МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И КАДРОВ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Ю.Н. Бушуев, Ю.В. Азаренко

ДОЗИМЕТРИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Рекомендовано учебно-методическим объединением высших учебных заведений Республики Беларусь по образованию в области сельского хозяйства в качестве практикума для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 1-33 01 06 – Экология сельского хозяйства (специализация 1-33 01 06 01 – Сельскохозяйственная радиоэкология)

Горки 2010

УДК 539.1.074:613.648.4(076.5)

ББК 31.42я73
Б 94

Рекомендовано научно-методическим советом БГСХА 26.05.2010 (протокол № 9) и методической комиссией агроэкологического факультета 29.06.2009 (протокол № 9).

СОДЕРЖАНИЕ

Введение……..…….. 3
1. Назначение, устройство и классификация дозиметрических и радиометрических приборов и аппаратуры……...… 5
2. Схемы связи детекторов с электронными устройствами…….……...……...…. 7
3. Основные типы дозиметрических приборов……..……..…….. 10
Приложения……..…… 133
Литература……...…...…… 139

Бушуев, Ю.Н., Азаренко, Ю.В.
Б 94 Дозиметрия ионизирующих излучений: практикум. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2010. 140 с.

ISBN 978-985-467-295-3

Приведены краткая теория и методические указания по выполнению лабораторных и практических работ по дозиметрии ионизирующих излучений, контрольные вопросы и рекомендуемая литература.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 1-33 01 06 – Экология сельского хозяйства (специализация 1-33 01 06 01 – Сельскохозяйственная радиоэкология).

Таблиц 20. Рисунков 33. Приложений 8. Библиогр.20.

Рецензенты: А.В. ЩУР, канд. с.-х. наук, доцент, заведующий лабораторией радиометрии и спектрометрии Могилевского филиала РНИУП «Институт радиологии», В.Н. ОСНОВИН, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Механика материалов и детали машин» БГАТУ; С.И. КОЗЛОВ, канд. техн. наук, заведующий кафедрой физики УО «БГСХА».

УДК 539.1.074:613.648.4(076.5)
ББК 31.42я73

© Ю.Н. Бушуев, Ю.В. Азаренко, 2010
© Учреждение образования «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», 2010

ISBN 978-985-467-295-3

ВВЕДЕНИЕ

Все живые существа – микроорганизмы, растения, животные и человек – подвергаются воздействию различных излучений. Часть этих излучений необходима для развития и существования организма, часть – наносит больший или меньший вред.

Самым мощным источником излучения является Солнце. Оно испускает почти все его виды: радиоволны, тепловое излучение, световые и ультрафиолетовые лучи, а также волновые (электромагнитные) и корпускулярные излучения больших энергий. Энергетический баланс Земли определяется солнечным излучением.

В жизни живых существ первостепенную роль играют тепловое, световое, ультрафиолетовое излучения. Остальные для них имеют второстепенное значение. Биологическое действие солнечного излучения определяется следующей закономерностью: естественные дозы излучения способствуют течению жизненных процессов, т. е. поддержанию жизни. В противоположность этому переоблучение следует считать бесполезным или вредным.

Следующим источником излучения являются естественные радионуклиды, находящиеся в земной коре и испускающие биологически активные излучения очень больших энергий.

Третьим источником естественного излучения являются космические лучи, обладающие большой энергией. Прошлое столетие принесло существенные изменения, появился новый фактор: возможность дополнительного облучения, которое по своим размерам превышает естественное. В связи с этим проблема защиты населения от радиации приобрела особо большое значение, и особенно после Чернобыльской катастрофы.

Дозиметрия ионизирующих излучений – самостоятельный раздел прикладной ядерной физики, в котором рассматриваются свойства ионизирующих излучений, физические величины, характеризующие поле излучения или взаимодействие излучения с веществом, а также принципы и методы определения этих величин.

Дозиметрия имеет дело с такими физическими величинами, которые связаны с ожидаемым радиационным эффектом. Эти величины обычно называют дозиметрическими. Установленная связь между измеряемой физической величиной и ожидаемым радиационным эффектом – важнейшее свойство этих величин. Вне этой связи дозиметрические измерения теряют смысл.

Первопричиной радиационных эффектов является поглощение энергии излучения облучаемым объектом, и доза как мера поглощенной энергии оказывается основной дозиметрической величиной.

Важнейшая задача дозиметрии – определение дозы излучения в различных средах и, особенно, в тканях живого организма. Для этой цели используют различные расчетные и экспериментальные методы.

Количественное определение дозы излучения, действующей на живой организм, необходимо прежде всего для выявления, оценки и предупреждения возможной радиационной опасности для человека. Если врачи-гигиенисты и радиобиологи должны ответить на вопрос, каковы предельно допустимые с точки зрения биологической опасности уровни излучения, то физики-дозиметристы должны обеспечить правильное измерение этих уровней. Развитие дозиметрии первоначально целиком определялось необходимостью защиты человека от вредного воздействия ионизирующих излучений. Вскоре, после открытия рентгеновского излучения (1895 г.), было обнаружено его вредное действие на человека и возникла необходимость в количественной оценке степени радиационной опасности. Для измерения интенсивности рентгеновского излучения начали использовать фотографический эффект, флюоресценцию, тепловой эффект, химические методы. В дальнейшем измерения физических величин, характеризующих рентгеновское излучение и его взаимодействие со средой, выделились в самостоятельную область – рентгенометрию, являющуюся теперь составной частью дозиметрии ионизирующих излучений. В рентгенометрии определились основные величины, подлежащие измерению, и сформировались почти все методы современной дозиметрии.

Важный аспект приложений дозиметрии – охрана окружающей природной среды, неотъемлемым компонентом которой являются радиационные поля и рассеянные радионуклиды естественного и искусственного происхождения. Дозиметрический контроль окружающей среды и связанные с ним прогнозы радиационной обстановки требуют создания оптимизированных дозиметрических систем, развития новых методов дозиметрии, решения вопросов, связанных с определением необходимого объема и точности дозиметрической информации.

Дозиметрические измерения направлены на то, чтобы дать количественную оценку эффекта воздействия ионизирующих излучений на облучаемый объект. Однако во многих случаях нет простой связи между величиной поглощенной энергии излучения и величиной наблюдаемого эффекта. Знание величины дозы оказывается недостаточным для предсказания радиационного эффекта, который определяется также пространственным распределением поглощенной энергии по облучаемому объекту, фактором времени, видом и энергией ионизирующего излучения. Возникает необходимость в комплексном измерении нескольких взаимозависимых физических величин, определенная комбинация которых могла бы быть связана с ожидаемым радиационным эффектом.

1. НАЗНАЧЕНИЕ, УСТРОЙСТВО И КЛАССИФИКАЦИЯ

ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ И РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ И АППАРАТУРЫ

Дозиметрические приборы классифицированы по назначению, типу детекторов, измерению вида излучений, характеру электрических выходных сигналов детектора, преобразуемых электронной схемой. По назначению все приборы делятся на следующие группы.

Индикаторы – простейшие приборы, применяемые для обнаружения ионизирующих бета- и гамма-излучений и ориентировочной оценки мощности дозы. Эти приборы имеют простейшие электрические схемы со световой и звуковой сигнализацией. При помощи индикаторов определяют, возрастает или убывает мощность дозы. Детектором служит газоразрядный счетчик Гейгера.

Рентгеномеры предназначены для измерений мощности дозы рентгеновского и гамма-излучений в диапазоне от сотых долей рентгена до нескольких рентген в час (Р/ч). В качестве детекторов в рентгенометрах применяются ионизационные камеры или газоразрядные счетчики.

Радиометры (измерители радиоактивности) применяются для обнаружения и определения степени радиоактивного загрязнения поверхностей, оборудования, объемов воздуха, главным образом: альфа- и бета-частицами, а также для измерения малых уровней гамма-излучений. Детекторами в радиометрах служат газоразрядные и сцинтилляционные счетчики.

Дозиметры предназначены для определения суммарной дозы облучения гамма-излучениями, полученной персоналом рентгенологов и радиологов и др. Индивидуальные дозиметры представляют собой миниатюрные и малогабаритные ионизационные камеры или фотокассеты с пленкой. Набор, состоящий из комплекта ионизационных камер и зарядно-измерительного устройства, представляет собой комплект индивидуального дозиметрического контроля. В качестве детекторов в комплекте применяются ионизационные камеры, торцовые счетчики и счетчики на фотосопротивлениях. Переносные и стационарные дозиметры применяются для измерения всех видов ионизирующих излучений, а также нейтронных потоков. Все дозиметрические приборы по принципу действия разделены на дискретные (импульсные) и непрерывные (аналоговые). В первых – частицы или фотоны контролируемого излучения преобразуются детекторами в последовательные короткие импульсы электрических сигналов, т.е. электрическая схема выполняет функцию преобразования и усиления сигналов. Во вторых – детектор преобразует действующее на него излучение в непрерывный постоянный ток и электрическая схема выполняет функцию усиления и преобразования постоянного тока.

Современные дозиметрические приборы работают на основе иони-

зационного метода и их основными узлами являются:

1) детекторы ионизирующих излучений как основные элементы датчиков информации (ионизационные камеры, газоразрядные счетчики или сцинтилляторы);

2) электронные схемы преобразования импульсов;

3) измерительные (показывающие, регистрирующие, цифропечатающие и др.) приборы, шкалы которых отградуированы непосредственно в единицах тех физических величин, для которых предназначен прибор.

Дозиметрические приборы по конструктивному оформлению разделены на четыре группы:

1) индивидуальные (карманные), предназначенные для измерения дозы облучения, полученной конкретным человеком за время их ношения;

2) носимые, с автономным питанием, конструктивное оформление которых позволяет измерять дозу во время их ношения;

3) переносимые, конструкция которых позволяет переносить их в выключенном состоянии, например, настольные приборы;

4) стационарные, конструкция которых не предусматривает возможности их переноски. К стационарным относятся приборы на катках и роликах, а также настенные.

Все технические средства измерения ионизирующих излучений имеют условные обозначения и технические характеристики.

Буквенное обозначение средств измерений состоит из трех элементов.

Первый элемент – функциональное назначение средств измерений: Д – дозиметры, Р – радиометры, С – спектрометры, БД – блоки детектирования, УД – устройство детектирования.

Второй элемент буквенного обозначения – физическая величина, определяемая данным средством измерения: Д – поглощенная доза излучения, М – мощность поглощенной дозы излучения, Э – экспозиционная доза фотонного излучения, Р – мощность экспозиционной дозы фотонного излучения, В – эквивалентная доза излучения, Б – мощность эквивалентной дозы излучения, Ф – поток энергии ионизирующего излучения, Н – плотность потока энергии ионизирующего излучения. К – активность радионуклида в источнике, Т – перенос энергии ионизирующего излучения, У – удельная активность радионуклида, Г – объемная активность радионуклида в газе, Ж – объемная активность радионуклида в жидкости, А – объемная активность радиоактивного аэрозоля, З – поверхностная активность радионуклида, Л – поток ионизирующих частиц, П – плотность потока ионизирующих частиц, Е – энергетическое распределение ионизирующего излучения,

С – перенос ионизирующих частиц, Ч – временное распределение ионизирующего излучения, К – две и более физические величины.

Третий элемент буквенного обозначения – вид ионизирующего излучения: А – альфа-излучение, Б – бета-излучение, Г – гамма-излучение, Р – рентгеновское излучение, Н – нейтронное излучение, П – протонное излучение, Т – тяжелые заряженные частицы, С – смешанное излучение, Х – прочие излучения.

