининг персонала проводить при пониженной дозовой нагрузке, досмотр посетителей или персонал, вызывающий подозрение – с повышенной разрешающей способностью.

РЕЖИМ «ОПТИМА»

Этот режим обеспечивает высокую пространственную и контрастную разрешающую способность. Использование данного режима эффективно для обеспечения мер безопасности любого охраняемого объекта в дополнение к жёсткому контролю и ограниченному числу посещений таких объектов.

РЕЖИМ «СКРИНИНГ»

В этом режиме генерируется исключительно низкий уровень рентгеновского облучения, что позволяет обнаружить оружие, взрывчатку и другие опасные предметы диаметром более 10 мм. При досмотре не требуется индивидуальный учёт накопленной дозы, что делает возможным использование сканера в местах массового скопления людей: в аэропортах, на вокзалах, стадионах и др. Даже беременные женщины и дети без вреда для здоровья могут подвергаться досмотру сотни раз в год.

6.6. Комплексные досмотровые системы

В настоящее время особую актуальность приобретают комплексные системы безопасности, включающие средства для досмотра багажа, личного досмотра

пассажира, обнаружения наркотических и взрывчатых веществ, металлических предметов.

Примером такой системы является установка ACX™ 6.4 (рис. 6.35) фирмы L3 Communications Security & Detection Systems.

Рис. 6.35. Комплексная система безопасности ACX™ 6.4

Основными составляющими данной системы являются: 1 – система досмотра ручного багажа; 2 – рольганги для установки длинномерного багажа, 3 – барьерный турникет, снабженный спектрометрической аппаратурой для обнаружения наркотических и взрывчатых веществ; 4 – рентгеновский «хомоскан» для личного досмотра пассажиров, позволяющий построить трехмерное голографическое изображение человека и обнаружить даже сверхтонкие металлические предметы на его теле; 5 – металлодетектор.

Дополнительно установка ACX™ 6.4 может быть дополнена системой сканирования документов, устройством считывания смарт-карт и распознавания штрих-кодов, идентификации личности по отпечаткам пальцев.

6.7. Методика сравнительных испытаний рентгенотелевизионных установок (РТУ)

В интересах проведения сравнительного анализа различных досмотровых рентгеновских аппаратов начальником Центрального таможенного управления утверждена специальная Методика сравнительных испытаний рентгенотелевизионных установок, основные положения которой:

1. Сравнительная проверка технических характеристик и возможностей проводится на исправных РТУ с обеспечением требований радиационной защиты персонала от ионизирующего излучения.

2. Все проверки проводятся в помещениях, где установлены РТУ, в существующих климатических условиях.

Таблица 6.2.

Измерительное оборудование, необходимое для сравнительного анализа досмотровых рентгеновских аппаратов

	Наименование измерительного средства, оборудования	Обозначение	Характеристики, погрешность измерений, класс точности, ГОСТ
1.	Тест-объект в составе: - набор стальных пластин толщиной 15, 20, 25, 30 мм со свинцовой перемычкой; - набор алюминиевых пластин толщиной 5, 8, 11 мм; - медная проволока толщиной 0,10, 0,13; 0,16; 0,20; 0,28; 0,32 мм; - пластик толщиной 40 мм; – свинцовые полосы на пластике шириной 2,0 и 3,0 мм; - наборная стальная пластина толщиной 0,1 до 10,0 мм		
2.	Рулетка	Р5УЗП	± 2%, ГОСТ 7502-89
3.	Линейка		ГОСТ 427-75
4.	Весы		±5%, предел взвешивания до 1500 кг
5.	Дозиметр	ДКС-АТ-1123	

Перечень рекомендуемых контрольно-измерительных приборов, оборудования и материалов, необходимых для проведения испытаний, приведен в табл. 6.2.

3. Все работы должны проводиться согласно эксплуатационной документации на РТУ.

4. Проникающая способность по стали РТУ должна быть не менее 20-25 мм. Для проверки поместить по центру транспортера РТУ стальную(ые) пластину(ы) общей толщиной от 20 до 25 мм перпендикулярно направлению рентгеновского луча. За стальной пластиной расположить свинцовую пластину. Провести сканирование теста. Толщина стальных пластин (от 20 до 25 мм), за которыми еще будет видна на экране монитора РТУ свинцовая пластина, составляет значение проникающей способность РТУ, которое заносится в протокол сравнительных испытаний.

5. Разрешающая способность (по одиночному медному проводу) РТУ должна быть не хуже 0,15 мм. Для проверки разрешающей способности поместить по центру транспортера тест с закрепленными на нем медными проволочками диаметром 0,1; 0,12; 0,15; 0,2 мм. Провести сканирование теста.

Диаметр медной проволочки, которая еще будет видна на экране монитора РТУ, составляет значение разрешающей способности РТУ, которое заносится в протокол сравнительных испытаний.

6. РТУ должна обеспечивать распознавание материалов контролируемого объекта с соответствующим окрашиванием изображения на экране монитора. Цвета должны быть выбраны в соответствии с цветовой шкалой:

$0 < Z_{эфф} < 10$ желтый (органика);

$10 < Z_{эфф} < 18$ зеленый (неорганика, переходная группа);

$18 < Z_{эфф} < 40$ синий (металлы).

В РТУ различных изготовителей цветовая раскраска может отличаться. В этом случае цветовая палитра и ее значения для конкретных групп материалов должны быть указаны в эксплуатационной документации.

Передача информации о толщине материала должна осуществляться посредством изменения интенсивности цветового сигнала, т.е. предметы из одного и того же материала, но имеющие разную толщину, должны иметь одинаковый цвет при различной его интенсивности (яркости).

Для проведения проверки возможности РТУ распознавать материалы контролируемых объектов поместить по центру транспортера тест-объект и провести сканирование. Органические материалы на экране монитора должны быть окрашены в желтый цвет различной интенсивности в зависимости от толщины, неорганические – в зеленый, металлы – в синий. При этом не должно наблюдаться зернистости изображения, искажений и т.п.

Результат проверки на соответствие указанным требованиям заносится в протокол сравнительных испытаний.

7. Проверка наличия функций обработки изображения осуществляется на РТУ в соответствии с требованиями эксплуатационной документации на нее. Должны быть реализованы следующие функции обработки изображения:

– изменение масштаба, позволяющее увеличивать изображения в х 2, х 4 и х 8 раз;

– отображение рентгеновского изображения в негативе;

– оконтуривание, то есть выделение границ и переходов;

– регулировка контрастности (гамма-коррекция);

– регулировка яркости.

Наличие указанных функций заносится в протокол сравнительных испытаний.

8. Проверка наличия режимов работы осуществляется на РТУ в соответствии с требованиями эксплуатационной документации на нее.

Должны быть реализованы следующие режимы:

– отображение даты и времени контроля;

– счетчик объектов контроля;

– режим повторного просмотра не менее двух предыдущих изображений без дополнительного обращения в меню и базу данных РТУ;

– режим автоматической аппаратной диагностики;

– режим реверса и обратного сканирования объектов контроля;

– индикация режима работы;

– хранение полученных изображений в цифровом виде в базе данных с возможностью их последующего воспроизведения на мониторе, записи на съемный диск (флэш-диск) или CD (DVD) и трансляции внешним потребителям, в том числе по ЛВС.

Наличие указанных режимов заносится в протокол сравнительных испытаний.

9. Емкость базы данных РТУ должна быть не менее 10000 рентгеновских изображений.

Проверка емкости базы данных осуществляется по технической документации на РТУ. Указанная емкость жесткого диска РТУ в Гбайт делится на размер рентгеновского изображения в Мбайт. Полученное значение должно быть не менее 10000.

Результат проверки на соответствие указанным требованиям заносится в протокол сравнительных испытаний.

10. Проверка наличия элементов, сигнализирующих о включении питающего напряжения и рентгеновского излучения, устройств, экстренно отключающих рентгеновское излучение и транспортер, а также замка в цепи питания осуществляется визуально в соответствии с эксплуатационной документацией.

Результат проверки на соответствие указанным требованиям заносится в протокол сравнительных испытаний.

11. Проверка грузоподъемности осуществляется на РТУ в соответствии с требованиями эксплуатационной документации на нее.

Груз весом, равным предельному, указанному в эксплуатационной документации, помещается на конвейер, пропускается через рабочую зону и снимается выхода РТУ.

Результат проверки заносится в протокол сравнительных испытаний.

12. Радиационная безопасность.

РТУ по безопасности эксплуатации должна обеспечивать выполнение Норм радиационной безопасности (НРБ-99/2009), Основных санитарных правил обеспе-

чения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010), Гигиенических требований к производству, эксплуатации и контролю рентгеновских установок для досмотра багажа и товаров (СанПиН 2.6.1.2369-08) и должна быть разрешена к применению Роспотребнадзором (необходимо наличие санитарно-эпидемиологического заключения Роспотребнадзора).

Проверку обеспечения требований радиационной безопасности следует проводить дозиметром по методике выполнения измерений при радиационном контроле путем измерения мощности дозы излучения на рабочем месте оператора и на расстоянии 50 мм от корпуса установки при контроле тест-объекта. Мощность дозы излучения, измеренная в любой из контрольных точек, расположенных на плоскостях РТУ и на рабочем месте оператора, не должна превышать 1,0 мкЗв/ч (0,1 мбэр/ч), данный параметр заносится в протокол радиационной проверки РТУ.

Результат проверки на соответствие указанным требованиям, а также наличие санитарно-эпидемиологического заключения заносятся в протокол сравнительных испытаний.

6.8. Об эксплуатации досмотровой рентгенотелевизионной техники на СВХ

Досмотровая рентгеновская техника, установленная на складах временного хранения и принадлежащая владельцем СВХ, используется должностными лицами таможенных органов для осуществления таможенного контроля товаров, помещаемых на СВХ[39].

Передача ДРТ, принадлежащей владельцу СВХ, таможенному органу может быть осуществлена по договору безвозмездного пользования в соответствии с положениями главы 36 «Безвозмездное пользование» Гражданского кодекса РФ.

В данном договоре должны быть определены условия передачи досмотровой рентгеновской техники таможенному органу, права, обязанности и ответственность сторон по поддержанию оборудования в исправном состоянии, обеспечению его сохранности, осуществлению текущего и капитального ремонта и других расходов, получению необходимых разрешительных документов на право эксплуатации ДРТ и другие вопросы.

В связи с тем, что передаваемое оборудование относится к генерирующим источникам ионизирующего излучения, на обращение с ним накладывается ряд специальных требований по вопросам радиационной безопасности и радиационного контроля.

Вопросы обеспечения радиационной безопасности и радиационного контроля при эксплуатации ДРТ регулируются «Основными санитарными правилами обеспечения радиационной безопасности» (ОСПОРБ-99/2010) и связанными (ссылочными) документами, требования к эксплуатации ДРТ – Санитарно-эпидемио-

[39] Письмо СЗТУ от 16.06.05 №11-01-08/11465ф «Об эксплуатации ДРТ на СВХ».

логическими правилами и нормативами СанПиН 2.6.1.2369-08 и связанными (ссылочными) документами.

Досмотровая рентгеновская техника относится техногенным ИИИ подлежит обязательному контролю и учету. Обращение с техногенными ИИИ или радиоактивными отходами допускается только при наличии санитарно-эпидемиологического заключения о соответствии условий работы с ними санитарным правилам.

Особенности оснащения ДРТ СВХ определены Приказом ФТС России от 09.10.2012 № 2026 «Об определении типа технических средств для проведения радиационного контроля, типа досмотровой рентгеновской техники, критериев принятия решений об их необходимости и количестве».

6.9. Контроль качества изображений, получаемых с использованием ДРТ

Изображение – объект, образ, явление, в той или иной степени подобное (но не идентичное) изображаемому или сам процесс их создания. Подобие достигается вследствие физических законов получения изображения (например, оптическое изображение) либо результатом труда создателя изображения (например, рисунок, живопись, скульптура, сценический образ). Под изображением в узком смысле, подразумевают произведение в живописи или графике.

Для практической деятельности, в том числе при осуществлении таможенного контроля, важно дистанционно получать информацию о пространственной структуре материальных объектов, например, об их форме, деталях, чёткости, ориентации, относительных размерах, пропорциях. Изображение может быть видимым и невидимым (скрытым)[40,41]. К невидимым изображениям относятся: распределение электрических зарядов по поверхности электропроводящего слоя (электростатическое изображение), распределение интенсивности звука по поверхности приема (акустическое изображение), распределение интенсивности или плотности потока квантов рентгеновского излучения в плоскости его регистрации за просвечиваемым объектом (радиационное изображение) и т.д.

Необходимость создания механизмов визуализации отдельных видов скрытых изображений, определила формирование самостоятельных научных направлений, таких как тепловидение (визуализация теплового излучения предметов), звуковидение (визуализация акустических полей), рентгенография.

---

[40] Гренишин С.Г. Регистрирующие среды в оптике // Успехи научной фотографии. – 1985. Т 23. – С. 28–39.

[41] Добромыслов В.А., Румянцев С.В. Радиационная интроскопия. – М.: Атомиздат, 1972. – 252 с.

Применительно к человеко-машинным системам, к изображениям относят как двумерные, так и одномерные сигналы, предназначенные для визуального восприятия человеком[42].

Эффективное проектирование, теоретические исследование и потенциальная оценка качества систем визуализации изображений основываются на различных математических моделях, описывающих как сами изображения, так и создающие их процессы в технических системах визуализации.