Примеры буквенных обозначений приборов измерения ионизирующих излучений: ДДБ – дозиметр поглощенной дозы бета-излучения; РЗА – радиометр поверхностной активности гамма-активного радионуклида (радиометр загрязненностей поверхностей); СЭГ – спектрометр энергетического распределения гамма-излучения; УДДР – устройство детектирования поглощенной дозы рентгеновского излучения.

2. СХЕМЫ СВЯЗИ ДЕТЕКТОРОВ С ЭЛЕКТРОННЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

Детекторы ионизирующих излучений работают в комплекте с различными электронными усилителями, преобразовательными и измерительными, показывающими, регистрирующими, индикаторными и другими устройствами, имеющими определенные электронные схемы. Снимаемый с сопротивления нагрузки детектора сигнал поступает на вход электронной схемы, которой часто служит усилительный каскад с определенными входными параметрами. Для обеспечения максимальной амплитуды сигнала входная емкость усилителя должна быть минимальной, а входное сопротивление должно быть больше сопротивления нагрузки. При этом меньше сказывается влияние изменения входного сопротивления на параметры сигнала. Если в схему поступает непосредственно ток детектора, то входное сопротивление усилительного каскада должно быть меньше выходного сопротивления самого детектора.

Связь сопротивления нагрузки $R_н$ с усилительным каскадом бывает гальванической и через разделительный конденсатор (рис.1).

В первой схеме сопротивление нагрузки детектора одновременно является элементом усилительного каскада и подключено к затвору полевого транзистора, а во второй схеме эти функции выполняются разными сопротивлениями и конденсатор связи $C_с$ имеет большой запас по рабочему напряжению с абсолютным отсутствием утечек, которые создают ложные сигналы на входе усилителя. В эквивалентной схеме входа емкость детектора $C_д$ подключена параллельно сопротивлению нагрузки $R_н$, а емкость входа электронной схемы $C_э$ параллельно сопротивлению $R_с$. В этой схеме сигнал с нагрузки детектора поступает на вход усилителя с минимальными искажениями.

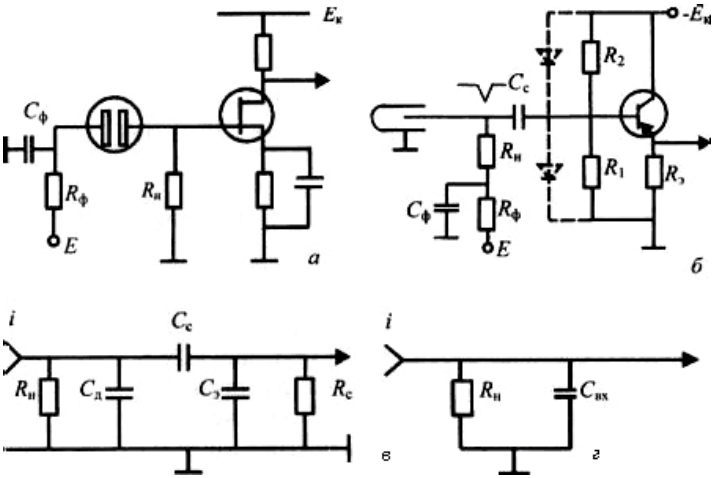


Рис.1. Схемы связи детекторов с электронными схемами: а – гальваническая связь; б – связь через разделительный конденсатор; в – эквивалентная схема входа при передаче сигнала через разделительный конденсатор; г – обобщенная эквивалентная схема.

Для передачи сигнала с выхода фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) сцинтилляционного детектора в соединительный или формирующий кабель применяется составной повторитель (рис. 2). Коэффициент усиления составной схемы определяется коэффициентами усиления входящих в нее транзисторов, и поэтому его входное сопротивление может быть значительным. Его выходное сопротивление не зависит от сопротивления источника сигнала. В схеме выход составного повторителя подается на высокочастотный кабель, выполняющий две функции. Часть кабеля $ЛЗ_1$ служит для передачи сигнала от детектора к электронной установке, а короткозамкнутый отрезок $ЛЗ_2$ формирует сигнал, укорачивая его. Сопротивление R', включенное на входе кабели $ЛЗ_1$, необходимо для согласования выходного сопротивления повторителя и волнового сопротивления кабеля.

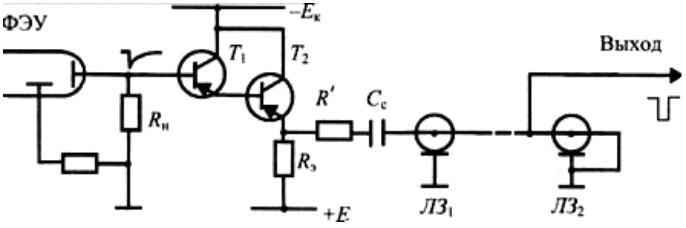


Рис. 2. Применение составного повторителя для передачи сигналов с выхода ФЭУ в кабель.

Существует несколько схем передачи импульсов от детектора к усилителю сигнала. Наиболее эффективная схема передачи импульса тока полупроводникового детектора каскадом с общей базой приведена на рис.3.

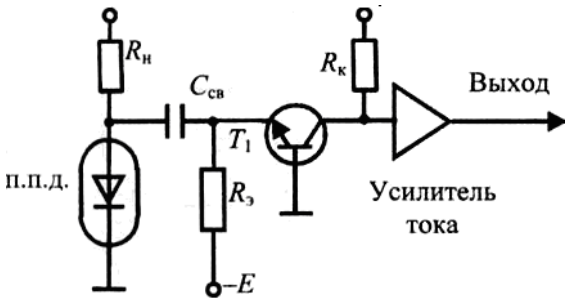


Рис.3. Передача импульса тока полупроводникового детектора каскадом с общей базой.

В быстродействующих схемах, предназначенных для определения временных корреляций и требующих минимальной длительности импульсов, используются непосредственно импульсы тока детектора без предварительного интегрирования. Для передачи импульсов тока применяют схемы с малым входным сопротивлением. Входное сопротивление схемы с общей базой определяется сопротивлениями эмиттерного и базового переходов и не превышает десятков Ом. Поэтому даже при значительной емкости полупроводникового детектора (ППД) постоянная времени входа мала и обеспечивается работа с большими загрузками. Емкость связи $C_{св}$ подбирается из условий неискаженной передачи импульса тока детектора в низкоомную цепь эмиттера T_1.

Схема передачи импульсов тока детектора с последующим интегрированием приведена на рис. 4.

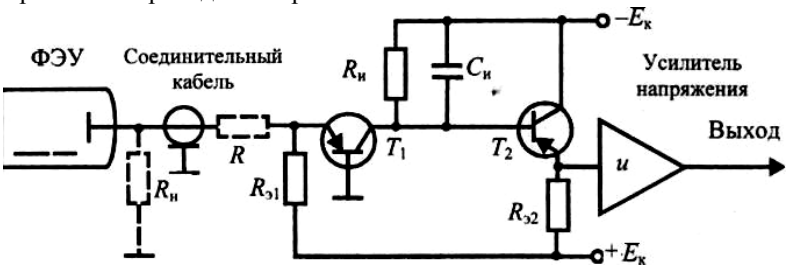


Рис.4. Схема передачи импульса с последующим интегрированием.

Импульс тока ФЭУ сцинтилляционного счетчика через соединительный высокочастотный кабель поступает на вход каскада с заземленной базой T_1. Из-за малого входного сопротивления каскада затягивание импульсов тока на входе не происходит. Необходимое интегрирование производится цепью $R_и C_и$, включенной в коллектор T_1. Каскад на эмиттерном повторителе Т2, обладающий высоким входным сопротивлением, обеспечивает передачу импульсов напряжения для последующего усиления. Сопротивление R вводится для согласования малого входного сопротивления схемы с волновым сопротивлением кабеля.

3. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Биологический эффект ионизирующих излучений зависит от количества их энергии, вида излучения, размера облучаемой поверхности, индивидуальных особенностей организма. Количество энергии ионизирующих излучений называют дозой, а приборы, позволяющие ее измерять, – дозиметрами.

Наибольший масштаб и значение приобретает дозиметрический контроль окружающей среды при радиационных авариях.

Дозиметрические приборы можно классифицировать по назначению, типу детектора, регистрации вида излучения, характеру электрических сигналов, преобразуемых схемой прибора.

По назначению приборы разделяют на следующие группы.

Индикаторы – простейшие приборы радиационной разведки. При их помощи решается задача обнаружения излучения и ориентировочной оценки мощности дозы, главным образом бета- и гамма-излучений. Эти приборы имеют простейшие электрические схемы со световой или звуковой сигнализацией. При помощи индикаторов можно установить, возрастает мощность дозы или уменьшается. Датчиком служат цилиндрические газоразрядные счетчики. К этой группе приборов относятся индикаторы ДП-63, ДП-63А, ДП-64, ИРГ-01 А.

Рентгенметры – предназначены для измерения мощности дозы рентгеновского или гамма-излучения. Они имеют диапазон измерения от сотых долей рентгена до нескольких сот рентген в час (Р/ч). В качестве датчиков используют ионизационные камеры или газоразрядные счетчики. Такими приборами являются рентгенметр типа "Кактус", ДП-2,ДП-5А и др.

Дозиметры – предназначены для определения суммарной дозы облучения, главным образом гамма-излучения. Это ДК-02, ДБГ-06Т, ДРГ-01, ДКГ-105 и др.

Радиометры (измерители радиоактивности) – применяются для обнаружения и определения степени радиоактивного загрязнения поверхностей, оборудования, одежды, объемов воздуха главным образом

альфа- и бета-частицами. Радиометрами возможно измерение и небольших уровней гамма-излучения.

Детекторами радиометров являются газоразрядные и сцинтилляционные счетчики. Эти приборы являются наиболее распространенными и имеют широкое применение. К ним относятся: ДП-12; базовые универсальные; бета-, гамма-радиометр "Луч-А"; радиометр "Тисс"; радиометр КРВП-ЗАБ; радиометрические установки типа ПП-8 и др.

По регистрации вида излучения можно выделить дозиметрические приборы для измерения гамма- излучения, альфа- и бета-частиц, нейтронного потока.

Основными узлами всех современных дозиметрических приборов являются (рис.5):

1 – детекторы излучений, как основные составные элементы датчиков, т.е. ионизационные камеры, газоразрядные счетчики или сцинтилляторы;

2 – электрическая схема преобразования импульсов;

3 – источник питания;

4 – измерительные или регистрирующие приборы (шкалы приборов отградуированы непосредственно в единицах тех физических величин, для которых предназначен прибор).

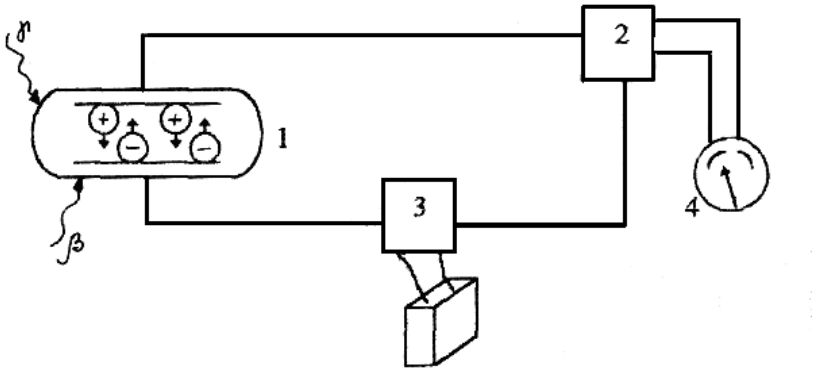


Рис. 5. Блок-схема устройства дозиметрических приборов.

По области применения измерительные приборы делятся на три класса.