Принципиально важными для оценки потенциального качества изображения, получаемого с помощью ДРТ, является объективная оценка параметров самих технических средств. Данный факт определяется тем, что способность рентгеновских систем воспроизводить четкое изображение неподвижного объекта, принято оценивать по суммарной нерезкости H_{Σ}:

$$H_{\Sigma} = \sqrt{H_{\tilde{A}}^{2} + H_{\ddot{I}}^{2}},$$

где НГ – геометрическая нерезкость, НП – нерезкость приемника.

Из соотношения следует, что нерезкость изображения не может быть меньше нерезкости приемника. Однако, в случаях, когда при просвечивании изображение объекта получается с увеличением, возможно нарушение указанной зависимости.

Базовый набор таких параметров представлен в работе[43]. Адаптивно к современной таможенной терминологии, ряд параметров ДРТ можно представить в следующем виде.

Контрастная чувствительность – мера возможности различать разность толщины материала по отношению к окружающему материалу. Контрастная чувствительность выражается как процентное изменение толщины однородного материала, которая минимально восприимчива оператором.

С медико-биологической точки зрения, контрастная чувствительность – способность человека видеть объекты, слабо отличающиеся по яркости от фона. Оценка контрастной чувствительности производится по синусоидальным решеткам. Повышение порога контрастной чувствительности может быть признаком ряда глазных заболеваний, в связи с чем его исследование может применяться в диагностике. Следовательно, оценка контрастной чувствительности зрительного анализатора человека-оператора ДРТ должна являться важным параметром предварительной оценки на профессиональную пригодность.

Пространственное разрешение – способность системы различить детали в плоскости изображения, описанная как длина в миллиметрах, либо как иная величина длины (например, число линий на миллиметр).

---

[42] Удод В.А. Оптимальная по разрешающей способности линейная фильтрация изображений / Дис. на соиск.уч.степени доктора технических наук, Томск, 2002. – 338 с.

[43] Завадцев А.А., Завадцев Д.А., Каминский В.И., Куцаев С.В., Собенин Н.П. Комплексы для инспекции элементного состава грузов на основе линейных ускорителей электронов. М.: НИЯУ МИФИ, 2011. − 148 с.

Разрешение изображения – рентгенографическая возможность различить отдельные части объекта на основе геометрических форм или выделения контура в изображении.

Динамический диапазон – мера диапазона толщины, который может быть получен в любом одиночном изображении без вмешательства оператора и без обработки изображения. Динамический диапазон выражается как отношение максимальной и минимальной толщин, которые могут быть одновременно на одном изображении.

Максимальное проникновение – максимальная толщина стали, за которой система может различить изображение инспектируемого объекта, в том числе как темная тень на краю.

Производительность – число похожих объектов (например, стандартный ISO 40-футовый CARGO контейнер, установленный на трейлере, присоединенном к грузовику), которое может быть обработано за 1 час.

Время инспекции – время инспекции одного из похожих объектов (например, стандартный ISO 40-футовый CARGO контейнер, установленный на трейлере, присоединенном к грузовику) (мин./объект), начиная с момента сканирования и до момента, когда следующий объект будет готов к сканированию.

Время сканирования – время выполнения радиографического сканирования объекта инспекции, состоящего из контейнера и грузовика включая получение радиографического изображения для анализа контрабанды и определение большого Z.

Интеллектуальный анализ изображения – компьютерный процесс автоматической идентификации материалов контрабанды, например, таких как наркотики, оружие, взрывчатка, делящиеся материалы.

Автоматический анализ большого Z – автоматический компьютерный процесс анализа ослабления высокоэнергетического тормозного излучения в CARGO контейнере или в грузовике для идентификации содержания материалов с большим Z.

Сигнал большого Z – сигнал обнаружения материала с большим Z, в то время как этот материал действительно имеется в инспектируемом объекте.

Ошибочное обнаружение материала с большим Z – получение сигнала автоматической системы об обнаружении материала с большим Z, в то время когда его в инспектируемом объекте нет.

Инструменты улучшения изображения и анализа – оборудование и программы, позволяющие проводить немедленный или удаленный анализ сканированного изображения, такие как масштабирование, выделение контура объекта, реверсирование белого и черного, псевдоцвет, фильтры (сглаживание, рельеф, обострение, удаление шума и т.д.), измерение объекта (получение размера объекта в изображении), возврат изображения в исходное состояние, анализ интересующей области изображения, сравнение изображений, комментарии к изображению, сохранение изображений, загрузка сохраненного изображения, печать изобра-жения.

Сигнал о недостаточном проникновении – индицирует недостаточную проникающую способность в инспектируемом объекте (большие толщина и Z).

Для объективной оценки качества работы ИС и получаемых ими изображений используют дополнительные критерии качества.

Наиболее распространенным на сегодняшний день является критерий среднеквадратической ошибки и различные его варианты, такие, например, как критерий взвешенной среднеквадратической ошибки. В формализованном виде данный критерий чаще всего записывается следующим образом:

$$\varepsilon^2 = \iint_{\infty} \overline{\left[B(x,y) - \hat{B}(x,y)\right]^2} dxdy$$

где B(x,y) – исходное (неискаженное) изображение; $\hat{B}(x,y)$ – изображение на выходе ИС (выходное изображение); черта сверху означает математическое ожидание.

Разрешающая способность по Рэлею

Разрешающая способность оптической системы – это способность изображать раздельно два близко расположенных точечных предмета.

Иногда вместо понятия «разрешающая способность» используют понятие предела разрешения, то есть минимального расстояния, при котором два близко расположенных точечных предмета будут изображаться как раздельные.

Критерий Релея заключается в том, что при провале в распределении интенсивности изображения двух близких точек в 20% эти точки будут восприниматься как раздельные. Для этого необходимо, чтобы центральный максимум в изображении одной точки приходился бы на первый минимум в изображении другой (рис. 6.36).

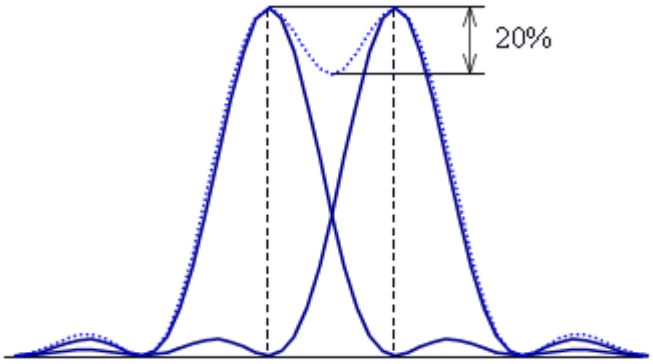


Рис. 6.36. Разрешение двух близких точек

Разрешение по Рэлею характеризует качество изображения астрономических телескопов, спектральных приборов и других оптических систем, для которых предметами являются точки или линии.

Разрешающая способность по Фуко

Критерий Фуко применяется для оценки качества изображения в оптических системах, передающих объекты сложной структуры (например, в фотообъективах). Для определения разрешающей способности по Фуко используется тест-объект (мира Фуко), который состоит из черно-белых штрихов разной толщины (рис. 6.37). Поскольку разрешающая способность оптической системы может зависеть от направления штрихов, в мире Фуко линии располагаются по четырем разным направлениям.

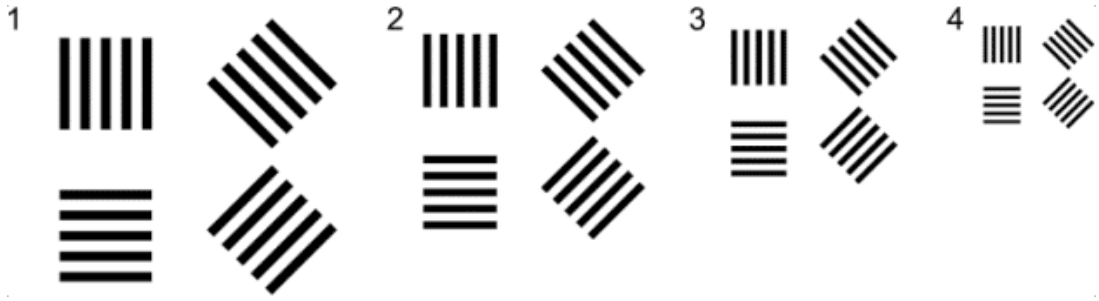


Рис. 6.37. Штриховая мира

Разрешающая способность определяется как максимальная пространственная частота периодического тест-объекта, в изображении которого еще различимы штрихи.

Для ДРТ с этой целью используют тест-объекты, в которых роль штрихов выполняют наборы из стержней (проволочек), свинцовых полосок и т.п.

Практическое применение измерительных миров в виде тест-объекта типа ТПР-2, представляющего собой пластину из плексигласа толщиной 2 мм, использующейся в качестве тканеэквивалентного фантома с нанесенным на нее слоем свинца толщиной 0,05 мм, имеющей насечки с определенной шириной и расстоянием между ними, описан в диссертационной работе Стучеброва С.Г. Минимальный размер насечек, различимый на снимке позволял определять разрешение рентгенографической установки. Используемая мира позволяет определять разрешение в диапазоне от 1,0 до 10,0 пар линий/мм. На рис. 6.38 представлен результат съемки такой миры[44].

Субъективные оценки качества изображений получают в результате проведения так называемых субъективных экспертиз, которые проводят в соответствии с определенной методикой, которая регламентирует испытательные (тестовые) изображения, выбор наблюдателей, шкалы оценок, условия наблюдения, порядок проведения измерений и обработку их результатов. Для каждого эксперимента из числа типичных отбирают изображения, при воспроизведении которых исследуемый вид искажений заметен в большей степени, чем на «среднем изображении», но не чрезмерно. Для этого проводят предварительные субъективные экспертизы.

[44] Стучебров С.Г. Томографическая визуализация рентгеновских изображений с субмиллиметровым пространственным разрешением на основе импульсных источников. Дис. на соиск. уч. степени кандидата физико-математических наук. Томск, 2014, 124 с.

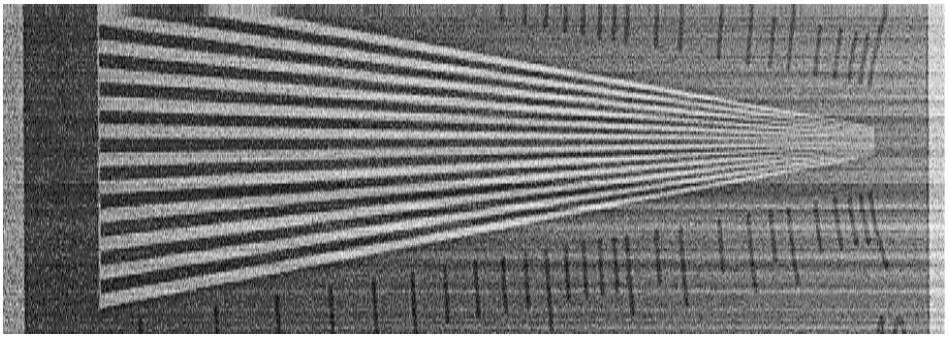


Рис. 6.38. Рентгеновский снимок тест-объекта миры ТПР-2

При выборе наблюдателей предпочтение обычно отдают не специалистам, особенно если в результате измерений нужно определять допуски на искажения. При субъективных экспертизах наблюдатели должны знать методику проведения эксперимента, шкалы оценок в диапазоне ухудшений изображений, используемых в ходе эксперимента. Число наблюдателей должно быть, по крайней мере, десять.

При установлении зависимости качества изображения от величины искажения чаще всего применяются пятиградационные шкалы качества и ухудшений (табл. 6.3).

Таблица 6.3

Шкалы оценки качества изображения[45]

Шкала качества	Шкала ухудшений
5 – отлично; 4 – хорошо; 3 – удовлетворительно; 2 – плохо; 1 – очень плохо	5 – незаметно; 4 – заметно, но не мешает; 3 – немного мешает; 2 – мешает, раздражает; 1 – сильно мешает

Когда при эксперименте нужно сравнивать изображения, рекомендуется следующая шкала (табл. 6.4).

Таблица 6.4

Шкала сравнения[46]

+ 3 – намного лучше; + 2 – лучше; + 1 – немного лучше;	- 1 – немного хуже; - 2 – хуже; - 3 – намного хуже;
0 – одинаково	

Если не требуется определять зависимость качества изображения от разных уровней помехи (или искажения), а необходимо лишь установить предельно допустимое значение помехи, например, для выработки допуска, часто применяют

[45] Кривошеев М.И. Основы телевизионных измерений. 3-е изд.: доп. и перераб. М.: Радио и связь. 1989. - 69 с.

[46] Кривошеев М.И. Основы телевизионных измерений. 3-е изд.: доп. и перераб. М.: Радио и связь. 1989. 69 с.

двухградационную шкалу оценок. Такая шкала устанавливает соответствие качества изображения, предъявляемого наблюдателю, заданному критерию.

Критерий качества изображения – это средняя оценка, данная группой наблюдателей. Для серии оценок искаженного изображения при определенном значении искажения рассчитывают относительную частоту оценок

pi=ni/ N,

Общее число оценок $$N = \sum_{i=1}^{M} n_i \ .$$

где ni – число оценок, относящих качество к i –ой категории (i = 1,2,...,M);

Затем вычисляют среднюю экспериментальную оценку:

$$U = \sum_{i=1}^{M} p_i \ .$$

В практике проведения субъективных экспертиз наряду со шкалами, представленными в таблице 6.3. также используют и нормализованные шкалы относительного качества. При этом связь между оценками q нормализованной шкалы и оценками U пятибалльной шкалы задается соотношением (табл.6.5)

$$q = \frac{U - 1}{4}$$

Таблица 6.5

Относительная шкала качества[47]

Относительное качество	Категория качества
1	отлично
0,75	хорошо
0,5	удовлетворительно
0,25	плохо
0	очень плохо

К недостаткам метода субъективных экспертиз следует отнести весьма существенное влияние характера рассматриваемых изображений и окружающей обстановки (условий наблюдения) на результаты субъективных экспертных оценок.