1. Приборы для измерения количественных характеристик ионизирующего излучения. Они включают три подкласса: радиометры (для измерения активности и плотности потоков и т.д.); дозиметры (для измерения энергии, которая переносится излучением), спектрометры (для измерения распределения излучения по определенному параметру – обычно по энергии, т.е. снятию энергетического спектра).

2. Приборы, в которых используется ионизирующее излучение для измерения других физических величин. Это плотномеры, толщиномеры, влагомеры, уровнемеры, вакуумметры, ионизационные манометры, извещатели дыма РИТ-1 , РИТ- 6М и др.

3. Вспомогательные приборы для регистрации ионизирующих излучений. Это приборы контроля и автоматики (устройства для счета предметов, радиационные реле, регуляторы уровня жидкости и т.п.).

Наибольшее применение, особенно в современных условиях, находят приборы первого класса.

В соответствии **с функциональным назначением аппаратура для** проведения **дозиметрического контроля представлена тремя классами приборов** (по конструктивным особенностям): *карманные* – для индивидуального дозиметрического контроля; *переносные* – для группового дозиметрического контроля; *стационарные установки* – для непрерывного дозиметрического контроля в радиационно опасных местах.

Лабораторная работа №1. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ПРИНЦИПА РАБОТЫ ИНДИКАТОРНЫХ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

В индикаторах ионизирующих излучений энергия частиц или гамма-квантов контролируемого излучения преобразуется детектором в последовательные короткие электрические сигналы (импульсы). Они работают в следящем режиме и обеспечивают звуковую и (или) световую сигнализацию при повышении уровня радиации по сравнению с естественным гамма-фоном.

Электрическая схема таких дозиметров выполняет функцию преобразования и усиления импульсов до необходимой величины.

Почти все дозиметрические приборы работают на основе ионизационного метода регистрации ионизирующих излучений.

Суть метода сводится к тому, что в качестве рабочего тела детектора используется газ, как правило, инертный, который при обычных условиях является изолятором. При попадании внутрь детектора ионизирующего излучения происходит ионизация газа, т.е. внутри детектора образуются носители электрического тока – ионы и свободные электроны. Если на электроды детектора подать напряжение, то электроны и ионы начинают упорядоченно двигаться к соответствующим электродам, электрическая цепь замыкается и внутри детектора начинает протекать электрический ток. Наличие электрического тока внутри детектора регистрируется соответствующим электрическим устройством. На рис. 6 представлена блок-схема индикаторного дозиметра.

Источником питания, как правило, являются гальванические элементы или аккумуляторы общим напряжением 9–12В.

Блок высокого напряжения преобразует напряжение источника питания в рабочее напряжение газоразрядного счетчика (400В и более).

Усилительное или преобразующее устройство формирует слабый сигнал от счетчика в импульс с величиной, достаточной для регистрации (иногда данное устройство может отсутствовать).

Рис. 6. Блок-схема индикаторного дозиметра.

Индикатор излучения – простейший радиоэлектронный прибор, позволяющий выдавать световую или звуковую информацию.

Задание 1. Сборка и принцип работы простейшего индикаторного дозиметра.

Цель задания. Изучить последовательность сборки и принцип работы простейшего индикаторного дозиметра.

Оборудование и приборы. 1. Источник низкого напряжения (источник питания). 2. Источник высокого напряжения. 3. Источник ионизирующих излучений Со-60 или К-40. 4. Регистрирующее устройство. 5. Счетчик СТС-5. 6.Монтажная плата со схемой.

Порядок выполнения задания. 1. Подсоедините источник высокого напряжения к схеме индикатора согласно полярности.

2. Подсоедините регистрирующее устройство со световой сигнализацией к схеме индикатора.

3. Подсоедините счетчик СТС-6 к схеме согласно полярности.

4. После проверки преподавателем правильности соединений включите прибор в сеть.

5. Произведите визуальный контроль фона по световым вспышкам неоновой лампочки.

6. Поднесите источник ионизирующих излучений к счетчику, проведите визуальный контроль повышенного фона по регистрирующему устройству.

7. Выключите источник питания.

8. Замените регистрирующее устройство со световой сигнализацией на устройство со звуковой сигнализацией.

9. Повторите пункты 5 и 6, сделайте выводы.

10.Установите счетчик обратно установленной полярности.

11. Включите питание и произведите анализ данной ситуации. Сделайте вывод о работе счетчика и всего дозиметра в целом.

12. Выключите источник питания, произведите разборку индикатора на блоки исходного состояния.

З а д а н и е 2. Работа индикаторного дозиметра ИРГ-01А.

Цель задания. Изучить работу индикаторного дозиметра ИРГ-01А.

Оборудование и приборы. 1. Источник ионизирующего излучения Co-60, K-40 или Cs-137. 2. Индикаторный дозиметр ИРГ-01А.

Индикатор-сигнализатор гамма-излучения ИРГ-01А позволяет обнаруживать с помощью световой и звуковой сигнализации превышение пороговой мощности экспозиционной и эквивалентной доз, а также проводить оценку мощности экспозиционной дозы по числу отсчетов за время измерения. Дозиметр также предназначен для проведения оперативного контроля.

При помощи прибора можно обнаруживать локальные участки радиоактивного загрязнения на местности, в жилых и рабочих помещениях. Прибор имеет портативное исполнение, с помощью зажима он крепится к карману одежды. Его основные технические характеристики следующие:

1) обнаруживает гамма-излучение в режимах "Поиск" и "Измер." с выдачей световых и звуковых коротких прерывистых сигналов;

2) обеспечивает оценку мощности эквивалентной (экспозиционной) дозы в диапазоне от 0,1 до 5 мкЗв/ч (от 10 до 500 мкР/ч). Оценка значения мощности дозы производится путем подсчета числа световых или звуковых коротких прерывистых сигналов за время измерения, равное 60 с;

3) обеспечивает сигнализацию превышения одного из пороговых уровней радиации эквивалентной (экспозиционной) дозы 0,6; 1,2 и 2,4 мкЗв/ч (60, 120 и 240 мкР/ч) непрерывными световыми и звуковыми сигналами;

4) энергетическая погрешность показаний прибора не более 45% в диапазоне энергии от 0,05 до 1,5 МэВ;

5) время установления рабочего режима – не более 10 с;

6) напряжение питания – 3 В;

7) в положении "Поиск" каждый поступающий импульс преобразуется в короткие прерывистые световые и звуковые сигналы. В положении "Измер." каждые десять поступающих импульсов преобразуются в короткие прерывистые световые и звуковые сигналы.

Порядок выполнения задания.

1.Работа в режиме "Поиск".

1.1. Включите прибор, для чего установите переключатель режима работы в положение "Поиск".

1.2. Направьте прибор боковой поверхностью (геометрический центр счетчика излучения отмечен "канавкой" на боковых поверхностях крышки корпуса прибора) в сторону предполагаемого локального источника гамма-излучения, чтобы ось счетчика располагалась приблизительно перпендикулярно выбранному направлению. Определите направление, соответствующее максимальной частоте прерывистых световых и звуковых сигналов, ориентируя прибор в пространстве.

2. Работа в режиме "Измер."

2.1. Установите переключатель режима работы в положение "Измер."

2.2. Определите количество прерывистых световых или звуковых сигналов за минуту с помощью таблицы, расположенной на лицевой панели прибора, определите в колонке "мSх/Н" мощность эквивалентной дозы в микрозивертах в час или в колонке "мR/Н" мощность экспозиционной дозы в микрорентгенах в час.

Лабораторная работа № 2. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ПРИНЦИПА РАБОТЫ ПЕРЕНОСНЫХ И СТАЦИОНАРНЫХ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

1. Принцип работы переносного дозиметра

По преобразованию энергии излучения в другие виды энергии детекторы можно разделить на следующие группы: ионизационные, сцинтилляционные, калориметрические, фотографические и химические.

Устройство, преобразующее электрические сигналы от детектора излучения, служит для измерения амплитуды, формы, длительности и количества сигналов. Для этой цели применяются различные электронные схемы: формирующие схемы, пересчетные устройства, усилители постоянного тока.

Регистрирующее или показывающее устройство предназначено для визуального определения результатов измерений. Оно может состоять из одного или нескольких элементов: стрелочного индикатора, самописца, сигнального устройства (светового или звукового), цифрового табло. Для измерения количественных характеристик ионизирующего излучения используют различные методы измерения ионизационных токов (по скорости заряда или разряда известной емкости; методом компенсации, по падению напряжения на высокоомном резисторе).

Токи от детекторов не превышают 10^{-16} – 10^{-6} А. Для приведения в действие измерительных и регистрирующих приборов требуются токи

порядка 10^{-4} А и более, поэтому для получения таких токов применяют усилительные устройства.

В качестве источника высокого напряжения для детектора используют преобразователь напряжения (как правило, стабилизированный). Блок-схема переносного дозиметра в общем виде приведена на рис.7.

При регистрации ионизирующей частички на нагрузке детектора (резистор "R") создается кратковременный импульс напряжения, который поступает на предусилитель *3*, а затем на регистрирующее устройство *4*, состоящее, как правило, из усилителя и показывающего устройства.

Быстродействие электронной (пересчетной) схемы должно быть больше мертвого времени детектора.

Некоторые дозиметры могут иметь переключатель пределов измерения, звуковую индикацию окончания измерения, индикацию напряжения источника питания, переключатель времени измерения и т.п.

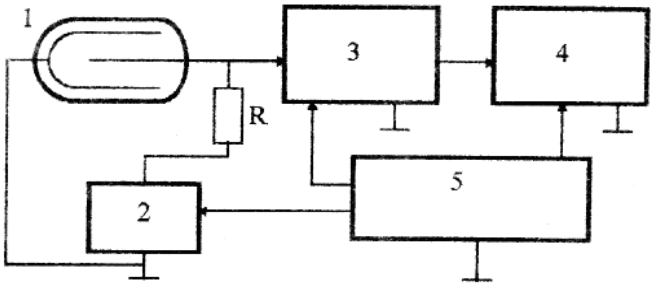


Рис.7. Блок-схема дозиметра:
1– детектор; 2– источник высокого напряжения; 3– предусилитель (УПТ);
4– регистрирующее устройство, 5– источник питания.

Задание 1. Работа переносных дозиметров «РКСБ-104» и АНРИ-01 «Сосна».

Цель задания. Изучить устройство и принцип работы переносных дозиметров «РКСБ-104» и АНРИ-01 «Сосна», а также характерные неисправности и методы их устранения.

Рассмотрите принципы работы переносных дозиметров на действующих макетах. На макете в развернутом виде расположен работоспособный дозиметр и вспомогательные радиоэлектронные элементы для задания различных режимов его работы, возможности замены детекторов и изучения возможных их неисправностей, которые можно устранить в процессе его эксплуатации.

Оборудование и материалы. Макет дозиметра «РКСБ-104», макет дозиметра АНРИ-01 «Сосна».

Порядок выполнения задания.

1. Включите тумблер макета "Питание".

2. Тумблер "Режим" переключите в положение "Питание".

3. Ручкой "Напряжение" установите по вольтметру напряжение 9 В (напряжение "свежей" батареи питания).

4. Включите дозиметр и произведите измерение фона 5 раз. Результаты запишите в табл. 1.

Таблица1. **Результаты измерений**

Режим измерения	Два счетчика				Один счетчик			
Фон	9В	7В	5В	3В	9В	7В	5В	3В

5. Повторите измерение фона при напряжении питания 7В, 5В и 3В. Сделайте выводы.

6. Отсоедините один счетчик и повторите пункты 3, 4, 5, результаты запишите в таблицу. Сравните показания прибора с одним и двумя счетчиками. Сделайте выводы.

Характерные неисправности и способы их устранения.