Контрольные вопросы по главе 6

1. Классификация досмотровой рентгеновской техники.
2. Принцип работы досмотровых аппаратов сканирующего типа.
3. Физические основы работы детекторной линейки рентгеновских аппаратов сканирующего типа.

[47] Гофайзен О.В., Епифанов Н.И. Оценка качества ТВ изображения по совокупности параметров // Техника кино и телевидения. 1976, № 6. С. 56–59.

4. Использование цветов при отображении состава вещества контролирующих объектов.
5. Способы оценки эффективного атомного номера в рентгеновских аппаратах.
6. Основные производители досмотровых рентгеновских аппаратов.
7. Досмотровые рентгеновские системы для томографии грузов.
8. Принципы работы досмотровых флюороскопов.
9. Переносные досмотровые рентгенотелевизионные аппараты.
10. Физические основы работы ручного сканера скрытых полостей.
11. Рентгенотелевизионные системы «Homo-scan» для персонального досмотра.
12. Методика сравнительных испытаний рентгенотелевизионных установок.

Глава 7. Инспекционно-досмотровые комплексы

Геополитическое положение России обуславливает прохождение через ее территорию кратчайших транспортных путей из Европы в Азию, что требует от государственных органов обеспечения контроля за перемещаемыми через государственную границу товарами и транспортными средствами.

Одним из основных способов контрабанды оружия, боеприпасов, наркотических и взрывчатых веществ является их перевозка в морских контейнерах, автофургонах, железнодорожных вагонах с маскировкой реальными грузами.

Для качественного досмотра крупногабаритных грузов требуется выполнение целого комплекса трудоемких и длительных разгрузочно-погрузочных работ (2–3 ч. на одно транспортное средство), наличия специально выделенных для этого площадок, что практически делает возможным только единичный выборочный досмотр этих объектов. Кроме того, по этим же причинам также выборочно досматриваются и сами транспортные средства, их конструкционные узлы, которые потенциально могут использоваться в качестве тайников для сокрытия предметов контрабанды.

В связи с особой опасностью использования указанных видов объектов таможенного контроля для целей организованной контрабанды мировая таможенная практика, наряду с осуществлением оперативных мероприятий, в последнее время стремится максимально исключить возможность контрабанды за счет использования для ее поиска специальной техники. Наиболее эффективной техникой в настоящее время является инспекционно-досмотровые комплексы (ИДК).

ИДК позволяет за минимальное время (3–5 мин.) без вскрытия и разгрузки грузового транспортного средства получить его изображение и изображение перевозимых в нем товаров с характеристиками, позволяющими идентифицировать перевозимые товары, конструкционные узлы транспортного средства, обнаруживать в них предметы, запрещенные к перевозке, а также проводить ориентировочную оценку количества перевозимых товаров.

Анализ применения указанных комплексов в таможенных службах и службах безопасности ряда государств Европы и Азии показывает их высокую эффективность по противодействию контрабанде и незаконному перемещению объектов, в том числе оружия и боеприпасов, наркотических и взрывчатых веществ[48,49].

В настоящее время ИДК оснащены таможенные службы Германии, Великобритании, Франции, Бельгии, Норвегии, Словакии, Голландии, США, Японии, Китая, Австралии, ОАЭ и ряда других стран. Однако, лидером по количеству ИДК является Китай. Целевая программа в Китае успешно заработала в 1997 году, и только за один месяц работы на 60% увеличила налогообложение страны в дан-

---

[48] Л.М.Ухлинов. Обеспечение безопасности поставок грузов // Электроника: производство и торговля. – №1 (13), 2005. – С.4.

[49] Кокорева И., Щелкунов Г. Рентгеновские комплексы в системах инспекционно-досмотрового контроля // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – №4, 2007. С.36–41.

ной области. В настоящий момент в Китае действуют около 50 ИДК различных видов.

Ведущими странами, производящими ИДК, являются Германия (SMITHS HEIMANN) и Китай (NUCTECH COMPANY LIMITED), Россия (ООО «Скантроник Системс». В России также рядом российских предприятий в рамках научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ активно ведется создание отдельных составных частей и узлов ИДК. В частности, ФГУП НИИЭФА им. Д.В. Ефремова (С.-Петербург) создан экспериментальный стенд, на котором отрабатываются технические параметры, алгоритмы и программы. ЗАО «НПЦ «Аспект» (Дубна) по заказу министерства промышленности и науки Московской области ведется опытно-конструкторская работа по созданию мобильного ИДК. ООО «Скантроник Системс» в кооперации с российскими предприятиями и научными организациями под эгидой ОАО Росэлектроника: НИИ СВТ, г. Киров, НИИЯФ МГУ, г. Москва, ФГУП «НПП «Торий», г. Москва создало ИДК СТ-6035 для досмотра крупногабаритных грузов в автомобильном пункте пропуска через государственную границу Российской Федерации: МАПП Пограничный, Приморский край, Уссурийский район, пос. Пограничный, заказчиком выступило «Федеральное агентство по обустройству государственной границы Российской Федерации».

ИДК выпускаются фирмами в стационарном, перебазируемом и мобильном варианте для досмотра морских контейнеров и большегрузных автомобилей.

7.1. Стационарные инспекционно-досмотровые комплексы

Стационарные ИДК появились в конце 1980-х годов. Они предназначались для контроля содержимого контейнеров, железнодорожных вагонов и автотранспортных средств. ИДК этого типа с энергетикой 9 МэВ (проникающая способность по эквиваленту стали – 380 мм) являются инспекционными системами, которые дают точное рентгеновское изображение полностью загруженных морских контейнеров и грузовых автотранспортных средств. Пропускная способность – до 25-ти контейнеров в час. Указанные комплексы требуют значительной радиационной защиты и размещаются в стационарных рентгенозащитных сооружениях.

Практика показала целесообразность строительства стационарных ИДК на территории крупных морских портов, аэропортов, автомобильных и железнодорожных пунктов пропуска. Хотя общая стоимость строительства стационарного ИДК высока, но, в современных условиях он окупается в течение короткого промежутка времени (до 3-х лет).

В настоящее время стационарные ИДК применяются таможенными службами США, Германии, Голландии, Франции, Англии, Финляндии и других стран. Наиболее эффективными считаются ИДК, предоставляющие возможность получения двух проекций сканируемого объекта (рис. 7.1).

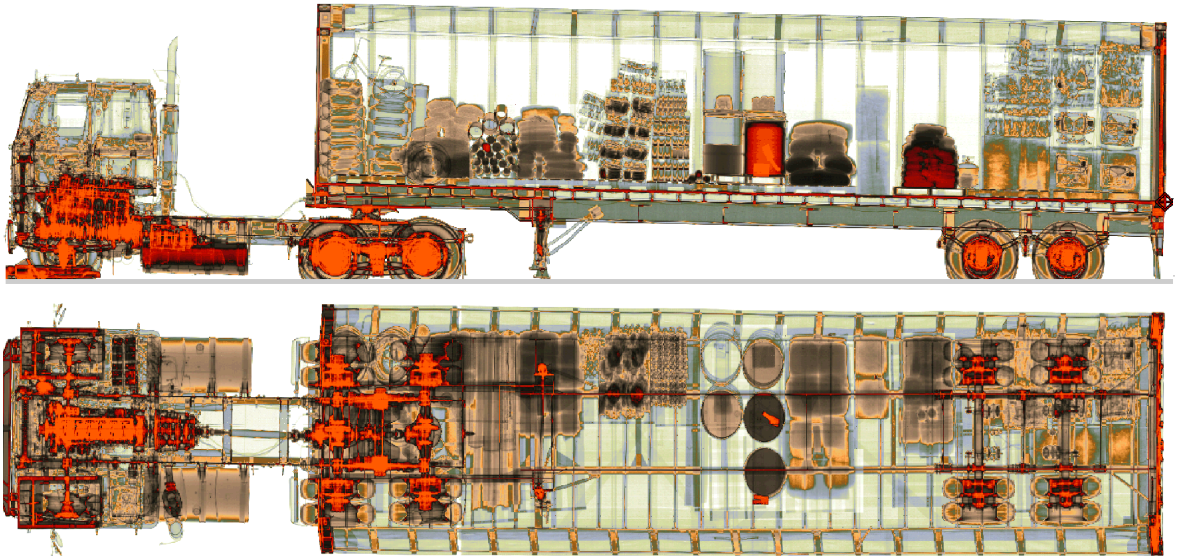


Рис. 7.1. Теневая рентгенограмма перевозимых товаров, полученная с помощью двухпроекционного ИДК

Стационарные ИДК для досмотра автотранспорта и контейнеров

Стационарные ИДК представляют собой специально построенное здание (рис. 7.2, 7.3), в котором находится досмотровый тоннель, а также все необходимые для работы персонала помещения. Досмотровый тоннель стационарного ИДК окружен бетонными стенами, служащими защитой от выхода наружу высокоэнергетичного рентгеновского излучения, применяемого для просвечивания объектов.

Рис. 7.2. Внешний вид стационарного ИДК на АПП Vaalima (Финляндия)

Таможенный осмотр транспортных средств с применением ИДК осуществляется выборочно, на основе применения системы управления рисками.

Рис. 7.3. Стационарный инспекционно-досмотровый комплекс в Морском порту «Санкт-Петербург»

В соответствии с технологией грузовой автомобиль в стационарном ИДК перемещается по досмотровому тоннелю (рис. 7.4) при помощи дистанционно управляемой конвейерной системы со скоростью 0,4 м/с.

Рис. 7.4. Стационарный ИДК: а – досмотровый тоннель; б – система торможения транспортерной ленты

Въездные и выездные ворота досмотрового тоннеля могут быть либо железобетонными, либо, стальными, открываются путем отката и на стыке имеют специальные профильные «замки» для исключения проникновения излучения наружу во время просвечивания объектов. Досмотровый тоннель оборудован телекамерами, мониторы которых установлены в операторской, что позволяет вести наблюдение за объектом непосредственно при его просвечивании. Кроме того, имеются сигнально-информационные табло, которые показывают текущий режим работы аппаратуры.

Рабочее помещение операторов оборудовано мониторами и пультом управления (рис. 7.6, а).

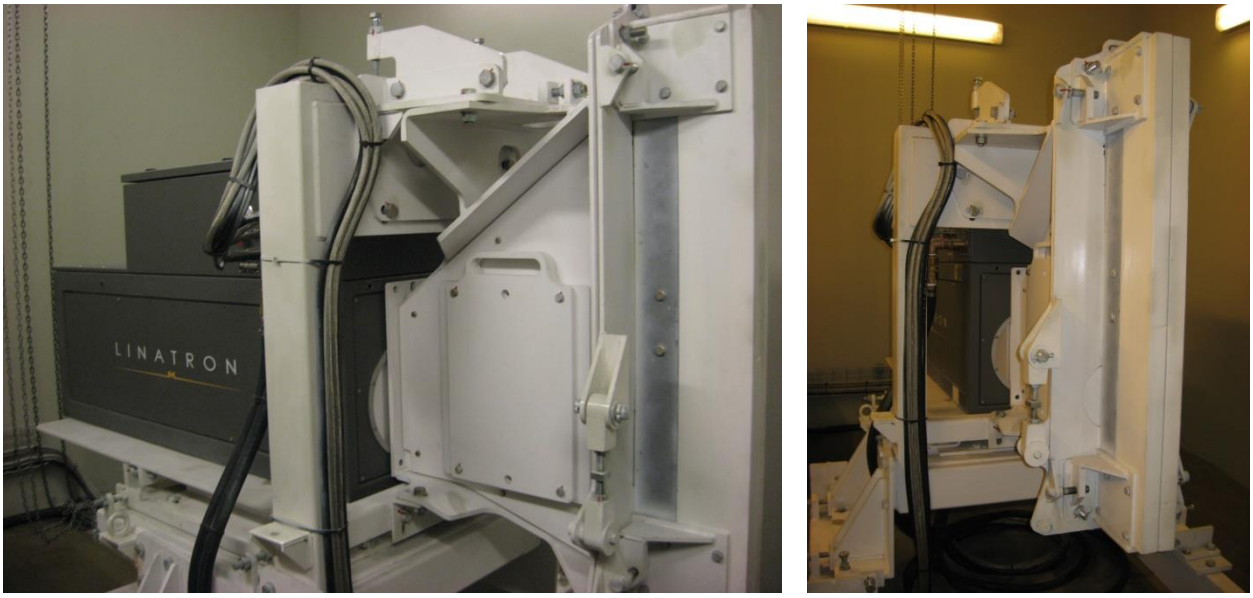


Рис. 7.5. Ускоритель стационарного ИДК

а *б*

Рис. 7.6. Стационарный ИДК:
а – система отображения информации;
б – система управления и обработки изображений

На мониторах воспроизводится исходное теневое и обработанное с помощью специальных функций изображение досматриваемого объекта, телевизионное изображение из досмотрового тоннеля и, если это нужно, воспроизводятся таможенные документы на досматриваемый объект. Если перед направлением в досмотровый тоннель производится взвешивание объекта на осевых весах, то ре-

зультаты взвешивания также будут доступны операторам. Таким образом, при анализе теневых картин операторы имеют исчерпывающую информацию для принятия правильного решения.

Досмотровый тоннель стационарного ИДК может иметь два (вертикально и горизонтально расположенных) или один линейных ускорителя (рис. 7.5), которые излучают веерообразные пучки, направленные на детекторные линейки, расположенные сбоку и снизу от досматриваемого объекта, обеспечивая, таким образом, две проекции теневого изображения. В местах расположения источников излучения и линеек детекторов стены тоннеля выполнены из толстого (до 1,5 м) армированного железобетона, предотвращающего выход неиспользованного излучения наружу.

Аппаратура обработки изображения (рис. 7.6, б) позволяет:

– выбирать любой фрагмент вертикальной или горизонтальной проекции теневого изображения объекта и увеличивать его в 2 или 4 раза;

– применять к изображению операцию выделения поддиапозона яркостного сигнала;

– оконтуривать полученные изображения;

– представлять изображения в виде негатива;

– представлять изображения в режиме «псевдоцвета»;

– оценивать координаты и линейные размеры предметов, вызывающих оперативный интерес, для облегчения их поиска при последующем физическом досмотре объекта;

– сохранять изображение в памяти, а также распечатывать на бумаге.

Процессом просвечивания объектов управляет главный оператор со своего рабочего места. Он открывает и закрывает ворота, включает и выключает линейные ускорители, управляет перемещением объекта. Причем его действия дублируются сигналами, передаваемыми на сигнально-информационных табло и в рабочем помещении операторов.

Грузовые автотранспортные средства, в которых груз по результатам анализа рентгеновского изображения не вызвал подозрений, направляются к выезду с территории ИДК. Транспортные средства, в изображениях которых выявлены те или иные признаки нарушений таможенного законодательства, направляются в бокс углубленного досмотра для выгрузки и ручного досмотра.

Результаты досмотра и оценки рентгеновского изображения выводятся на печать. Распечатки со специальными маркерами, указывающими на точное местоположение подозрительных предметов, с привязкой к реальным координатам могут использоваться для облегчения поиска данных предметов при ручном досмотре.

В целом, использование стационарной инспекционно-досмотровой системы контроля крупногабаритных объектов обеспечивает высокую эффективность обнаружения наркотических средств и взрывчатых веществ, оружия, взрывных устройств, а также других предметов таможенных правонарушений.

В боксы для углубленного досмотра грузов и транспортных средств направляются те объекты, в отношении которых имеется подозрение на наличие в них предметов таможенных правонарушений. Боксы оборудованы смотровыми ямами, подъёмниками, используемыми при демонтаже агрегатов, необходимым комплектом слесарного инструмента, системами слива топлива и погрузочно-разгрузочной техникой.

Рабочий цикл стационарного ИДК занимает около 150 с. Отсюда следует, что теоретически производительность контроля может достигать значения 20-25 объектов в час. Однако реальная производительность работающих комплексов может быть заметно ниже. Производительность работы зависит от принятой технологии контроля, которая позволяет совмещать определённые подготовительные и основные операции рабочего цикла, а также от личного опыта оператора, который проводит анализ результатов сканирования.

Основные технические характеристики стационарного ИДК «HCV 9000» приведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Основные технические характеристики стационарного ИДК «HCV 9000»

Техническая характеристика	Значение
Энергия излучения	9
Глубина проникновения излучения по стали, мм	380
Разрешающая способность по диаметру стальной проволоки, мм	1,5
Экспозиционная доза излучения на объект за одну инспекцию, мР	25
Количество досматриваемых объектов в час	Проектная 20
Количество проекций	2 (или 1)
Исполнение	бетонное здание с раздвижными воротами
Устройства перемещения объекта	буксировочная система
Напряжение питания, В	~380
Потребляемая мощность, кВА	60
Количество обслуживающего персонала (одна смена), чел.	4..5

Позитивным опытом внедрения отечественных технических средств является создание ООО «Скантроник Системс» в кооперации с российскими предприятиями и научными организациями ИДК СТ-6035 для досмотра крупнога-баритных грузов в автомобильном пункте пропуска через государственную границу Российской Федерации: МАПП Пограничный, Приморский край, Уссу-рийский район, пос. Пограничный (рис.7.7). Заказчиком выступило «Федеральное агентство по обустройству государственной границы Российской Федерации».

В сентябре 2012 года технологическое оборудование ИДК модели СТ-6035 прошло заводские испытания в г. Санкт-Петербург и было продемонстрировано представителям различных ведомств и организаций: ФТС России, ФСБ России,

Росгранстроя, Российской таможенной академии и получило высокую оценку специалистов данных ведомств.

Рис. 7.7. ИДК СТ-6035 производства ООО «Скантроник Системс»

23 октября 2013 года произведен запуск комплекса СТ-6035 на МАПП Пограничный, получены первые изображения и произведена аттестация комплекса по его основным техническим характеристикам

Отличительной особенностью СТ-6035 является возможность достоверного распознавания материалов различной физической природы, вне зависимости от сложности груза и плотности его укладки.

Основные технические характеристики стационарного ИДК СТ-6035 приведены в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Основные технические характеристики стационарного ИДК СТ-6035

Параметры		Значение
Установка тормозного фотонного излучения	Энергия пучка электронов Частота следования импульсов	6 / 3.5 МэВ 2 х 200 Гц
Подсистема обнаружения излучения	Количество датчиков Высота сканирования Разрядность АЦП	2112 до 4,5 м 20 бит
Качество изображения	Глубина проникновения в стали Обнаружение проволоки без преграды Контрастная чувствительность Диапазон эффективного распознавания материалов	400 мм Ø 0,5 мм 0,5 % 5-140 г/см^2
Пропускная способность и габариты	Пропускная способность Максимальные габариты т.с. Вертикальный клиренс системы (просвет передвижной рамы)	до 25 т.с. в / час 20 м х 3 м х 4.5 м (Д х Ш х В) 4,8 м
Радиационная безопасность	Максимальная доза, поглощаемая объектом за одно сканиро-	15 мкЗв

	вание Годовая доза облучения операторов	не более 1 мЗв/год
Эксплуатационные характеристики	Режим работы Условия окружающей среды: - для аппаратуры, внутри помещений - для аппаратуры вне помещений Потребляемая мощность	24/24 от + 5°С до + 45°С от -45°С до +50°С менее 60 кВА
Компьютерная система	Программное обеспечение Основные функции анализа изображений	Базируется на ОС Linux Регулировка контрастности, выравнивание гистограммы, гамма-коррекция, нахождение первообразной, сегментация, фильтрация, установка маркеров, разделение групп материалов, определение атомного номера и веса, определение энергии излучения

ИДК для досмотра железнодорожных вагонов

ИДК данного типа призваны обнаруживать взрывчатые вещества, оружие, наркотики, контрабанду; проверять содержимое вагонов и контейнеров на предмет соответствия декларации. Известно обрудование **Heimann Cargo Vision Railroad** – ИДК на базе сканирующей рентгенотелевизионной системы для проверки железнодорожных вагонов. На монитор оператора выводится изобра-жение («вид сбоку») как содержимого вагонов, так и встроенных полостей в хо-довой части.

Система функционирует в трех режимах: 3 МэВ (низкий уровень излучения) – для проверки пустых или малозагруженных вагонов и контейнеров; 4 МэВ (низкий уровень излучения) – для контроля загруженных вагонов и контейнеров; 6 МэВ (высокий уровень излучения) – для тщательного контроля полностью загруженных вагонов и контейнеров.

Комплекс проверяет поезда, движущиеся со скоростью от 1 км/ч до 12 км/ч (качество получаемого изображения зависит от скорости движения состава). Железнодорожные вагоны проходят через луч рентгеновского излучения, после чего полученные изображения вагонов запоминаются в базе данных вместе с цифровым моментальным видеоснимком номера вагона.

Оператор системы располагает рентгеновским изображением и всем набором инструментов обработки изображения для оперативного анализа содержимого вагона. Подозрительные железнодорожные вагоны можно извлечь из состава по номеру и прилагаемому рентгеновскому изображению и отправить на повтор-

ный досмотр, который производит уже персонал. Длина состава не ограничена. Практическая производительность – более 60 вагонов в час (при четырех операторах). Можно увеличить производительность сканирующей системы до 300 вагонов в час при скорости 12 км/ч. Высота контролируемого объекта 4,7 – 4,8 м. Время перебазирования установки – от 2 до 3 недель – в зависимости от применяющихся средств.

Основные технические характеристики Heimann Cargo Vision Railroad представлены в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Основные технические характеристики Heimann Cargo Vision Railroad

Энергия излучения	Проникающая способность
3МэВ	180 мм по стали при скорости 1,5 км/ч
	130 мм по стали при скорости 12 км/ч
4 МэВ	270 мм по стали при скорости 1,5 км/ч
	220 мм по стали при скорости 12 км/ч
6 МэВ	330 мм по стали при скорости 1,5 км/ч
	270 мм по стали при скорости 12 км/ч

Инспекционная система **THSCAN RF Series** специально разработана для досмотра железнодорожных составов и является уникальной системой, которая позволяет досматривать подвижный железнодорожный состав на скорости до 30 км/час. В системе (рис. 7.8) используются источник 6 МэВ или 9 МэВ, программное обеспечение позволяет свести время инспекции объекта к минимуму и получить изображение высочайшего качества за несколько секунд. Общие технические показатели системы представлены в табл. 7.4. В системе ИДК имеются функции обработки изображения: увеличение уровня контрастности, увеличение изображения, увеличение части изображения, окрашивание, выделение кромки, негативное изображение, регулирования базиса[50].

Таблица 7.4

Общие технические показатели системы THSCAN RF Series

Техническая характеристика	Значение
Энергия излучения, МэВ	6 (9 – по выбору)
Допустимая скорость сканируемого железнодорожного состава, км/ч	30
Режим эксплуатации (ч в сутки)	16
Ресурс детектора, лет	10

[50] DESTRA Technologies [Электронный ресурс]: М.: DESTRA.RU, 2009. Режим доступа: World Wide Web. URL: www.destra.ru.

Рис. 7.8. Стационарный ИДК THSCAN RF SERIES
для досмотра железнодорожных вагонов

Инспекционно-досмотровый комплекс на основе ускорителя электронов СТ-2630Т предназначен для быстрого и эффективного досмотра грузов, перевозимых по железной дороге, а также подвижного состава. Работа комплекса основана на использовании при сканировании тормозного излучения, позволяющего получить на экране монитора высококачественное радиоско-пическое изображение контролируемых товарных вагонов и перевозимых товаров и грузов.

ИДК СТ-2630Т (рис. 7.9) спроектирован для использования в различных климатических условиях. В системе автоматики комплекса используются специальные сенсорные датчики, позволяющие осуществлять фрагментацию отдельных радиоскопических изображений вагонов, их масштабирование и сохранение в базе данных. Функция идентификации вагонов позволяет однозначно сопоставлять их фотографическое изображение с соответствующим радиоско-пическим, тем самым значительно облегчая работу операторов по анализу. Возможность распознавания материалов на высоких скоростях движения дает достоверную информацию о содержимом груза.

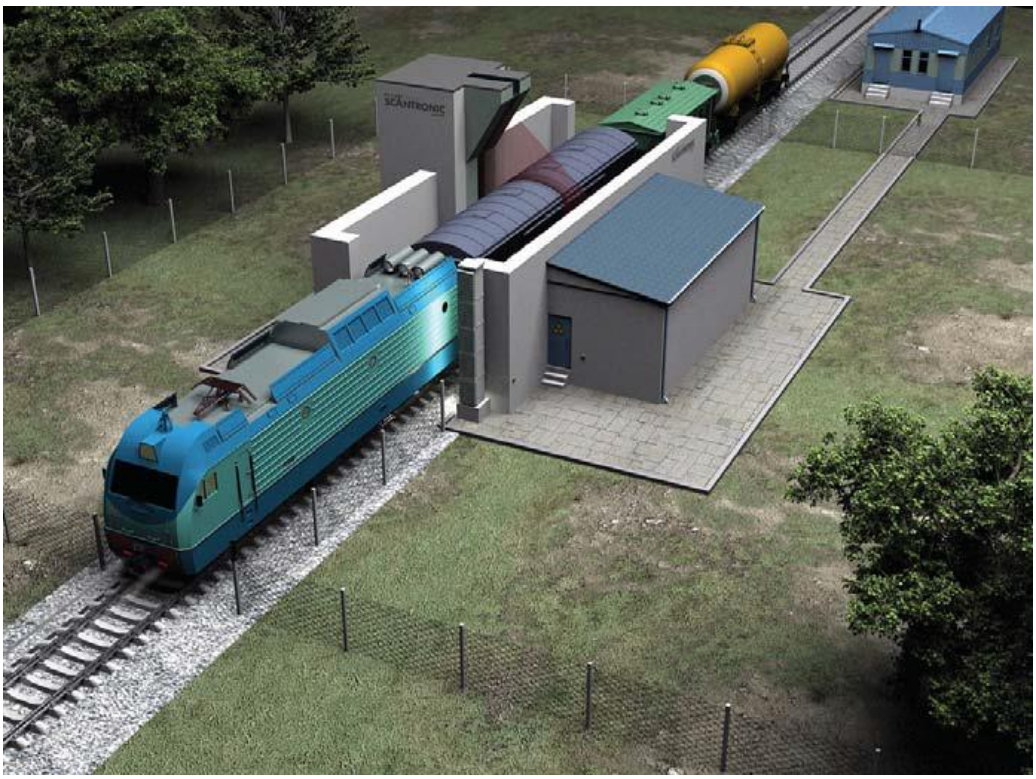


Рис. 7.9. ИДК СТ-2630Т для досмотра железнодорожных составов

Основные технические характеристики СТ-2630Т представлены в табл. 7.5.