1. Не светится цифровой индикатор – замените источник питания.

2. Показания прибора занижены – не работает один из счетчиков (заменить).

3. Индикатор светится, но отсчета нет:

а) неисправны счетчики (заменить);

б) возможно не работает преобразователь напряжения (при его работе слышен характерный высокочастотный писк) – требуется ремонт в мастерской.

Задание 2. Работа переносного дозиметра МКС-АТ6130.

Цель задания. 1. Изучить назначение, конструкцию и технические характеристики дозиметра МКС-АТ6130. 2. Научиться измерять мощность эквивалентной дозы гамма-излучения и плотность потока бета-частиц, испускаемых с загрязненной радиоактивными веществами поверхности.

Дозиметр-радиометр МКС-АТ6130 предназначен для измерения:

- мощности амбиентной дозы H*(10) рентгеновского и гамма-излучения;
- амбиентной дозы H*(10) рентгеновского и гамма-излучения;
- плотности потока бета-частиц, испускаемых с загрязненной радиоактивными веществами поверхности;
- оперативного поиска источников ионизирующих излучений и радиоактивных материалов.

Прибор относится к носимым средствам измерения и может эксплуатироваться в лабораторных и полевых условиях службами радиационной безопасности, на предприятиях, имеющих дело с источниками ио-

низирующего излучения, для контроля уровней облучения медицинского персонала, работающего с источниками ионизирующего излучения.

Прибор предназначен для работы при температуре окружающего воздуха от –20 до + 55 °С.

Прибор соответствует ГОСТ 27451–87 "Средства измерений ионизирующих излучений. Общие технические условия" и международному стандарту МЭК 60846 (2002-06) "Приборы и дозиметры для определения эквивалентной дозы излучения и/или дозы окружающей среды бета-, рентгеновского и гамма-излучения".

Технические характеристики.

Прибор измеряет:

а) мощность амбиентной дозы рентгеновского и гамма-излучения (далее мощность дозы) в диапазоне от 0,1 мкЗв/ч до 10 мЗв/ч;

б) амбиентную дозу рентгеновского и гамма-излучения (далее дозу) в диапазоне от 0,1 мкЗв до 100 мЗв;

в) плотность потока бета-частиц, испускаемых с загрязненной радиоактивными веществами поверхности, в диапазоне от 10 до 10^4 част/(мин·см^2).

Диапазон энергий регистрируемого гамма-излучения: от 20 кэВ до 3 МэВ.

Диапазон энергий регистрируемой плотности потока бета-излучения находится в пределах от 300 кэВ до 3,5 МэВ.

Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения мощности дозы, дозы и плотности потока бета-частиц составляют + 20%.

Время измерения естественного радиационного гамма-фона (0,1 мкЗв/ч) при статистической погрешности ± 20% не превышает 300 с.

При включении прибора автоматически устанавливаются следующие фиксированные значения пороговых уровней:

а) по мощности дозы – 30 мкЗв/ч;

б) по дозе – 180 мкЗв;

в) по плотности потока – 100 част/(мин·см^2).

В ручном режиме приборы обеспечивают возможность изменения пороговых уровней в пределах диапазонов измерения:

- мощности дозы от 0,1 мкЗв/ч до 10 мЗв/ч;
- дозы от 0,1 мкЗв до 100 мЗв;
- плотности потока от 10 до 10^4 част/(мин·см^2) в соответствии с рядом фиксированных значений, кратных 1,0; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8.

Прибор обеспечивает:

а) в ручном режиме запись в память до 1000 результатов измеряемой характеристики, их хранение (при включенном и отключенном питании) и возможность просмотра (режим «записная книжка»);

б) в автоматическом режиме запись в память с установленным временем измерения 6, 60 или 600 с до 1000 результатов измерений мощ-

ности дозы, их хранение (при включенном и отключенном питании) и возможность просмотра (режим «диаграммы»).

Прибор обеспечивает возможность передачи по инфракрасному каналу в ПЭВМ информации о результатах измерений, хранящихся в режимах «записная книжка» и «диаграммы».

Приборы обеспечивают проведение самоконтроля основных узлов при включении и постоянную проверку своей работоспособности в процессе работы.

Питание прибора осуществляется от двух элементов питания с номинальным напряжением 1,5В каждый типоразмера ААА *(допускается питание прибора от двух аккумуляторов типоразмера ААА с номинальным напряжением 1,2В каждый)*.

Время непрерывной работы прибора от одного комплекта элементов питания (два элемента питания с номинальным напряжением 3В и номинальной емкостью 1,1А·ч) составляет не менее 500ч при фоновых загрузках. Ток потребления при этом не превышает 2мА.

Прибор обеспечивает автоматический контроль разряда элементов питания.

Время установления рабочего режима не превышает 1 мин.

Масса прибора (с элементами питания) – не более 0,25 кг.

Средняя наработка на отказ прибора – не менее 10000 ч.

Средний срок службы прибора – не менее 10 лет.

Устройство и работа.

Принцип действия прибора основан на измерении интенсивности импульсов, генерируемых в газоразрядном счетчике Гейгера–Мюллера под воздействием регистрируемого рентгеновского, гамма- и бета-излучения. Преобразование временных распределений в непосредственно измеряемые физические величины (мощность дозы, дозу, плотность потока) осуществляется автоматически. Благодаря энергокомпенсирующему фильтру эффективно реализуется коррекция энергетической зависимости чувствительности во всем диапазоне.

Управление режимами работы прибора, выполнение вычислений, хранение и индикация результатов измерения, самодиагностика осуществляются микропроцессорным устройством.

Обмен информацией с ПЭВМ происходит по инфракрасному каналу с помощью инфракрасного адаптера IrDA (в комплект приборов не входит), который преобразует оптические сигналы в стандартные электрические сигналы интерфейса IrDA.

Конструкция прибора.

Прибор выполнен в пылебрызгозащищенном ударопрочном алюминиевом корпусе, представляющем собой прессованный профиль замкнутого сечения с отлитыми торцевыми крышками и уплотнительными элементами из ПВХ-пластиката.

Общий вид прибора МКС-АТ6130 приведен на рис. 8.

На передней панели прибора находятся жидкокристаллический ин-

дикатор *1*, мембранная панель управления *3* и светодиодный индикатор *2*. На задней стенке прибора расположен откидывающийся на шарнирах фильтр с магнитным фиксатором *1* и меткой центра детектора *3*, а также этикетка *2*. На верхней торцовой крышке находятся отверстие звукового излучателя " " *1*, разъем " " *3* для подключения головных телефонов и окно оптических элементов инфракрасного канала связи "IR" *2*. На нижней торцевой крышке находится пробка входного отверстия батарейного отсека *1* и этикетка со схемой установки элементов питания *2*.

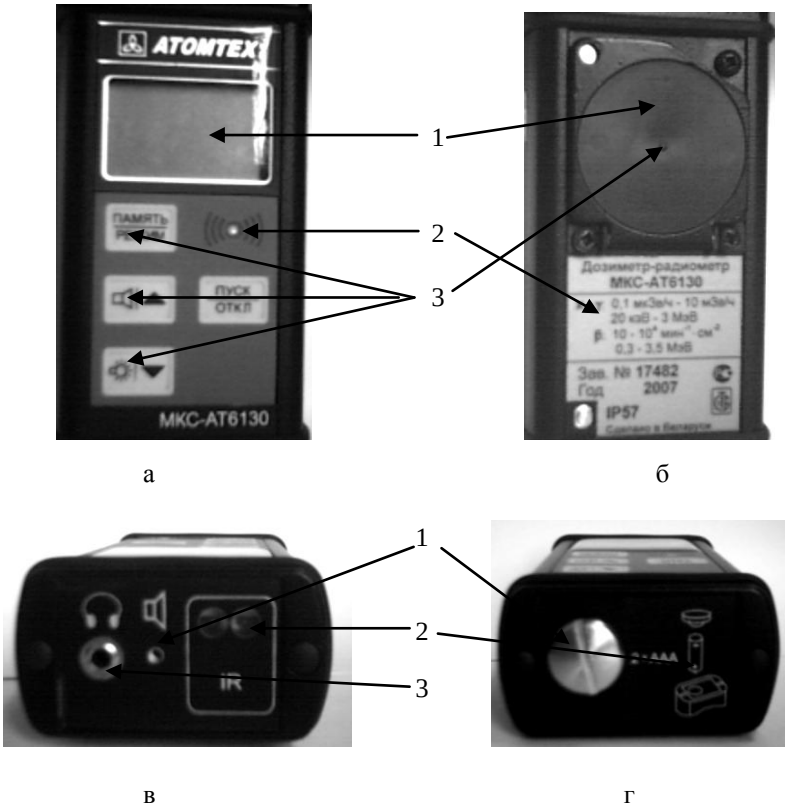


Рис.8. Общий вид прибора: а – со стороны передней панели; б – со стороны задней стенки; в – со стороны верхней торцевой крышки; г – со стороны нижней торцевой крышки.

Детектор (газоразрядный счетчик) расположен на задней стенке корпуса, в которой имеется соответствующее окно**.** Для защиты окна детектора от посторонних предметов имеется металлическая сетка и полимерная металлизированная пленка. Все остальные элементы прибора располагаются на печатной плате, которая фиксируется в корпусе в направляющих пазах.

Подготовка прибора к использованию.

Установка элементов питания. После длительного хранения прибора, перед проведением поверки или при разряде элементов питания необходимо установить новые элементы питания. Для этого необходимо отвинтить пробку батарейного отсека, расположенную на нижней крышке прибора. Извлечь установленный комплект элементов питания. Соблюдая полярность, указанную около батарейного отсека, установить новые два элемента питания и завинтить пробку.

Неправильное использование элементов питания может привести к преждевременному выходу их из строя. Не допускается смешанное использование новых и старых элементов питания.

При длительном хранении прибора рекомендуется извлечь элементы питания из батарейного отсека для избежания вытекания электролита, что может привести к поломке прибора.

Включение и выключение прибора. Для включения прибора необходимо нажать кнопку **ПУСК/ОТКЛ.** Прибор переходит в режим самоконтроля основных узлов, при этом на индикаторе появляется надпись **"АТОМТЕХ".** Через 3–5 с в случае успешного завершения самоконтроля прибор переходит в режим индикации измерений.

Выключение прибора осуществляется быстрым трехкратным нажатием кнопки **ПУСК/ОТКЛ.** При этом на табло появляется сообщение "OFF" и через 1–2 с прибор выключится.

При этом нужно помнить, что выключение прибора осуществляется только из режима индикации измерений.

Если прибор не включается или при его включении появляется мигающая индикация "[illegible]", или прибор через несколько секунд после включения выключается, все это свидетельствует о разряде элементов питания. Необходимо произвести их замену.

При обнаружении ошибки в процессе тестирования на табло индикатора появляется сообщение **"Err xx",** где xx – код ошибки. В этом случае дальнейшая работа с прибором невозможна.

Использование по назначению.

В процессе измерения прибор может находиться либо в ***режиме индикации измерений***, либо в ***режиме меню***. Поэтому кнопки панели управления многофункциональны и имеют двойное обозначение.

Основная функция кнопки **ПУСК/ОТКЛ –** это включение/выключение прибора:

- прибор включают нажатием кнопки;

- прибор выключают быстрым трехкратным нажатием кнопки (только из ***режима индикации измерений***).

Кнопка имеет дополнительные функции:

- ***в режиме индикации измерений*** нажатие кнопки воспринимается прибором как команда «запуск» на новые измерения;

- ***в режимах меню*** нажатие кнопки воспринимается прибором как команда «выполнить».