Таблица 7.5

Основные технические характеристики СТ-2630Т

Параметры		Значение
Установка тормозного фотонного излучения	Энергия пучка электронов Частота следования импульсов Частота следования импульсов с распознаванием материалов	6 / 3.5 МэВ от 50 до 2000 Гц от 2х50 до 2х1000 Гц
Подсистема обнаружения излучения	Количество датчиков Высота сканирования Разрядность АЦП	1440 8370 мм 20 бит
Качество изображения	Глубина проникновения в стали Обнаружение проволоки без преграды Контрастная чувствительность Диапазон эффективного распознавания материалов	не менее 350 мм Ø 1 мм Не более 2 % 5-140 г/см^2
Пропускная способность и габариты	Скорость поезда при досмотре Скорость поезда при досмотре с распознаванием материала Максимальные габариты груза	до 70 км/ч до 50 км/ч 4.48 х 5.3 м (Ш х В)
Радиационная безопасность	Максимальная доза, поглощаемая объектом за одно сканирование	40 мкЗв не более 1 мЗв/год

	Годовая доза облучения операторов	
Эксплуатационные характеристики	Режим работы Условия окружающей среды: - для аппаратуры, внутри помещений - для аппаратуры вне помещений Потребляемая мощность	24/24 от + 5°С до + 45°С от -45°С до +50°С менее 80 кВА
Компьютерная система	Программное обеспечение Основные функции анализа изображений	Базируется на ОС Linux Регулировка контрастности, выравнивание гистограммы, гамма-коррекция, нахождение первообразной, сегментация, фильтрация, установка маркеров, разделение групп материалов, определение атомного номера и веса, определение энергии излучения

7.2. Перемещаемые инспекционно-досмотровые комплексы

Перемещаемые (легковозводимые, перебазируемые) ИДК с энергетикой 6 МэВ (проникающая способность по эквиваленту стали – 300 мм) позволяют по полученному рентгеновскому изображению принимать решение о соответствии перевозимого груза заявленному в товаросопроводительных документах до 85% товаров относительно стационарных ИДК.

Данные комплексы используются на автомобильных пунктах пропуска и обеспечивают пропускную способность до 20-ти грузовых автомобилей в час.

Перемещаемые ИДК не требуют развитой внешней инфраструктуры и готовы к использованию по назначению на любой подходящей территории. Технологическое оборудование комплекса размещается в быстровозводимом сооружении либо сооружении из сборных бетонных модулей (перебазируемый вариант) с упрощенной радиационной защитой (рис. 7.10, 7.11).

Все компоненты перемещаемого ИДК расположены в модулях, которые могут быть перемещены обычными средствами, например, подъемным краном и грузовиками (рис. 7.9). Время монтажа данного ИДК при перемещении его на новое место эксплуатации составляет от 3 до 14 дней.

Установка рентгеновского излучения и система обнаружения смонтированы на раме, которая может автоматически перемещаться по рельсам в прямом и реверсном направлении. Во время сканирования, досматриваемые транспортные средства неподвижны, поскольку сама рентгеновская установка перемещается вдоль транспортного средства (рис. 7.12, 7.13).

17 ноября 2005 года первый в России перемещаемый ИДК прошел приемо-сдаточные испытания на пункте пропуска «Троебортное» Брянской таможни на российско-украинской границе.

Рис. 7.9. Перемещаемый ИДК в походном положении

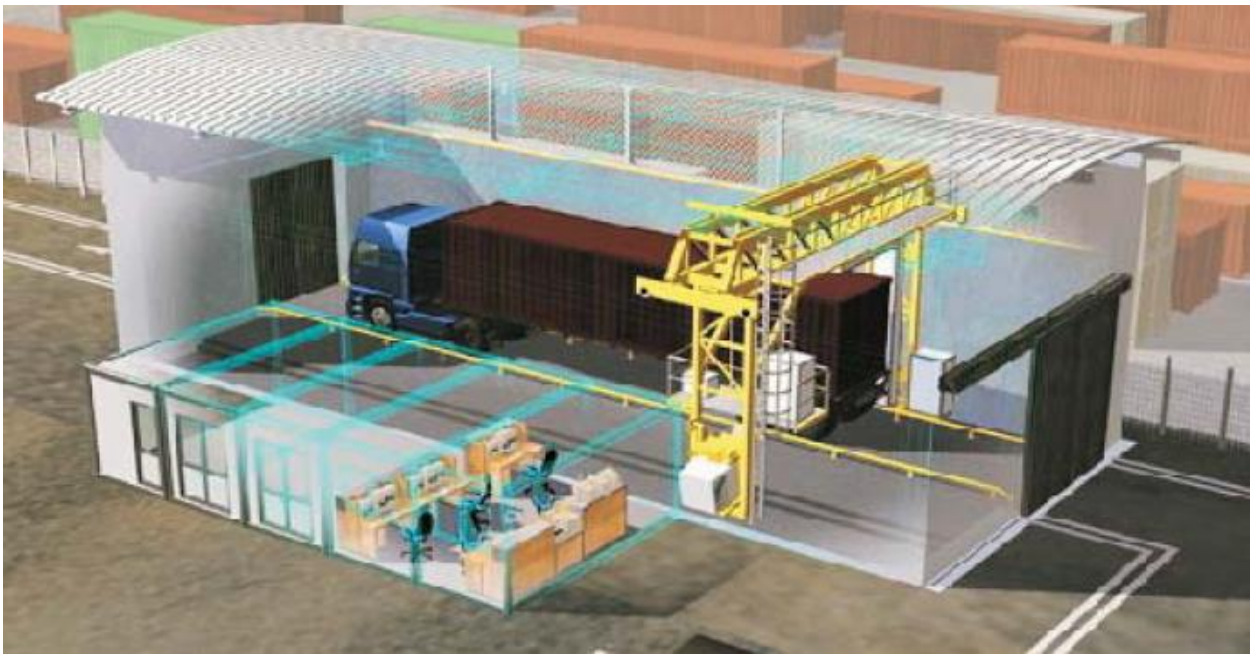


Рис. 7.10. Схема размещения перемещаемого ИДК HCV-Gantry

А *б*

Рис. 7.11. Перемещаемые ИДК снаружи:
а – МАПП «Бурачки» Себежской таможни
б – МАПП «Торфяновка» Выборгской таможни

Рис. 7.12. Перемещаемый ИДК изнутри
(МАПП «Торфяновка» Выборгской таможни)

Перемещаемый ИДК для досмотра контейнеров/машин **THSCAN MB1215** (рис. 7.13) предназначен для использования на автомобильных, авиа и водопаромных пунктах пропуска и таможенных постах. Инспекционная система использует линейный ускоритель электронов, работая на основе специально разра-

ботанной технологии матричного сканирования, что повышает чувствительность и качество изображения. При проектировании устройства использован метод интеграции оборудования, что значительно повышает удобство его транспортировки автомобильным, водным или железнодорожным видами транспорта, повышает гибкость его использования.

а

б *в*

Рис. 7.13. Перебазируемый ИДК THSCAN MB1215DE:
а – внешний вид; б – центр управления, ***в*** – операторская

Перемещаемый ИДК SilhouetteScan Mobile CAB 2000 – рентгеновская система для инспекции грузов (рис. 7.14). Состоит из рабочего модуля на базе двадцатифутового контейнера, перевозимого грузовым автотранспортным средст-

вом для стандартного контейнера (ISO 668), который может перевозить перемещаемые платформы класса С 745 (EN 284).

Mobile CAB 2000 – это рентгеновская система средней мощности, работающая с электронным ускорителем HI-PACC до 2,5МэВ, достигающая интенсивности рентгеновского излучения 2 рад/мин (на расстоянии 1 метр от точки излучения).

Рис. 7.14. Перемещаемый ИДК SilhouetteScan Mobile CAB 2000

Конструкция системы обеспечивает быструю процедуру инспекции груза без необходимости вскрытия контейнера или транспортного средства.

Система обладает высокой проникающей способностью. Стандартные размеры инспектируемого объекта: 2,5 м(Ш)×4,2 м (В)×20,0 м (Д).

Перевозимая система легко может быть доставлена практически в любую местность, при этом частичный монтаж или демонтаж системы занимает около одного часа. Система основана на современной рентгеновской технологии сканирования HI-SCAN.

Перемещаемый ИДК Rapiscan Eagle P6000 является высокоэнергетичной инспекционно-досмотровой системой, позволяющей в автоматическом режиме досматривать до 180 автомобилей в час (рис. 7.15). Рентгеновское излучение автоматически включается после прохождения кабины автотранспортного средства.

Рис. 7.15. Перемещаемый ИДК Rapiscan Eagle P6000

Технические характеристики перемещаемых ИДК «HCV-RSV 2500», Silhouette Scan Mobile CAB 2000, «HCV-Gantry» и THSCAN MB1215[51,52,53] приведены в табл. 7.6.

Таблица 7.6

Технические характеристики перемещаемых ИДК

Техническая характеристика	Значение			
	SilhouetteScan Mobile CAB 2000 (“Heimann Systems”)	«HCV-RCV 2500» (“Heimann Systems”)	«HCV-Gantry» (“Heimann Systems”)	THSCAN MB1215 (“NucTech”)
Энергия излучения, МэВ	2,5	2,5	6	7 (8 или 9 – по выбору)
Глубина проникновения излучения по стали, мм	160	200	330	380
Разрешающая способность по диаметру стальной проволоки, мм		–	–	0,8 (1,5 за 100 мм стальной пластиной)
Время переустановки	1 час	не более 2 недель		Не более 3 дней
Количество досмат-	30	12	до 30	не менее 25

[51] Т-Досмотр: видимо невидимое [Электронный ресурс]: М.: DOSMOTR.RU, 2009. Режим доступа: World Wide Web. URL: www.dosmotr.ru.

[52] А.Н.Мячин и др. Инспекционно-досмотровые комплексы. Общая часть. Учебно-методическое справочное пособие – СПб: РИО СПб филиала РТА, 2007. – 160 с.

[53] DESTRA Technologies [Электронный ресурс]: М.: DESTRA.RU, 2009. Режим доступа: World Wide Web. URL: www.destra.ru.

риваемых объектов в час				
Исполнение	Модульное, 20 ft контейнер	бетонное модульное здание + модули аппаратуры + защитные ворота		бетонные блоки + модули операторских кабин
Количество проекций	1	1	1 (возможно 2 – боковая и вертикальная)	1
Способ сканирования объекта	объект движется самостоятельно	буксировка вагонеткой	Перемещается сканирующее устройство	
Количество обслуживающего персонала (одна смена), чел.	1-2	2..3	3…4	4

Ускоритель данного ИДК имеет мощность 6 МэВ с проникающей способностью до 400 мм по стали.

7.3. Мобильные инспекционно-досмотровые комплексы

Мобильные ИДК (далее – МИДК) с энергетикой до 3 МэВ (проникающая способность по эквиваленту стали – до 220 мм), смонтированы на шасси автомобиля и требуют при работе наличия санитарной зоны. Они позволяют по полученному рентгеновскому изображению принимать решение о наличии либо отсутствии грузов в контейнере и соответствии товаросопроводительным документам товаров с малыми объемными плотностями. МИДК в основном используются в интересах оперативных подразделений таможенных и других правоохранительных органов.

МИДК используется в тех местах (зонах таможенного контроля), где необходимо проведение проверки транспортных средств и крупногабаритных грузов, но нет возможности установить стационарную систему. При проведении рентгеновского контроля крупногабаритных объектов, сам объект остаётся неподвижным, а сканирование осуществляется за счёт перемещения МИДК.

Такие системы полностью размещается на шасси автомобиля. Развёртывание комплекса в рабочее положение занимает несколько десятков минут. Для его работы необходима ровная площадка с двумя заасфальтированными полосами (фактически для этого может быть использован участок автодороги). Особое внимание при эксплуатации МИДК следует уделить организации и обеспечению режима зоны радиационной безопасности (санитарной зоны).

Среди данного вида ИДК существует разделение на низкоэнергетические, среднеэнергетические и высокоэнергетические.

Низкоэнергетические (до 300 кэВ) МИДК имеют наименьшую проникающую способность излучения (не более 50 мм по стали), обладают повышенной производительностью (до 30 досматриваемых объектов в час), более радиационно безопасны и позволяют определить внутреннее содержимое объекта таможенного контроля без его детального анализа. Они разработаны для решения конкретной оперативной задачи: досмотра мало загруженных контейнеров и автомобилей.

Среднеэнергетические (2,5 МэВ) и высокоэнергетические (более 4 МэВ) МИДК способны обеспечить рентгеновский досмотр полностью загруженных грузовых автотранспортных средств и контейнеров. Они могут также использоваться для проверки объектов, которые нельзя передвигать.

МИДК HCV-Mobile (рис. 7.16, 7.17) представляет собой автомобиль, который может работать на любой территории, т.е. не требует внешней инфраструктуры. При энергии излучения от 3 до 4 МэВ глубина просвечивания составляет до 270 мм по стали, время подготовки к работе – менее 30 мин, количество обслуживающего персонала минимально (3 чел.). Производительность комплекса – 25 грузовых автотранспортных средств в час, стандартные размеры проверяемого автомобиля – 4,5 м (В) × 2,8 м (Ш) × 28 м (Д).

В отсеке операторов HCV-Mobile (рис. 7.18) размещены две рабочие станции анализа изображений (RIW), рабочая станция баз данных (DBW), рабочая станция управления и мониторинга (CMW), рабочая станция регистрации (CIW) и станция сборки и предварительной обработки (PAT).

В походном состоянии стрела регистрации излучения в сложенном состоянии находится на крыше ИДК. В походном состоянии ИДК может перемещаться со скоростью до 85 км/ч. Бак с горючим для двигателя тягача рассчитан примерно на 1000 км пути (300 л); для электрогенератора (595 л) – на 48 ч непрерывной работы.

Рис. 7.16. Внешний вид мобильного ИДК HCV-Mobile
(МАПП «Светогорск» Выборгской таможни)

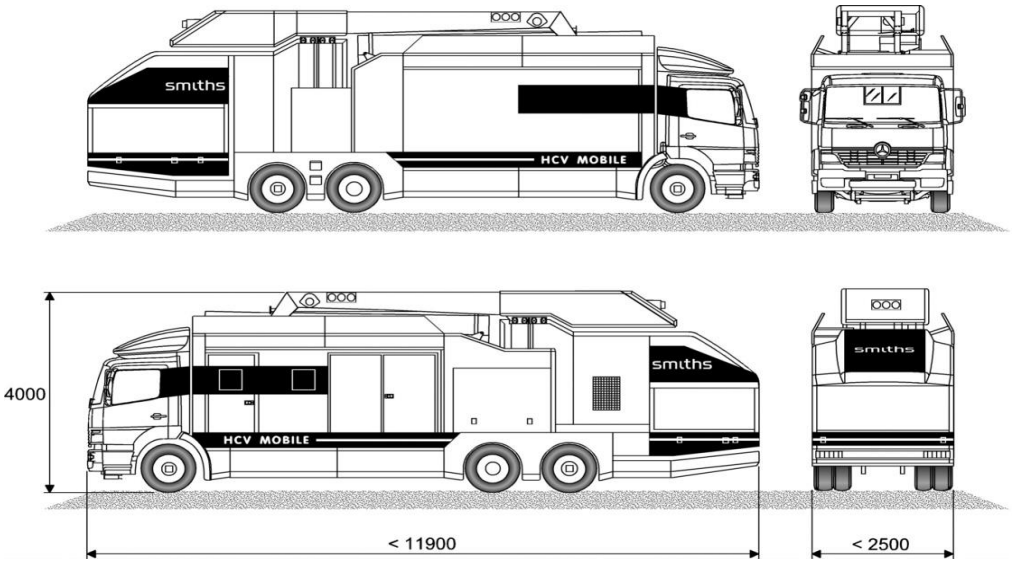


Рис. 7.17. Габариты системы HCV-Mobile (мм)[54]

[54] HCV-MOBILE Heimann CargoVision mobile, Руководство по эксплуатации, июль 2007 г., С. 11.

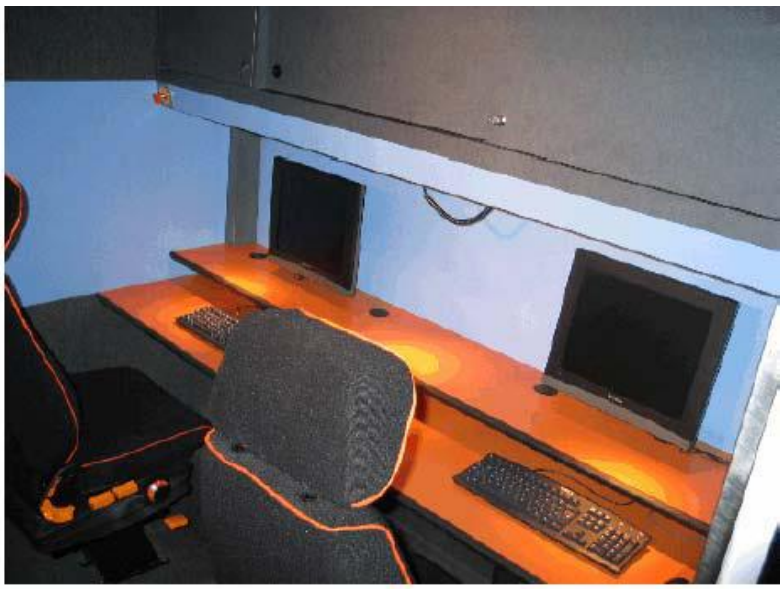


Рис. 7.18. Операторская мобильного ИДК HCV-Mobile (МАПП «Светогорск» Выборгской таможни)[55]

На рис. 7.19 представлены результаты применения ИДК при контроле лесоматериалов. На рис. 7.20 представлена рентгенограмма автотранспортного средства, перевозящего автомобили, в которых была заложена незадекларированная партия автопокрышек.

Рис. 7.19. Выявленная с помощью ИДК контрабандная партия сигарет в лесовозе

Рис. 7.20. Выявленная с помощью ИДК контрабанда автопокрышек в автомобилях, стоящих на автовозе

Система HCV-Mobile включает следующие основные компоненты (рис. 7.21):

- кабина водителя (1),
- стрела приема излучения (2),
- ускоритель (3),
- электрический силовой генератор (4),

[55] HCV-MOBILE Heimann CargoVision mobile, Руководство по эксплуатации, июль 2007, С.14.

– технический отсек (5),
– отсек операторов (6).

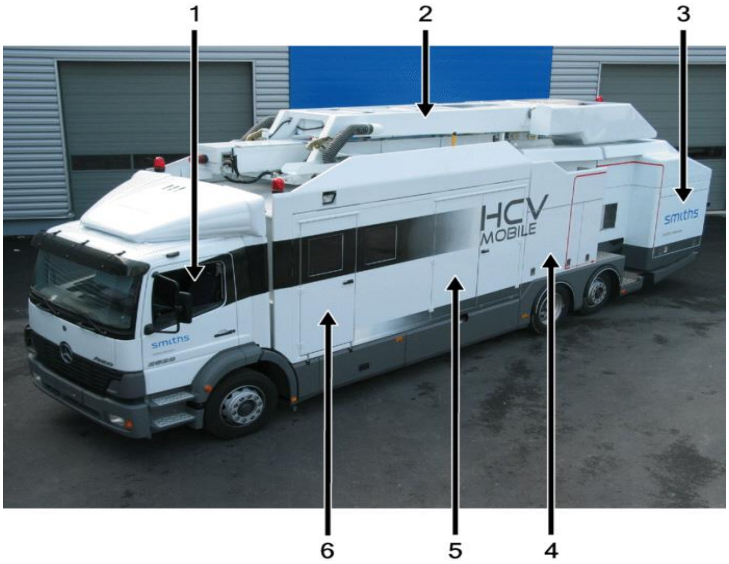


Рис. 7.21. Основные компоненты системы HCV-Mobile[56]

Порядок работы мобильного ИДК

Перед началом применения необходимо обустроить собственно осмотровую площадку (на ней происходит сканирование), оборудовать подъездные пути и площадки для стоянки автотранспортных средств с контейнерами. В общем случае надо создать три зоны (рис. 7.22).

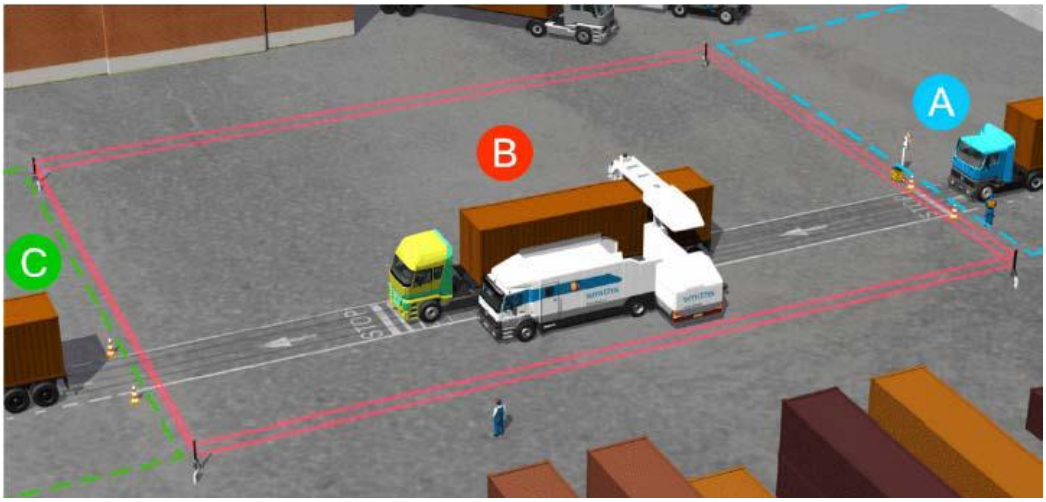


Рис. 7.22. Организация площадок при работе с ИДК:
А – зона регистрации на входе,
В – зона осмотра,
С – зона регистрации на выходе

Зона регистрации на входе (А) – это площадка, где транспортные средства ожидают своей очереди перед проведением сканирования.

[56] HCV-MOBILE Heimann CargoVision mobile, Руководство по эксплуатации, июль 2007, С. 14.

Зона осмотра (B) определяется территорией, на которой проводится сканирование транспортных средств.

Зона регистрации на выходе (C) предназначена для парковки транспортных средств, прошедших сканирование и ожидающих заключения по результатам осмотра.

В зоне осмотра размещаются (рис.7.23):

– четыре инфракрасных барьера (1) защищающие по периметру вход в зону;

– направляющая разметка (2) на полу, использующаяся при перемещении системы HCV-Mobile;

– площадка парковки (3) сканируемого транспортного средства;

– комплекс HCV-Mobile (4).

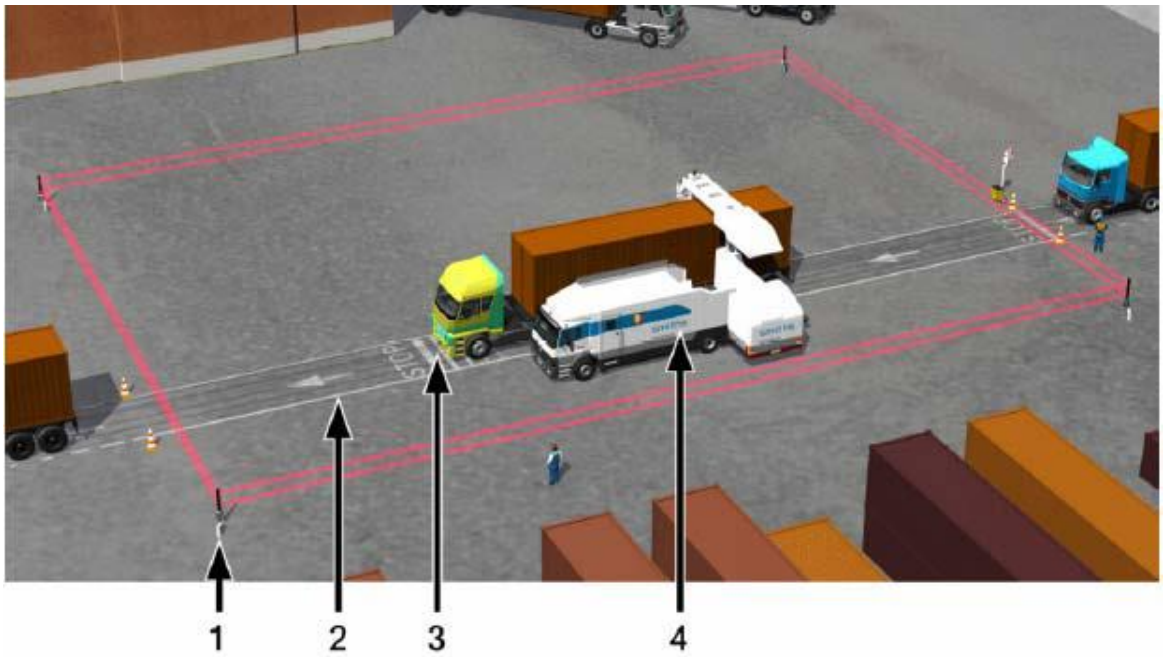


Рис. 7.23. Планировка зоны осмотра
1 – барьер, 2 – разметка,
3 – площадка парковки,
4 – комплекс HCV-Mobile

Работа мобильного ИДК осуществляется в следующей последовательности:

а) развертывание ИДК из походного в рабочее положение;

б) подготовка автотранспортного средства для проведения рентгеновского сканирования (подъезд автотранспортного средства, покидание водителем автотранспортного средства, представление водителем товаросопроводительных документов, устный опрос водителя, внешний визуальный осмотр автотранспортного средства, покидание водителем пределов рабочей зоны ИДК);

г) рентгеновское сканирование автотранспортного средства;

д) убытие автотранспортного средства из рабочей зоны ИДК, ожидание результатов таможенного осмотра товаров и автотранспортных средств с использованием ИДК;

е) установка ИДК в исходное положение (при необходимости);

ж) перевод ИДК из рабочего в походное положение по завершении работы.

Действия водителя автотранспортного средства, осуществляющего перемещение товаров:

– поставить автотранспортное средство на стоянку у въезда в рабочую зону работы ИДК;

– ждать разрешающего сигнала и указаний должностного лица таможенного органа на въезд в рабочую зону работы ИДК;

– остановить автотранспортное средство в месте, указанном должностным лицом таможенного органа, поставить автотранспортное средство на ручной тормоз, заглушить двигатель, покинуть автотранспортное средство вместе со всеми людьми, которые в нем находятся, ценные вещи забрать с собой;

– ждать в указанном должностным лицом таможенного органа месте за пределами рабочей зоны работы ИДК;

– не входить в рабочую зону ИДК до тех пор, пока должностное лицо таможенного органа не даст на это разрешение;

– следовать указаниям должностного лица таможенного органа, полученным при выезде из рабочей зоны ИДК.