Функции кнопки **ПАМЯТЬ/РЕЖИМ:**

- кратковременное нажатие кнопки *в режиме индикации измерений* воспринимается прибором как команда «запомнить» текущий результат измерения;

- длительное удержание (до смены индикации) кнопки в *режиме индикации измерений* переводит прибор *в режим основного меню;*

- нажатие кнопки *в режимах меню* воспринимается прибором как команда «отмена» и позволяет вернуться на предыдущий уровень меню или выйти из основного меню *в режим индикации измерений.*

Функции кнопки "|▲":

- *в режиме индикации измерений* кнопка служит для включения/выключения звука (на индикаторе прибора есть соответствующий ей символ "". *Звуковая сигнализация прибора дублируется индикатором красного цвета и сигналом на разъеме наушников* "". *Если выключить звук, то останутся красная световая индикация и сигнал на разъеме наушников;*

- *в режимах меню* кнопка воспринимается прибором как команда «вверх» для перехода по пунктам меню или по ряду значений.

Функции кнопки "|▼":

- *в режиме индикации измерений* кнопка служит для включения/выключения подсветки табло (на индикаторе прибора есть соответствующий ей символ ""). *С целью экономии заряда комплекта батарей рекомендуется использовать подсветку не более 5 мин в сутки;*

- *в режимах меню* кнопка воспринимается прибором как команда «вниз» для перехода по пунктам меню или по ряду значений.

Только в режиме *индикации измерений* можно соответствующими кнопками:

- включить/выключить звук;

- включить/выключить подсветку табло;

- выключить прибор.

Нажатие любой кнопки сопровождается звуковым сигналом (если включен звук) и индикацией красного цвета на передней панели прибора.

В следующих разделах будет приводиться одно из обозначений кнопки, соответствующее ее функции для описываемого режима.

Режим индикации измерений является основным режимом функционирования прибора. На табло индицируется результат измерения в соответствии с форматом функции измерения, текущее время и дата. В левом верхнем углу мигает символ "✥" (один раз в секунду), свидетельствуя о работе прибора.

Сразу после включения прибор автоматически переходит в режим индикации *мощности дозы* для приборов. Перейти к индикации другой функции измерения можно *через режим меню.*

Прибор не прерывает измерений и их обработку, находясь в режимах меню.

Прибор МКС-АТ6130 имеет фильтр, положение которого определяет свой набор измерительных функций и свое меню. Если изменить положение крышки фильтра, прибор автоматически (из любого режима) переходит в режим индикации измерений *плотности потока* (для открытой крышки фильтра) или *мощности дозы* (для закрытой крышки фильтра).

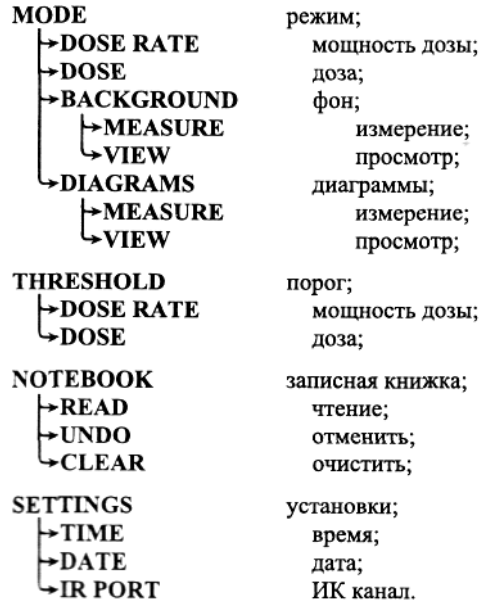
Измерения будут перезапущены для нового режима и все результаты по предыдущему режиму будут потеряны.

Режим меню. Многоуровневый режим меню является сервисным режимом прибора. Для перехода в основное меню *из режима индикации измерений* следует нажать кнопку **РЕЖИМ** и удерживать, пока не появится индикация основного меню. Вернуться *в режим индикации измерений* можно, повторно нажав ее.

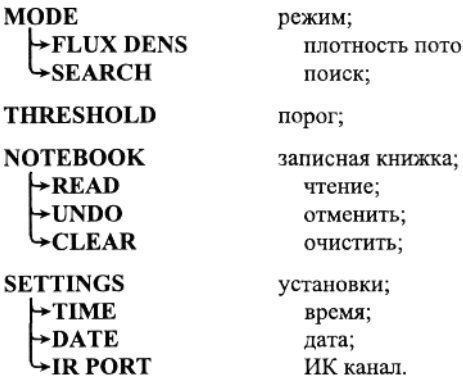
Цикличный переход по строкам меню вверх/вниз выполняется кнопками "▲" и "▼", при этом на выбранную строку будет указывать мигающий указатель "►". Переход на выбранный уровень меню выполняется кнопкой **ПУСК,** а возврат на предыдущий – кнопкой **РЕЖИМ.**

Режимы меню, где надо выбрать значение из заданного ряда (например, задание нового порога или установка времени и даты), перебор значений выполняется по циклу вверх/вниз кнопками "▲" и "▼" соответственно. Ввод выбранного значения выполняется кнопкой **ПУСК,** а выход из режима на соответствующий уровень меню без ввода нового значения – кнопкой **РЕЖИМ.**

Уровни меню для прибора МКС-АТ6130 при закрытой крышке фильтра:



Уровни меню для прибора **МКС-АТ6130** при открытой крышке фильтра:



Измерение мощности дозы (DOSE RATE). Прибор находится в режиме постоянного измерения *дозы* и *мощности дозы*. Можно через меню прибора переключать функцию измерения для режима индика-

ции, но это никак не отразится на самих измерениях и их обработке. Режим индикации *мощности дозы* включается через основное меню прибора: **MODE → DOSE RATE .**

В режиме индикации *мощности дозы* на табло выводится текущее среднее значение мощности дозы (μSv/h, mSv/h) и соответствующее ему значение статистической погрешности (%).

Параметр статистической погрешности (от 200 до 1 %) определяется временем измерения мощности дозы. Чем больше накоплено результатов измерения для расчета мощности дозы, тем лучше статистический показатель.

С изменением радиационной обстановки прибор автоматически начинает новый цикл измерения мощности дозы (при этом накопленная доза не сбрасывается). Момент начала нового цикла измерения сопровождается короткой звуковой и световой индикацией. Происходит скачкообразное увеличение значения статистической погрешности, а затем, по мере накопления результатов, его постепенное уменьшение.

Начать новый цикл измерения мощности дозы можно также вручную, нажав кнопку **ПУСК**. Перезапуск для мощности дозы никак не влияет на режим накопления дозы.

В случае превышения порога по мощности дозы появляется звуковая сигнализация (пять коротких звуков и длинная пауза) и мигающая индикация символа "🔔". Если одновременно превышен порог и по дозе, то обе звуковые сигнализации будут чередоваться.

Если при измерении мощности дозы появляется индикация **"OL mSv/h"**, сопровождающаяся непрерывной звуковой и световой сигнализацией, это означает, что превышен диапазон измерения по мощности дозы.

Измерение дозы (DOSE).

Прибор находится в режиме постоянного измерения *дозы* и *мощности дозы.* Можно через меню прибора переключать функцию измерения для режима индикации, но это никак не отразится на самих измерениях и их обработке. Режим индикации накопленной *дозы* включается через основное меню прибора:

MODE → DOSE .

В режиме индикации *дозы* на табло выводится текущее значение накопленной дозы (nSv, μSv, mSv).

Можно сбросить и перезапустить заново режим накопления дозы, нажав кнопку **ПУСК**, что никак не повлияет на режим измерения мощности дозы.

В случае превышения порога по дозе появляется звуковая сигнализация (два коротких звука и длинная пауза) и мигающая индикация символа "🔔". Если одновременно превышен порог и по мощности дозы, то обе звуковые сигнализации будут чередоваться.

Если в режиме дозы появляется индикация **"OL mSv"**, сопровождающаяся непрерывной звуковой и световой сигнализацией, это означает, что превышен диапазон измерения по дозе.

Если в режиме дозы появляется сообщение **"OL DOSE RATE"**, это означает, что далее погрешность измерения дозы не нормируется, так как был превышен предел измерения по мощности дозы.

Измерение плотности потока (FLUX DENS).

Режим *плотности потока* включается автоматически, если открыть крышку фильтра, а также через основное меню прибора (при открытой крышке фильтра) **MODE →FLUX DENS .**

В режиме индикации ***плотности потока*** на табло выводится текущее значение плотности потока ((l/(min·cm^2), 10/(min·cm^2)) и соответствующее ему значение статистической погрешности (%). Измерение плотности потока выполняется с автоматическим вычитанием фона.

При изменении радиационной обстановки прибор автоматически начинает новый цикл измерения плотности потока, сопровождая этот момент короткой звуковой и световой индикацией.

Начать новый цикл измерения плотности потока можно также вручную, нажав кнопку **ПУСК.**

Перед запуском на измерение плотности потока следует убедиться, что ранее измеренный фон существенно не изменился. Если же условия измерения изменились (другое место, большой промежуток времени после предыдущего измерения), то необходимо провести новое измерение фона при закрытой крышке фильтра. Чем меньшее значение плотности потока нужно измерить, тем точнее необходимо измерить фон.

После измерения фона открыть крышку фильтра – прибор сразу же перейдет в режим измерения плотности потока бета-частиц с автоматическим вычитанием фона. Установить прибор таким образом, чтобы плоскость задней стенки прибора находилась на расстоянии (15±3)мм от исследуемой поверхности. Перезапустить измерения, нажав кнопку **ПУСК.** Результат измерения можно считывать при достижении необходимой статистической погрешности. Чем она меньше, тем точнее результат измерения.

В случае превышения порога по плотности потока появляется звуковая сигнализация (пять коротких звуков и длинная пауза) и мигающая индикация символа "🔔".

При работе прибора с открытой крышкой фильтра необходимо оберегать окно детектора от повреждения защитной металлизированной пленки.

Измерение фона (BACKGROUND).

Запуск на измерение фона производится через основное меню при закрытой крышке фильтра: **MODE → BACKGROUND → MEASURE.**

В режиме *измерения фона* на табло выводится текущее значение

фона (s^{-1}) и соответствующее ему значение статистической погрешности (%). При достижении нужной статистической погрешности значение фона необходимо запомнить, нажав кнопку **ПАМЯТЬ.** При этом на табло появляется индикация **"ОК"** (запись произошла). Запись можно повторять многократно в процессе измерения.

Можно перезапустить измерение фона сначала, нажав кнопку **ПУСК.**

Записанное в память значение фона хранится после выключения прибора. Его всегда можно посмотреть через основное меню: **MODE → BACKGROUND → VIEW .**

Режим *измерения фона* никак не влияет на измерения *дозы* и *мощности дозы.*

Режим порогов (THRESHOLD).

При работе с прибором для каждой измеряемой характеристики (мощность дозы, доза и плотность потока) может быть установлен свой собственный порог, при превышении которого появляется мигающая индикация символа "🔔" и соответствующая звуковая сигнализация:

- пять коротких звуков и пауза для ***мощности дозы****;*
- два коротких звука и пауза ***для дозы****;*
- пять коротких звуков и пауза для ***плотности потока****.*

Звуковая сигнализация о превышении порогового уровня по *мощности дозы* и *дозе* срабатывает независимо от того, в каком из этих режимов измерения находится прибор. При превышении обоих пороговых уровней одновременно включаются обе сигнализации. Можно отключить звуковую сигнализацию кнопкой "🔇", но индикация "🔔" останется.

Установить новые значения порогов можно через основное меню прибора, выбрав пункт меню **THRESHOLD.** На табло появляется индикация символа "📶".