Мобильный инспекционно-досмотровый комплекс THSCAN MT1213LT

THSCAN MT1213LT – это МИДК, разработанный и выпускаемый компанией NUCTECH (рис. 7.24). Основанная на линейном ускорителе 4 МэВ, система THSCAN MT1213LT интегрирует в одном устройстве все самые современные достижения высоких технологий: технологии управления, компьютерные технологии, интеллектуальную обработку сигнала, автоматическое регулирование и прецизионная обработка данных.

Рис. 7.24. Внешний вид мобильного ИДК THSCAN MT1213LT

Помещение оператора – это полностью изолированная комната с кондиционером, оснащенная стульями, шкафом для необходимой посуды, местом для хранения блокнотов для записей, файловым запоминающим устройством. Комната оператора имеет все условия для анализа изображения, для управления коммуникациями и освещением, установленных в удобных местах и легки в обращении. Это помещение защищено от внешних воздействий таких, как дождь, град, снег и сырость (рис. 7.25).

Рис. 7.25. Операторская мобильного ИДК THSCAN MT1213LT

На рис. 7.26 представлен факт обнаружения с помощью инспекционно-досмотрового комплекса незаконного перемещения слоновых бивней через границу Китайской Народной Республики.

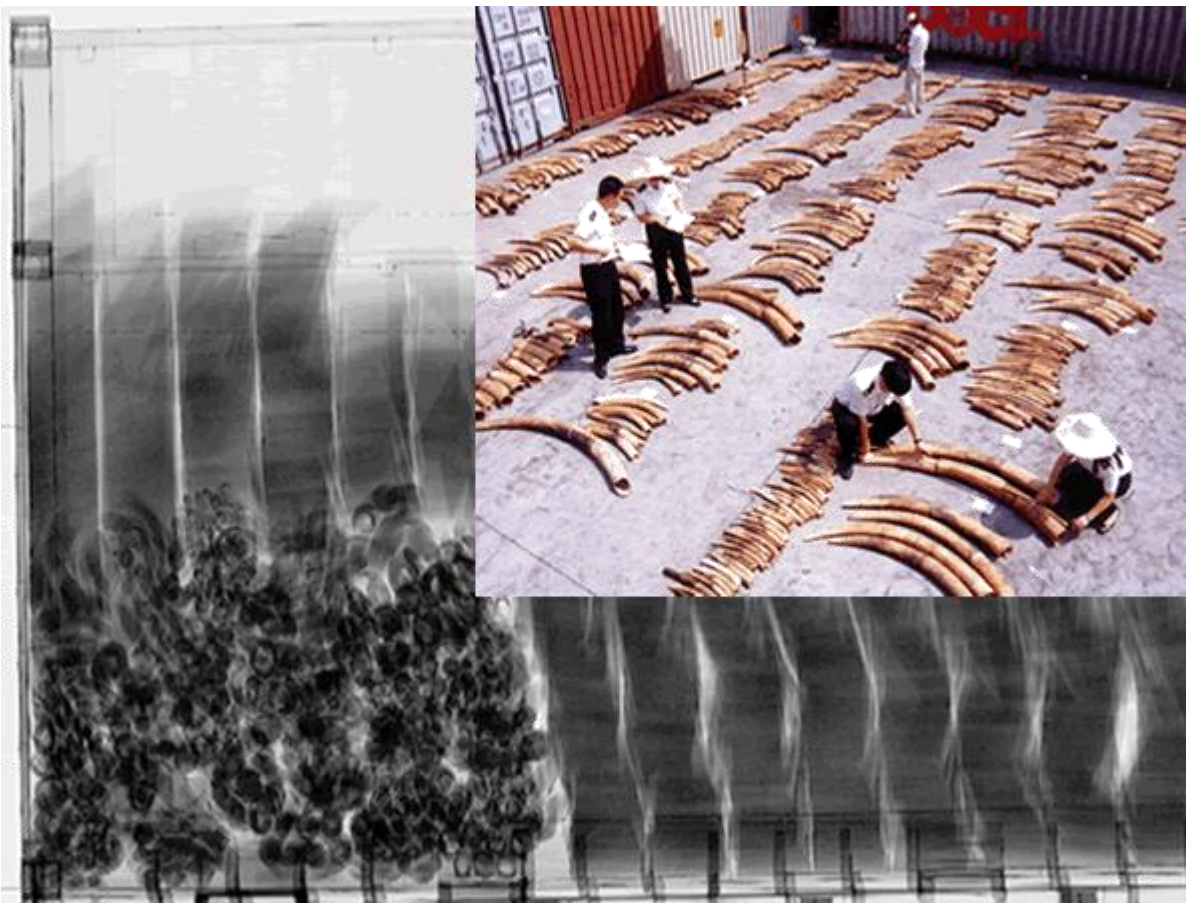


Рис. 7.26. Выявленный с помощью ИДК факт обнаружения контрабанды слоновых костей (Шанхай, 2001 г.)

В табл. 7.7 приведены *характеристики* мобильного ИДК THSCAN MT1213LT.

Таблица 7.7

Общие характеристики мобильного ИДК THSCAN MT1213LT[57]

Область сканирования:	≤ 40м × 44м (шир × дл) (для длины сканирования 18 м)
Стандартное количество операторов	2
Время непрерывной работы	≥ 24 часов
Рабочая температура	-15°C ~ +45°C (-30°C ~ +45°C [*])
Потребляемая мощность	Около 30 КВт Напряжение питания: 380В ±10%, 3-фазная 5-проводная сеть; частота: 50±1 Гц

В табл. 7.8 представлены параметры подсистемы формирования рентгеновского изображения мобильного ИДК THSCAN MT1213LT.

[57] THSCAN MT1213LT может быть поставлен в опциональной конфигурации для работы при низких температурах окружающей среды («в северном исполнении»).

Таблица 7.8

Подсистема формирования рентгеновского изображения

Энергетический уровень источника излучения	4 МэВ
Скорость сканирования	200 мм/с ~ 400 мм/с (200 мм/с для стандартной версии)
Типичная пропускная способность	15 ~ 20 штук 40-футовых контейнеров в час
Максимальные размеры сканируемого транспортного средства	Высота 4,600 мм Ширина 2,600 мм
Максимальная проникающая способность	280 мм по стали
Пространственная разрешающая способность	Стальная проволока 1.5 мм
Обнаружительная способность на проволоку	4.5 мм стальная проволока за 100 мм стальной плитой
Контрастная чувствительность	1.5 %
А/Ц преобразование	16 бит (65536 оттенков серого)
Режим получения изображений	В реальном времени, синхронизированный

МИДК Rapiscan Eagle M4500 (рис. 7.27) оснащен ускорителем 4,5 МэВ обеспечивающим проникающую способность по стали до 300 мм. Время приведения системы в готовность составляет 20 мин. Для работы требуется 2 человека[58].

а

[58] Rapiscan systems [Электронный ресурс]: USA.: RAPISCANSYSTEMS.COM, 2009. Режим доступа: World Wide Web. URL: www.rapiscansystems.com.

б

Рис. 7.27. Мобильный ИДК
а – вид сбоку, б – вид сзади

7.4. Выявление нарушений таможенного законодательства с помощью ИДК

В соответствии с порядком установленным приказом ФТС России[59], основанием для таможенного осмотра с помощью ИДК является:

а) выявление рисков, содержащихся в профиле риска, устанавливающем необходимость проведения таможенного осмотра с использованием ИДК;

б) решение уполномоченного должностного лица таможенного органа в соответствии с особенностями реализации системы управления рисками.

Таможенный осмотр товаров и транспортных средств с использованием ИДК не проводится в случаях:

а) габариты товаров и (или) транспортного средства международной перевозки не соответствуют техническим возможностям ИДК;

б) перевозимые товары не подлежат воздействию рентгеновского излучения (перечень товаров приведен в табл. 7.10);

в) ИДК не эксплуатируется в регионе деятельности таможенного поста на момент формирования указания о проведении таможенного осмотра с использованием ИДК, при этом мобильный ИДК не может быть перемещен на таможенный пост в короткие сроки;

г) наличие неисправности ИДК, не позволяющей его использовать для проведения осмотра товаров и транспортных средств международной перевозки, если такая неисправность не может быть устранена до окончания совершения таможенных операций и проведения таможенного контроля в отношении товаров;

[59] Приказ ФТС России от 09.12.2010 № 2354 (ред. от 05.09.2014) «Об утверждении Инструкции о действиях должностных лиц таможенных органов при таможенном контроле товаров и транспортных средств с использованием инспекционно-досмотровых комплексов».

д) была выявлена необходимость в проведении таможенного осмотра с использованием ИДК в период технологического перерыва в работе ИДК или вне пределов утвержденного графика работы ИДК на таможенном посту (при этом использование ИДК в иной/более поздний период времени может повлечь нарушение установленных сроков совершения таможенных операций в месте прибытия товаров на таможенную территорию Таможенного союза).

Таблица 7.10

Перечень товаров,
не подлежащих воздействию рентгеновского излучения

N п/п	Наименование товара	Код ТН ВЭД ТС
1.	Живые животные	01
2.	Живая рыба	0301
3.	Живые животные, перемещаемые в передвижных цирках и передвижных зверинцах	из 9508 10 0000
4.	Яйца для инкубирования домашней или других видов птиц	0407 11 000 0, 0407 19
5.	Оплодотворенная икра различных видов рыб	0511 91 901
6.	Оплодотворенная икра ракообразных, моллюсков, прочих водных беспозвоночных	из 0511 91 909 0
7.	Эмбрионы животных	0511 99 852
8.	Сперма бычья	0511 10 000 0
9.	Сперма жеребцов, баранов, козлов и прочих животных	0511 99 853
10.	Вакцины для людей	3002 20 000
11.	Вакцины, применяемые в ветеринарии	3002 30 000 0

Поскольку ИДК это сканирующая система, которая позволяет на мониторе увидеть изображение груза, за несколько минут оценить его количество, обнаружить запрещенные либо незадекларированные товары, в том числе наркотики, оружие и взрывчатые вещества, обнаружить в конструкционных узлах транспортных средств предметы, запрещенные к перевозке, то, исходя из этого, можно сделать вывод, что с помощью ИДК возможно выявление таможенных правонарушений, связанных с недекларированием товаров либо с недостоверным декларированием товара. В основном, дела об административных нарушениях возбуждаются по статьям: ст. 16.1 ч.2, ст. 16.1 ч.3 и ст. 16.2 ч.1. КоАП РФ.

Статья 16.1. Незаконное перемещение через таможенную границу Таможенного союза товаров и (или) транспортных средств международной перевозки (п.2-3).

2. Сокрытие товаров от таможенного контроля путем использования тайников или иных способов, затрудняющих обнаружение товаров, либо путем прида-

ния одним товарам вида других при перемещении их через таможенную границу Таможенного союза – влечет наложение административного штрафа на граждан и юридических лиц в размере от одной второй до трехкратного размера стоимости товаров, явившихся предметами административного правонарушения, с их конфискацией или без таковой и конфискацию товаров и (или) транспортных средств, явившихся орудиями совершения административного правонарушения, либо конфискацию предметов административного правонарушения; на должностных лиц – от десяти тысяч до двадцати тысяч рублей.

П.3. Сообщение в таможенный орган недостоверных сведений о количестве грузовых мест, об их маркировке, о наименовании, весе брутто и (или) об объеме товаров при прибытии на таможенную территорию Таможенного союза, убытии с таможенной территории Таможенного союза либо помещении товаров под таможенную процедуру таможенного транзита или на склад временного хранения путем представления недействительных документов либо использование для этих целей поддельного средства идентификации или подлинного средства идентификации, относящегося к другим товарам и (или) транспортным средствам, – влечет наложение административного штрафа на граждан в размере от одной тысячи до двух тысяч пятисот рублей с конфискацией товаров, явившихся предметами административного правонарушения, или без таковой либо конфискацию предметов административного правонарушения; на должностных лиц – от пяти тысяч до десяти тысяч рублей; на юридических лиц – от пятидесяти тысяч до ста тысяч рублей с конфискацией товаров, явившихся предметами административного правонарушения, или без таковой либо конфискацию предметов административного правонарушения[60].

Статья 16.2. Недекларирование либо недостоверное декларирование товаров (п.1).

П.1. Недекларирование по установленной форме товаров, подлежащих таможенному декларированию, за исключением случаев, предусмотренных статьей 16.4 КоАП, – влечет наложение административного штрафа на граждан и юридических лиц в размере от одной второй до двукратного размера стоимости товаров, явившихся предметами административного правонарушения, с их конфискацией или без таковой либо конфискацию предметов административного правонарушения; на должностных лиц – от десяти тысяч до двадцати тысяч рублей[61].

Типовыми нарушениями, выявляемыми с помощью ИДК могут являться случаи превышения грузовых мест, недостоверное декларирование и недекларирование товаров. По результатам фактической проверки может быть принято решение о возбуждении уголовного дела, напр. по ст. 226.1. Контрабанда сильнодействующих, ядовитых, отравляющих, взрывчатых, радиоактивных веществ, радиационных источников, ядерных материалов, огнестрельного оружия или его ос-

[60] Кодекс об административных правонарушениях: Закон Российской Федерации от 30.12.2001 № 195-ФЗ, ст.16.1.

[61] Кодекс об административных правонарушениях: Закон Российской Федерации от 30.12.2001 № 195-ФЗ,.ст. 16.2.

новных частей, взрывных устройств, боеприпасов, оружия массового поражения, средств его доставки, иного вооружения, иной военной техники, а также материалов и оборудования, которые могут быть использованы при создании оружия массового поражения, средств его доставки, иного вооружения, иной военной техники, а равно стратегически важных товаров и ресурсов или культурных ценностей либо особо ценных диких животных и водных биологических ресурсов[62].