В приборе МКС-АТ6130 с открытой крышкой фильтра можно установить порог только для *плотности потока.* Поэтому при выборе в основном меню пункта **THRESHOLD** прибор сразу же перейдет к индикации значения ранее установленного порога для плотности потока.

Кнопками **"▲"** и **"▼"** можно выбрать из фиксированного ряда новое значение для порога и ввести его кнопкой **ПУСК.**

В приборе МКС-АТ6130 (с закрытой крышкой фильтра) можно аналогичным образом через основное меню прибора установить порог для *мощности дозы* и *дозы:*

THRESHOLD → DOSE RARE; THRESHOLD → DOSE.

После выключения прибора значение установленного порога не сохраняется.

При включении приборов автоматически устанавливаются следующие фиксированные значения пороговых уровней:

а) по мощности дозы – 30 мкЗв/ч;

б) по дозе – 180 мкЗв;

в) по плотности потока – 100 част/(мин·см^2).

В ручном режиме приборы обеспечивают возможность изменения пороговых уровней в пределах диапазонов измерения:

- мощности дозы от 0,1 мкЗв/ч до 10 мЗв/ч;
- дозы от 0,1 мкЗв до 100 мЗв;
- плотности потока от 10 до 10^4 част/(мин·см^2) в соответствии с рядом фиксированных значений, кратных 1,0; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8.

Режим «поиск» (SEARCH).

Работа в режиме «поиск» проводится только при открытой крышке фильтра, что позволяет эффективно производить поиск и бета-излучения. Режим включается через основное меню: **MODE → →SEARCH .**

В режиме «поиск» на табло выводятся показание скорости счета импульсов (s^{-1}) и аналоговая шкала (рис.9).

Рис.9. Вид аналоговой шкалы.

Прибор работает в режиме счета импульсов без усреднения (результат обновляется каждые 2 с). Сверху над шкалой указан диапазон, в пределах которого ведется поиск: ±10, ±100, ±1000 или ±10000 импульсов в секунду. Величина маркера на аналоговой шкале показывает отклонение измеренного количества импульсов в данный момент в данном месте от количества импульсов в точке, от которой начинался поиск. Частота звукового сигнала меняется пропорционально скорости счета в пределах шкалы.

При приближении к радиоактивному источнику растет частота звуковых сигналов и величина маркера увеличивается в **"+"**. Если источник мощный, звуковые сигналы сливаются практически в непрерывный сигнал и маркер заполняет всю правую часть шкалы. Для продолжения поиска необходимо нажать кнопку **ПАМЯТЬ,** появляется индикация **"ОК"**. Прибор переключает шкалу на новый диапазон и принимает записанное значение импульсов за точку начала поиска, частота звуковых сигналов и величина маркера уменьшаются.

При дальнейшем приближении к источнику частота звуковых сигналов и величина маркера вновь начинают увеличиваться. При полном заполнении маркером шкалы **"+"** на диапазоне "±10000" появляется индикация **"OL s^{-1}"** и дальнейшее переключение невозможно.

При удалении от источника излучения частота звуковых сигналов снижается, а величина маркера на аналоговой шкале увеличивается в "–". При нажатии на кнопку **ПАМЯТЬ** прибор запоминает новое исходное значение импульсов для поиска и переходит на меньший диапазон шкалы (маркер уменьшается).

Для удобства работы в режиме «поиск» можно отключить звук кнопкой " " и подключить наушники к разъему "", где звуковые сигналы не отключаются.

Порядок выполнения задания.

1. Произведите измерение мощности эквивалентной дозы (МЭД) гамма-излучения окружающей среды (гамма-фона) в контрольных точках, указанных преподавателем. МЭД в пяти точках на высоте 1 м над уровнем пола (четыре измерения по углам помещения и одно в центре). Результаты запишите.

2. Измерьте плотность потока бета-излучения с загрязненных поверхностей.

3. Сравните полученный результат с контрольными уровнями радиоактивного загрязнения для принятия решения о проведении дезактивационных работ (приложение 4).

Контрольные вопросы

1. Перечислите классы измерительных приборов, применяемых при регистрации ионизирующих излучений.
2. От чего зависит биологический эффект ионизирующих излучений?
3. Дайте определение дозы излучения.
4. Какими приборами измеряют дозу излучения?
5. Объясните необходимость дозиметрического контроля.
6. Как можно классифицировать дозиметрические приборы?
7. Укажите основные группы дозиметрических приборов по назначению и дайте их характеристику.
8. Как классифицируются дозиметрические приборы по регистрации вида излучения?
9. Как разделены дозиметрические приборы по характеру электрического сигнала?
10. Приведите и поясните типовую блок-схему дозиметрического прибора.
11. Объясните принцип работы индикаторного дозиметра.
12. Приведите блок-схему индикаторного дозиметра и поясните ее.
13. Поясните принцип работы переносного дозиметра.
14. Приведите и поясните блок-схему переносного дозиметра.
15. Укажите характерные неисправности дозиметров и способы их устранения.

Лабораторная работа № 3. ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДОЗИМЕТРОВ

Введение

В лабораториях, научно-исследовательских учреждениях, предприятиях, где ведутся работы с радиоактивными веществами, необходимо знать дозу излучения, получаемую работниками за определенный промежуток времени: в течение дня, недели и т.д. На основании этих данных можно судить о степени воздействия ионизирующего излучения на каждого работника в отдельности и в соответствии с этим принимать меры по улучшению условий труда и установленного режима работы в данных конкретных условиях. Данные индивидуального дозиметрического контроля необходимы при проведении медицинских осмотров, установлении связи между состоянием здоровья сотрудников и степенью воздействия ионизирующего излучения.

Данные дозиметрического контроля внешних полей ионизирующих излучений, полученные путем измерения мощности дозы (потоков) стационарными или переносными приборами, обычно оказываются недостаточными для характеристики полной дозы, получаемой человеком за день, ввиду изменения доли радиации во времени и пространстве.

Для проведения индивидуального дозиметрического контроля используются индивидуальные, или, как их иногда называют, карманные дозиметры, которые фиксируются на личной одежде работника, например, в специальном нагрудном кармане, на головном уборе, перчатках и т.д.

Индивидуальный дозиметрический контроль

Дозиметр, предназначенный для измерения экспозиционной, поглощенной или эквивалентной доз, получаемых человеком за время нахождения в поле ионизирующего излучения, называется **индивидуальным.** Суммарная доза, регистрируемая прибором, состоит из доз, получаемых в последовательные промежутки времени. Индивидуальные (карманные) дозиметры позволяют судить о радиационном воздействии, которому подвергался каждый человек в течение рабочего дня, месяца, года. Рассмотрим подробнее назначение и устройство индивидуальных дозиметров.

Индивидуальные дозиметры делятся на разовые (оперативные); интегральные (декадные, месячные и квартальные); аварийные и сигнализирующие. Отметим, что разовые дозиметры персонал получает в дополнение к основным у дежурного дозиметриста при проведении радиационно опасных работ. Они также выдаются лицам категории

"Население" и другим лицам, не имеющим основного индивидуального дозиметра, при эпизодических посещениях ими зоны строгого радиационного режима.

Для индивидуального дозиметрического контроля используются дозиметры с различными эксплуатационными параметрами, принципом построения, конструктивным исполнением.

Наибольшее распространение получили индивидуальные дозиметры, основанные на применении специальных сортов фотопленок (метод ИФК), малых ионизационных или конденсаторных камер (метод ИДК) и вспышечных люминофоров (сцинтилляторов) (метод ИЛК). Все указанные методы применяются для индивидуальной дозиметрии рентгеновских и гамма-лучей. Кроме того, некоторые из этих методов применяются для дозиметрии и других видов излучений. Так, фотопленки в сочетании с люминесцирующими экранами дают возможность производить контроль потока тепловых нейтронов (метод ИФКН); специальные фотопленки с толстослойными эмульсиями могут применяться для дозиметрии потоков быстрых нейтронов и других частиц больших энергий; метод ИЛК – для измерения тепловых нейтронов, а также потоков бета-частиц.

Для индивидуального дозиметрического контроля широко применяется метод ИФК. Достоинством данного метода является его простота и документальность. Кассеты ИФК портативны, прочны и сравнительно недороги в изготовлении. Вместе с тем метод ИФК обладает рядом следующих недостатков:

1) малая чувствительность пленки и небольшой диапазон измерения по дозам (0,05–3 Р для пленки типа "рентген" ХХ и 0,5–15 Р для пленки типа "рентген" Х);

2) длительность обработки пленки, что не позволяет быстро определить полученную дозу сразу же после выполнения той или иной работы;

3) постоянный расход фотоматериалов;

4) невозможность предварительной проверки качества пленки;

5) сравнительно большая погрешность измерений, часто превышающая 30%.

Более совершенным является метод ИДК ввиду большей чувствительности (от 0,02 Р) и точности (10%), чем у метода ИФК.

Полученная доза может быть определена сразу же после возвращения камеры работником. Однако высокие требования, которым должна соответствовать изоляция камер, и вытекающее отсюда требование хорошей герметичности не всегда выполняются на практике, вследствие чего часть камер обладает повышенным током утечки и не может служить для длительных измерений. В этом состоит существенный недостаток метода ИДК.

Хорошо зарекомендовал себя метод ИЛК. Достоинство этого мето-

да состоит в том, что дозиметрами ИЛК можно производить измерения в очень широком диапазоне доз (0,01–2000 Р). Кроме того, они могут служить также для измерения потока тепловых нейтронов.

Каждый из указанных выше методов может с успехом применяться для индивидуального дозиметрического контроля. Применение того или иного метода на данном конкретном производстве будет определяться требуемым диапазоном измерений, точностью показаний, объемом работы, наличием обслуживающего персонала и рядом других факторов, специфических для данного учреждения. Например, при проведении аварийных работ, когда важно сразу же определить дозу, полученную работником за некоторый промежуток времени, с тем, чтобы ограничить соответствующим образом его время пребывания в поле облучения, более целесообразно использовать метод ИДК или ИЛК, которые позволяют более быстро получить данные, чем метод ИФК.

Индивидуальным дозиметрическим контролем охватывается весь персонал, находящийся на участках, где имеется или возможно появление гамма-излучения и потоков нейтронов. **В комплекс работ по проведению индивидуального контроля входит:**

1) подготовка к выдаче, выдача и хранение индивидуальных дозиметрических приборов;

2) обработка показаний;

3) учет облучения персонала;

4) наблюдение за правильностью эксплуатации приборов индивидуального контроля.

Надежность и идентичность данных индивидуального контроля в значительной степени зависят от правильного обращения работников учреждений с выдаваемыми им для ношения дозиметрами (кассеты с пленками, конденсаторные камеры, люминесцентные таблетки). Лица, подвергающиеся индивидуальному контролю, должны:

1) своевременно получать и сдавать на хранение индивидуальные дозиметры;

2) обязательно носить их в течение всего рабочего дня и при всех работах;

3) предохранять дозиметры от загрязнений вообще и от радиоактивных загрязнений в особенности;

4) предохранять дозиметры от ударов и падений; воспрещается их вскрывать во время ношения.

Работники дозиметрической службы должны разъяснять персоналу указанные правила и следить за их выполнением.

Индивидуальные дозиметры должны носиться на груди поверх спецодежды в специальном кармане или укрепляться при помощи специальных держателей. Для предохранения индивидуальных дозиметров от загрязнения они помещаются в чехол из ткани или целлофана.

При выполнении ремонтных работ или переноске контейнеров с радиоактивными веществами следует размещать индивидуальные дозиметры не только на груди, но и на ноге или голове, исходя из специфики работы.

Рассмотрим принципы работы и конструкции различных дозиметров для индивидуального дозиметрического контроля, а также методы регистрации ионизирующего излучения, используемые в дозиметрии. В практике дозиметрии широко используются ионизационный, фотографический и люминесцентный методы регистрации ионизирующих излучений.