Особенности проведения таможенного контроля товаров и транспортных средств с использованием мобильного ИДК

Рабочая смена ИДК обозначает рабочую зону мобильного ИДК специальными техническими средствами (предупреждающими, информационными знаками), обеспечивает размещение МИДК в рабочей зоне МИДК, его развертывание и функционирование, перевод МИДК из рабочего в походное положение, контролирует процесс помещения товаров и транспортных средств в рабочую зону МИДК, их убытия из рабочей зоны МИДК.

По решению начальника либо первого заместителя начальника таможни МИДК может быть передислоцирован в регионе деятельности одной таможни.

О принятых решениях о передислокации МИДК начальник таможни информирует РТУ. РТУ и информируют ГУОТОиТК и УРиОК о передислокациях МИДК ежемесячно, до 10 числа месяца, следующего за отчетным, с указанием места и срока передислокации.

По решению начальника РТУ либо первого заместителя начальника РТУ МИДК может быть передислоцирован в регионе деятельности одного РТУ.

О принятых решениях о передислокации МИДК начальник РТУ информирует ГУОТОиТК, УРиОК и ГУИТ ежемесячно, до 10 числа месяца, следующего за отчетным, с указанием места и срока передислокации.

По решению руководителя ФТС России либо первого заместителя руководителя ФТС России МИДК может быть передислоцирован из региона деятельности таможенного органа одного РТУ в регион деятельности таможенного органа другого РТУ. Решения о передислокации МИДК оформляются в виде распоряжений таможенного органа, принимающего решение.

7.5. Проблемы применения ИДК в ФТС России

ФТС России создана система таможенного контроля грузов и транспортных средств с применением ИДК различных типов и модификаций. В ходе реализации Комплексного плана мероприятий по вводу в эксплуатацию и использованию ИДК при таможенном контроле товаров и транспортных средств в пунктах пропуска через государственную границу РФ, утвержденного Приказом ФТС России от 07.02.2008 №113, таможенным органам РФ пришлось столкнуться с проблемами организационного, технического, технологического, метрологического и кадрового обеспечения создаваемой системы, большая часть из которых в настоящее время

[62] Уголовный кодекс Российской Федерации: Закон Российской Федерации от 13.06.1996 № 63-ФЗ, ст. 226.1.

преодолена. Направлениями дальнейшего совершенствования созданной системы является:

1. Дальнейшая интеграция ИДК с ЕАИС таможенных органов и СУР.

2. Минимизация влияния «человеческого фактора» при использовании ИДК при таможенном контроле товаров и транспортных средств в пунктах пропуска через государственную границу РФ.

3. Развитие таможенной инфраструктуры, строительство стационарных ИДК и широкомасштабное оборудование пунктов пропуска через государственную границу РФ площадками для использования мобильных ИДК.

4. Активизация международного сотрудничества в сфере применения ИДК в целях обеспечения региональной и глобальной безопасности, в том числе путем внедрения международного сертификата рентгеновского изображения.

Контрольные вопросы по главе 7

1. Инспекционно-досмотровые комплексы: основные производители в России и за рубежом.
2. Стационарные инспекционно-досмотровые комплексы: классификация, эксплуатационные характеристики, возможности аппаратуры обработки изображений.
3. Перемещаемые инспекционно-досмотровые комплексы: характеристики, производители.
4. Мобильные инспекционно-досмотровые комплексы: характеристики, производители, порядок работы.
5. Основные нарушения таможенных правил, выявление которых возможно с помощью ИДК.

Литература

1. Уголовный кодекс Российской Федерации: Закон Российской Федерации от 13.06.1996 № 63-ФЗ (ред. от 21.07.2014) (с изм. и доп., вступ. в силу с 04.08.2014).
2. Кодекс об административных правонарушениях: Закон Российской Федерации от 30.12.2001 № 195-ФЗ (ред. от 04.11.2014).
3. Федеральный закон от 09.01.1996 № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения».
4. Федеральный закон 30.03.1999 № 52-ФЗ (с изм. и доп.) «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».
5. Федеральный закон от 04.05.2011 № 99-ФЗ (ред. от 14.10.2014) «О лицензировании отдельных видов деятельности».
6. Постановление Правительства Российской Федерации от 28.01.1997 (ред. от 10.07.2014) № 93 «О Порядке разработки радиационно-гигиенических паспортов организаций и территорий».
7. Постановление Правительства Российской Федерации от 02.04. 2004 № 278 «О лицензировании деятельности в области использования источников ионизирующего излучения (генерирующих) (за исключением случая, если эти источники используются в медицинской деятельности).
8. Постановление Минтруда РФ, Минобразования РФ от 13.01.2003 № 1/29 «Об утверждении Порядка обучения по охране труда и проверки знаний требований охраны труда работников организаций».
9. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 16.06.2008 № 37 «Об утверждении СанПиН 2.6.1.2369-08. Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при обращении с лучевыми досмотровыми установками. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы».
10. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 07.07.2009 № 47 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09».
11. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 26.04.2010 № 40 (ред. от 16.09.2013) «Об утверждении СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)».
12. ГОСТ 12.0.004-90. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Организация обучения безопасности труда. Общие положения (утв. и введен в действие Постановлением Госстандарта СССР от 05.11.1990 № 2797).
13. ГОСТ 12.1.019-2009. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты (утв. и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10.11.2009 № 681-ст).

14. РД 50-454-84 Методические указания. «Внедрение и применение ГОСТ 8.417-81 ГСИ. Единицы физических величин в области ионизирующих излучений».
15. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций СО 153-34.21.122-2003 (утв. Приказом Минэнерго России от 30.06.2003 № 280).
16. Инструкция по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках СО 153-34.03.603-2003 (утв. Приказом Минэнерго России от 30.06.2003 № 261).
17. Межотраслевая инструкция по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве РД 153-34.0-03.702.99 (утв. Министерством труда и социального развития Российской Федерации).
18. Межотраслевые правила по охране труда при работе на высоте. ПОТ РМ 012-2014 (утв. постановлением Министерства труда и социального развития Российской Федерации от 04.10.2000 № 68).
19. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) изд. 7 (утв. Приказом Минэнерго России от 08.07.2002 № 204).
20. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП) (утв. Приказом Минэнерго России от 13.01.2003 № 6).
21. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (утв. Министерством труда и социальной защиты 24.07.2013 № 328н).
22. Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. СП 31-110-2003 (одобрен и рекомендован к применению Постановлением Госстроя РФ от 26.11.2003 № 194).
23. Приказ ГТК РФ от 27.04.1998 № 255 «Об организации работ по проведению индивидуального дозиметрического контроля.
24. Приказ ГТК РФ от 09.12.2003 № 1409 «Об утверждении Порядка обучения вопросам охраны труда и проверки знаний требований охраны труда должностных лиц и работников таможенных органов и учреждений ГТК России».
25. Приказ ФТС России от 15.04.2008 № 403 «Об утверждении правил по охране труда в таможенных органах и учреждениях, находящихся в ведении ФТС России».
26. Приказ ФТС России от 09.12.2010 № 2354 (ред. от 05.09.2014) «Об утверждении Инструкции о действиях должностных лиц таможенных органов при таможенном контроле товаров и транспортных средств с использованием инспекционно-досмотровых комплексов».
27. Приказ Балтийской таможни от 19.10.2012 № 1145 «Об утверждении и введении в действие Инструкций по радиационной безопасности и радиационному контролю»
28. (Инструкция по обеспечению радиационной безопасности работников Балтийской таможни, населения и окружающей среды при обнаружении, расследовании и ликвидации последствий радиационной аварии, связанной с

потерей управления источником ионизирующего излучения – инспекционно-досмотровый комплекс Heimann Cargo Vision Mobile).
29. Письмо СЗТУ от 16.06.2005 №11-01-08/11465ф «Об эксплуатации ДРТ на СВХ».
30. Афонин П.Н., Сальников И.А. Информационное обеспечение в таможенных органах: Учебник / П.Н.Афонин, И.А.Сальников. – СПб.: Санкт-Петербургский имени В.Б.Бобкова филиал РТА, 2006. – 392 с.
31. Добромыслов В.А., Румянцев С.В. Радиационная интроскопия. – М.: Атомиздат, 1972. – 252 с.
32. Дьяконов В.Н., Казуров Б.К., Малышенко Ю.В., Руденок В.П. Теория и практика применения технических средств таможенного контроля: Учебник / под общ.ред. Ю.В.Малышенко. М., 2006. – 524 с.
33. Завадцев А.А., Завадцев Д.А., Каминский В.И., Куцаев С.В., Собенин Н.П. Комплексы для инспекции элементного состава грузов на основе линейных ускорителей электронов. М.: НИЯУ МИФИ, 2011. − 148 с.
34. Кошелев В.Е. Рентгеновские методы и технические средства таможенного контроля: Учебн.пособие. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2003. – 248 с.
35. Кривошеев М.И. Основы телевизионных измерений. 3-е изд.: доп. и перераб. М.: Радио и связь. 1989. 69 с.
36. Кутьков В.А., Ризин Ф.И., Фертман Д.Е., Шумов С.А. Терминология ядерного приборостроения. Справочное пособие в 2-х томах. Том I. Ядерное приборостроение. Физические явления и основные понятия. – М.: Издательский Дом «Технология», 2006.
37. Морокина Г.С. Методы и средства досмотрового рентгеновского контроля: Учебн. пособие / Г.С.Морокина. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2010. – 222 с.
38. Мячин А.Н., Улупов Ю.Г., Зубов В.А., Лукоянов С.Л. Инспекционно-досмотровые комплексы. Общая часть. Учебно-методическое пособие. – СПб.: РИО СПб филиала РТА, 2007. – 160 с.
39. Экология человека: Словарь-справочник / Авт.-сост. Н.А. Агаджанян, И.Б. Ушаков, В.И. Торшин и др., Под общ. ред. Н.А. Агаджаняна. – М.: ММП «Экоцентр», издательская фирма «КРУК», 1997. –208с.
40. Стучебров С.Г. Томографическая визуализация рентгеновских изображений с субмиллиметровым пространственным разрешением на основе импульсных источников / Дис. на соиск. уч. степени кандидата физико-математических наук. Томск, 2014, 124 с.
41. Удод В.А. Оптимальная по разрешающей способности линейная фильтрация изображений / Дис. на соиск.уч.степени доктора технических наук, Томск, 2002. – 338 с.
42. Гофайзен О.В., Епифанов Н.И. Оценка качества ТВ изображения по совокупности параметров // Техника кино и телевидения. 1976, № 6. С. 56–59.
43. Гренишин С.Г. Регистрирующие среды в оптике // Успехи научной фотографии. – 1985. Т 23. – С. 28–39.

44. Кокорева И., Щелкунов Г. Рентгеновские комплексы в системах инспекционно-досмотрового контроля // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – №4, 2007. – С. 36–41.
45. Ухлинов Л.М. Обеспечение безопасности поставок грузов // Электроника: производство и торговля. – №1 (13), 2005. – С. 4.
46. Группа компаний Techno [Электронный ресурс]: СПб.: TECHNO.SPB.RU, 2009. Режим доступа: World Wide Web. URL: www.techno.spb.ru.
47. Рентгеновская трубка тип 0.32БПМ22-160 [Электронный ресурс]: М.: NPO-PROMA.RU, 2014. Режим доступа: World Wide Web. URL: www.npo-proma.ru.
48. Специальное конструкторское бюро «Медрентех» [Электронный ресурс]: М.: MEDRENTECH.RU, 2009. Режим доступа: World Wide Web. URL: www.medrentech.ru
49. Т-Досмотр: видимо невидимое [Электронный ресурс]: М.: DOSMOTR.RU, 2009. Режим доступа: World Wide Web. URL: www.dosmotr.ru.
50. Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. [Электронный ресурс]: М.: ROSPOTREBNAD-ZOR.RU, 2009. Режим доступа: World Wide Web. URL: www.rospotrebnadzor.ru.
51. DESTRA Technologies [Электронный ресурс]: М.: DESTRA.RU, 2009. Режим доступа: World Wide Web. URL: www.destra.ru.
52. GT Gate Technologies [Электронный ресурс]: М.: GATE-TECH.RU, 2009. Режим доступа: World Wide Web. URL: www.gate-tech.ru.
53. L3 Communications Security & Detection Systems [Электронный ресурс]: М.: DSXRAY.COM, 2009. Режим доступа: World Wide Web. URL: www.dsxray.com.
54. Rapiscan systems [Электронный ресурс]: USA.: RAPISCANSYSTEMS.COM, 2009. Режим доступа: World Wide Web. URL: www.rapiscansystems.com.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Учебное издание

Афонин Петр Николаевич
доктор технических наук,
профессор-заведующий кафедрой
технических средств таможенного контроля и криминалистики
Санкт-Петербургского имени В.Б. Бобкова
филиала Российской таможенной академии

РАБОТА НА ДОСМОТРОВЫХ
РЕНТГЕНОВСКИХ АППАРАТАХ

Главный редактор: *В.Ю. Антипова*
Верстка: *Е. Триморук*
Дизайн обложки: *А. Федулова*

Подписано в печать 18.12.2016. Формат 60 X 88/16. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 15,5. Тираж 500 экз. Заказ №
ООО «Издательский центр “Интермедия”». Адрес: 198334, Санкт-Петербург, ул. Партизана Германа, 41-218.
Отпечатано с готового оригинал-макета ООО «Арт-экспресс».
Адрес: 199155, СПб, В.О., ул. Уральская, д. 17