Индивидуальный фотографический контроль (метод ИФК)

Фотографический метод индивидуального дозиметрического контроля основан на сравнении оптической плотности почернения экспонированных "рабочих" пленок с контрольными, которые облучены известной дозой гамма-излучения. Причем почернение фотоэмульсии пропорционально дозе облучения, т.е. произведению мощности дозы и времени облучения. Между почернением и дозой в определенных пределах, зависящих от характера эмульсии, существует линейная зависимость. Почернение фотоэмульсии при ее облучении вызывается не только непосредственно гамма- или рентгеновским излучением, но и вторичными электронами (фотоэлектронами, комптоновскими электронами и электрон-позитронными парами).

Оптическая плотность почернения S определяется как

$$S=\log(I/I_0),$$

где I_0 – интенсивность видимого света, падающего на проявленную фотопленку;

I – интенсивность света, прошедшего через фотопленку.

Чтобы исключить фактор проявления, т.е. зависимость почернения пленки от состава и температуры проявителя и от времени проявления, рабочие и контрольные пленки проявляются одновременно. Следует также учитывать, что при облучении фотопленки равными дозами излучения, но разной энергии (жесткости), степень почернения будет разной. **Этот эффект – зависимость почернения пленки от энергии излучения при одной и той же дозе излучения в воздухе – называют «ход с жесткостью».** Чтобы исключить влияние «хода с жесткостью», пленку окружают свинцовыми фильтрами толщиной 0,75 + 0,05 мм.

Методика ИФК без свинцовых экранов применима в интервале энергий гамма-излучений 0,4 – 3 МэВ, а со свинцовыми экранами – в интервале 0,1–3 МэВ.

Аппаратура и организация контроля. Кассета, применяемая для

индивидуального дозиметрического контроля, выполнена из пластмассы в виде прямоугольного параллелепипеда (67×43×9 мм) с закругленными ребрами и углами. До половины высоты кассета обкладывается (обклеивается) с двух сторон свинцовым П-образным фильтром толщиной 0,75 ± 0,05 мм, который выравнивает зависимость чувствительности фотоэмульсии от энергии γ-излучения ("ходе жесткостью") (рис. 10).

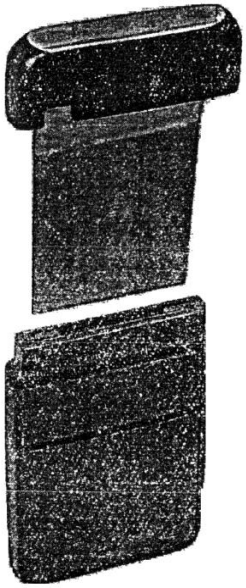


Рис.10. Кассета,
используемая в методике ИФК.

В методе ИФК применяются фотопленки типа "рентген" Х и "рентген" ХХ, допускается пленка типа «Agfa».

Для осуществления индивидуального дозиметрического контроля с помощью метода ИФК в дозиметрической службе организуются пункт выдачи и приемки кассет и лаборатория.

В небольших учреждениях и лабораториях, где нет дозиметрической службы, пункты выдачи кассет организуются при санитарно-эпидемиологической станции.

Продолжительность ношения кассеты (до сдачи ее на обработку в лабораторию) устанавливается с учетом специфики и объема выполняемых работ сроком от одного до 7–14 дней. На одно- или двухнедельное ношение кассеты выдаются работникам, у которых средняя ежедневная доза облучения не превышает 0,05 Р.

Если кассета выдается на срок более одного дня, то ее должны оставлять после работы на контрольно-пропускном пункте. В тех учреждениях, где нет контрольно-пропускного пункта, кассета должна храниться вместе со спецодеждой. Однако в этом случае в раздевалке вблизи шкафов для спецодежды необходимо размещать контрольную партию кассет (3–5 штук) для определения γ-фона в помещении.

У работников, обслуживающих участки, на которых возможно резкое повышение мощности дозы γ-излучения, кассеты после работы каждый раз изымаются и направляются в лабораторию для обработки.

Подготовка пленки и зарядка кассет. Перед зарядкой кассет фотопленка разрезается на прямоугольные кусочки размером 50×30 мм. Причем при разрезе пленки и зарядке кассет нельзя касаться пальцами эмульсионного слоя, так как это может привести к значительным ошибкам при фотометрировании. Нельзя также подвергать пленку трению во избежание появления фрикционной вуали.

Нарезанная пленка и ее запасы должны храниться в освинцованном ящике в специальном защищенном от излучения месте при соблюдении условий хранения, указанных на коробке с пленкой. В помещении, где хранится пленка, фон γ-излучения не должен превышать уровень естественного фона.

К зарядке кассет пленка допускается только после проверки ее вуали. Для этого от партии пленки берется образец и обрабатывается способом, который установлен для обработки фотопленок. Допустимая плотность почернения (S_B) вуали не должна превышать 0,3. Разрезка пленки, зарядка и разрядка кассет, а также проявление, промывка и фиксирование должны проводиться в полной темноте или, в крайнем случае, при красном свете.

Облучение контрольных пленок. Облучение контрольных пленок осуществляется препаратами Ra-226, Co-60 или Cs-137 на специальной панели, изготовленной из дерева или оргстекла. Панель должна иметь гнезда или зажимы для фиксирования облучаемых кассет с теми же фильтрами и чехлами, с какими они выдаются для ношения персоналу.

Радиоактивный препарат должен быть заключен в алюминиевый футляр, толщина стенок которого полностью поглощает β-излучения данного радиоактивного изотопа. Для Co-60 это составляет примерно 0,3 мм. Препарат в футляре следует размещать таким образом, чтобы его центр находился на уровне геометрического центра кассеты. При проведении контрольного облучения панель следует устанавливать в центре комнаты на расстоянии не менее 1 м от стен. Расстояние от источника до ближайшей кассеты должно быть в 8–10 раз больше линейных размеров источника.

Расстояние от источника до облучаемых контрольных кассет рассчитывается так, чтобы при одинаковом для всех кассет времени облучения иметь приблизительно следующие точки:

Для пленки типа "рентген"XX или «Agfa»

Номера точек	1	2	3	4	5	6	7	8
Доза в Р	0,05	0,10	0,20	0,30	0,50	0,80	1,20	1,80

Для пленки типа "рентген" X

Номера точек	1	2	3	4	5	6	7	8
Доза в Р	0,50	1,00	2,00	3,00	5,00	8,00	12,00	15,0

Оптическая плотность почернения S для контрольных пленок не должна превышать 1,80–2,00 (максимальное почернение). Если же почернение рабочей пленки превышает эту величину, то это означает, что данный работник получил дозу, большую той, которая соответствует почернению 1,8–2,0 по градуировочной кривой, но которую определить достаточно точно нельзя. Для более точного определения дозы, полученной в данных условиях, следует, если это возможно, повторить контроль с уменьшенным временем ношения пленки.

В качестве примера приведена табл.2, где указаны расстояния от препарата, на которых должны быть размещены контрольные кассеты с пленкой типа "рентген" XX до источника. Эти расстояния рассчитаны для препарата активностью 10 мг-экв. радия, который наиболее целесообразно использовать. Время экспозиции t=30 мин.

Таблица 2. **Расстояния от контрольных точек до источника**

Номера точек	1	2	3	4	5	6	7	8
Доза в Р	0,05	0,10	0,20	0,30	0,50	0,80	1,20	1,80
Расстояние от источника, см	39,2	19,6	13,6	10,7	8,7	6,7	5,6	4,5

Как видно из табл. 2, минимальное расстояние кассеты от источника составляет 4,5 см. Следовательно, чтобы соблюдался закон обратных квадратов, линейные размеры источника не должны превышать 5–6 мм. Использовать для контрольного облучения препараты большой активности (50–100 мг-экв. радия) не рекомендуется, так как в этом случае контрольное облучение необходимо проводить в защищенном помещении.

Порядок обработки пленки. При разрядке кассет на части пленки, которая находилась под свинцовым фильтром, **мягким** графитовым карандашом проставляется номер, соответствующий номеру на кассете. Для рассмотрения номера на кассете используется узкий пучок света от темно-красного фонаря, к которому на короткое время подносится кассета, затем этот номер в темноте переписывается на пленку. Если

конструкция кассеты предусматривает нумерацию пленки путем засвечивания верхней части кассеты, необходимость описанных выше действий отпадает. В последних моделях комплекта ИФК пленка крепиться к крышке кассеты, на которой имеется номер, и проявляется вместе с ней. В этом случае также отпадает необходимость проводить маркировку пленки.

Вынутые из кассеты пленки одного какого-либо типа укладываются или закрепляются в специальные каркасы, сделанные из оргстекла или металла, в которых производится их обработка. Расстояние между соседними пленками в каркасе должно быть не менее 1 см. Одновременно с рабочими пленками проявляются пленки, экспонированные для кривой почернения (контрольные).

Перед обработкой пленок подготавливают бачки с проявителем, фиксажем и водой, измеряют температуру проявителя и определяют время проявления. Проявление пленок обычно продолжается 5–7 мин при температуре проявителя 18 °С.

Состав проявителя, правила его хранения и правила проявления пленок оговариваются соответствующими методиками.

Отметим, что разрядка кассет, заполнение каркаса пленками, проявление и начало фиксирования (3–5 мин) производятся в полной темноте.

Фотометрирование пленок. Фотометрируется часть пленки, которая находилась под свинцовым фильтром, только в сомнительных случаях фотометрируется обе части пленки. Фотометрирование производится на денситометре ИФТ-11 либо на фотоэлектрическом денситометре, градуированном в оптических плотностях почернения (S). Цена деления и точность градуировки фотоэлектрического денситометра должна быть не хуже, чем у ИФТ-11.

По плотностям почернения (S), полученным при контрольном облучении пленок, строится график зависимости почернения от дозы γ-лучей, выраженной в рентгенах (контрольная кривая). В качестве примера на рис. 11 приводится контрольная кривая почернения.

Регистрация данных ИФК. По найденным значениям плотностей почернения (S) рабочих пленок при помощи построенной для данной серии пленок кривой почернения определяются дозы излучения, полученные работниками. Например, пусть пленка, находившаяся в кассете № 38, имеет плотность почернения S=0,72. По кривой почернения (рис.11) находим, что указанному значению (S) соответствует доза D=0,9 Р. Таким образом, за время ношения кассеты № 38 работник получил дозу, равную 0,9 Р. Если время ношения кассеты составляло 1 неделю, т.е. 6 рабочих дней, то полученная доза за 1 рабочий день соответственно равна 0,15 Р, т.е. трем предельно допустимым дозам.

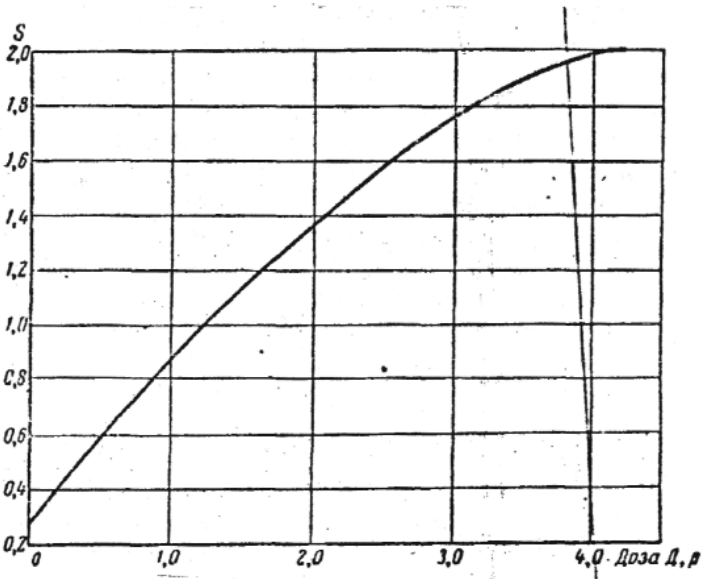


Рис.11. Контрольная кривая почернения.

Данные индивидуального фотографического контроля записываются в рабочий журнал (табл. 3).

Таблица 3. **Форма рабочего журнала** (дата обработки пленок; время ношения кассет (в рабочих днях или часах); смена. Тип пленки – вуаль)

Номер кассеты	Плотность почернения, S	Доза, полученная за время ношения кассеты D, Р	Доза за смену, Р	Примечание

Данные из рабочего журнала переносятся в специальный журнал, форма которого приводится ниже (табл. 4).

Таблица 4. **Форма специального журнала**

№ п.п.	ФИО	Наименование подразделения	
		Дата и смена	Месяцы
1	Воронов С. Т.	Доза	

Формы журналов для регистрации могут быть изменены начальником дозиметрической службы с учетом особенностей работы учреждения.

В случае применения пленок для количественных измерений дозы необходимо знать "качество" излучения. С помощью комбинации ступенчатых фильтров можно по отношениям почернений пленки определить жесткость излучения и тем самым – фактор жесткости, на который нужно умножить "кажущуюся" дозу, определенную по почернению пленки без фильтра. По почернению пленки, покрытой различными фильтрами, можно судить о характере действовавшего излучения: гамма- или бета-излучение, прямое или рассеянное излучение.

Индивидуальный фотоконтроль потоков гамма-лучей и тепловых нейтронов (метод ИФКН)

Метод ИФКН является модификацией обычного метода ИФК и предназначается для определения доз тепловых нейтронов и γ-излучения, получаемых лицами, работающими в поле этих излучений.

Методика применения ИФКН аналогична методике ИФК, за исключением некоторых изменений, описанных ниже.

Поскольку обычные фотографические пленки практически нечувствительны к потокам нейтронов, для регистрации тепловых нейтронов в методе ИФКН используются люминесцирующие экраны из сульфида цинка, активированного серебром и сплавленного с борным ангидридом. Тепловой нейтрон захватывается ядром бора и возникает ядерная реакция, в результате которой образуются α-частицы и ядра отдачи лития. Проходя через кристаллы сульфида цинка, эти частицы возбуждают свечение люминофора, которое действует на фотопленку, вызывая ее дополнительное облучение. Гамма-лучи также возбуждают свечение люминофора, но оно сравнительно слабее, чем при облучении тепловыми нейтронами.

Кассеты ИФК в методе ИФКН подвергнуты частичной переделке. Так же как и в методе ИФК, на часть своей высоты кассета обклеивается снизу компенсирующим свинцовым П-образным фильтром толщиной 0,757+ 0,05 мм, который уменьшает "ход с жесткостью" фотопленки. Кроме того, внутрь кассеты вкладываются два пластмассовых вкладыша, в которые друг против друга вмонтированы люминесцирующие экраны в виде дисков диаметром 10 мм. На одном из вкладышей имеются два экрана, на другом – только один нижний. Вкладыши крепятся к стенкам кассеты винтами. На крышке кассеты сверху нанесен номер кассеты. Внутрь крышки вставлена пружинка, удерживающая пленку, которой заряжается кассета.

Для зарядки кассеты пленка вставляется в пружинку на крышке и вдвигается в кассету. При этом крышка закрывает кассету. Для обработки пленка извлекается из кассеты вместе с крышкой; последняя крепится в пазах крышки бачка. Всю обработку пленка проходит вместе с крышкой кассеты, поэтому необходимость в маркировке отпадает.

У экранированных пленок с помощью денситометра определяется оптическая плотность почернения пленки вне экранов на участке, располагающемся между свинцовыми фильтрами $S_П$ и на месте нижнего пятна (между двумя экранами) $S_Э$. Если почернение $S_Э$ окажется больше 2,0, то определяется также плотность почернения верхнего пятна (от одного экрана) $S_{Э1}$. По контрольной кривой почернения, полученной также, как и в обычном методе ИФК, определяются дозы γ-излучения $D_П$ и $O_Э$ или $D_{Э1}$, соответствующие почернениям $S_П$ и $S_Э$ или $S_{Э1}$.

Доза γ-излучения, попавшего на пленку, очевидно равна $D_П$. Доза тепловых нейтронов $D_Н$ (бэр) определяется по формуле

$$D_Н = \frac{D_Э - Г \cdot D_П}{Н},$$

где Г – усиливающее действие на пленку двух экранов при γ- облучении;

Н – чувствительность пленки с двумя экранами к тепловым нейтронам.

Если определено $D_{Э1}$, то

$$D_Н = \frac{D_{Э1} - Г_1 \cdot D_П}{Н_1},$$

где $Г_1$ – усиливающее действие экрана на пленку при воздействии γ-излучения;

$Н_1$ – чувствительность пленки с одним экраном к тепловым нейтронам.

Если $S_Э$ или $S_{Э1}$ значительно больше $S_П$, т.е. пятно резко выделяется на фоне, то расчет доз тепловых нейтронов ведется по упрощенным формулам: $D_Н = D_Э / Н$ или $D_Н = D_{Э1}/Н_1$.

Коэффициенты Н и $Н_1$, Г и $Г_1$ в конечном случае могут иметь следующие значения при работе с пленкой типа "рентген" Х:

Н = 66 (+10%);
$Н_1$ = 28 (+25%);
Г = 2,0 (+12%);
$Г_1$ = 1,4 (+12%);

при работе с пленкой типа "Agfa":

Н = 91 (+10%);
$Н_1$ = 33 (+25%);
Г = 2,4 (+12%);
$Г_1$ =1,6 (+12%).

На пленке типа "рентген" Х метод ИФКН позволяет регистрировать от 0,002 до 0,3 бэр тепловых нейтронов. На пленке типа "Agfa" – от 0,001 до 0,1 бэр (за 1 бэр принят поток тепловых нейтронов, равный $4{,}32 \cdot 10^8$ нейтр/см^2).

Точность измерения дозы тепловых нейтронов достигает +30% и ухудшается при измерениях больших доз, а также в случаях, когда γ-излучение в несколько десятков раз более интенсивно, чем поток тепловых нейтронов.

При работе следует оберегать кассеты ИФКН от сильных ударов и от попадания внутрь кассеты пыли, грязи и влаги. После действия света на экраны они имеют слабое послесвечение, которое может засветить фотопленку. Поэтому, прежде чем заряжать кассеты с такими экранами пленкой, следует выдержать их в темноте в течение нескольких часов.

Регистрацию данных контроля ИФКН следует вести в журналах по той же форме, как для индивидуального фотографического контроля.

Индивидуальный дозиметрический контроль с помощью наперстковых ионизационных камер (метод ИДК)

Ионизационный метод регистрации ионизирующих излучений основан на измерении непосредственно ионизационного эффекта, вызываемого излучением при прохождении через вещество. Как правило, это ионизационная камера или газоразрядный счетчик, т.е. газонаполненные детекторы. Работа всех газонаполненных детекторов построена на способности газов изменять электропроводность под действием ядерных излучений.

Метод ИДК служит для измерения дозы γ-лучей с помощью наперстковых ионизационных камер. Принцип действия камер основан на изменении потенциала собирающего электрода камеры, которое пропорционально дозе γ-излучения.

Изменение потенциала камеры в зависимости от дозы γ-излучения выражается следующей формулой:

$$D = \frac{C \cdot \Delta U}{300 \cdot V},$$

где C – электрическая емкость камеры, см;

ΔU – изменения потенциала камеры, В;

V – объем камеры, $см^3$;

300 – переходной множитель от абсолютных единиц потенциала (CGSE) к практическим единицам (вольтам).

Для уменьшения "хода с жесткостью", т.е. для уменьшения зависимости показаний индивидуальных ионизационных камер от энергии γ-квантов, стенки камер должны изготавливаться из воздухоэквивалентных материалов со средним атомным номером, близким к среднему атомному номеру воздуха. В единице массы воздуха и другого вещества поглощается одинаковое количество гамма-излучения, если их

массовые коэффициенты поглощения равны. Такие вещества ***называются воздухоэквивалентными.*** Поскольку дозу гамма-излучения определяют по степени ионизации воздуха, то показания токовой камеры отражают значение интенсивности гамма-излучения, если корпус выполнен из воздухоэквивалентного вещества. Тогда в 1 г материала стенки образуется столько же электронов, что и в 1 г воздуха, и доза излучения, отнесенная к 1 г воздуха, пропорциональна току насыщения. Токовую камеру с воздухоэквивалентной стенкой называют воздухоэквивалентной. Напряжение, при котором наступает насыщение, составляет, как правило, 150–300 В (для обычных камер).

Свойствами, близкими к воздухоэквивалентным веществам, обладают изоляторы: целлофан, плексиглас, полистирол, бакелит и др. Для создания электрического поля в воздухоэквивалентной камере на внутреннюю поверхность корпуса-изолятора наносят тонкий слой аквадага (водный раствор графита), который обладает высокой электропроводностью.

Для определения дозы излучения необходимо измерить суммарное число пар ионов, образованных вторичными электронами в воздушном объеме ионизационной камеры на протяжении всего пробега. Но даже для излучения с энергией 300 кэВ максимальный пробег вторичных электронов в воздухе составляет 57 см, а для излучений с энергией 1 МэВ – 3 м. Следовательно, практически невозможно работать с камерами таких размеров. Однако, если стенки ионизационной камеры выполнить из воздухоэквивалентного материала, толщина которого больше максимального пробега вторичного электрода, в воздушном объеме камеры будет выполнятся условие электронного равновесия. Таким образом, измеряя ионизационный ток, т.е. число пар ионов, образованных в воздушном объеме камеры, можно судить о величине поглощенной энергии в стенках камеры. В этом случае размеры камеры могут быть малыми; они будут определяться только требуемой чувствительностью камеры.

Чем больше объем камеры, тем большее число пар ионов будет образовано во всем объеме при облучении данной дозой излучения. Для измерения больших доз, порядка нескольких рентгенов, используют камеры объемом в несколько кубических сантиметров, а для измерения предельно допустимых доз – 1–5 л.

Стенки камеры в комплекте КД-1 ("Сосна") изготовлены из алюминия, поэтому они имеют значительный "ход с жесткостью" при измерении мягкого γ-излучения с энергией, меньшей 0,2 МэВ. Стенки камеры в комплекте КИД-1 изготовлены из проводящей воздухоэквивалентной пластмассы, поэтому показания камер практически не имеют «хода с жесткостью» для энергий γ- квантов, начиная с 0,1 МэВ.

При ношении камеры не должны испытывать резких толчков, так как при этом могут измениться показания или они могут выйти из строя. Для крепления камеры снабжены специальными зажимами наподобие зажима авторучки.

Собирающие электроды камер изготовлены из алюминия, что мало влияет на "ход с жесткостью" вследствие малой поверхности собирающего электрода по сравнению с поверхностью стенок камер. Емкость и ионизационный объем камер подбираются таким образом, чтобы камеры обладали минимальной утечкой при требуемой чувствительности. Толщина стенок ионизационных камер выбирается такой, чтобы они полностью поглощали внешнее β-излучение.

В случае, если на рабочем месте наблюдается жесткое β-излучение (с энергией 1–2 МэВ) и толщина стенок камер недостаточна для полного его поглощения, то камеры должны помещаться в специальные металлические футляры, которые обеспечивают полное поглощение β-частиц. Без этого показания камер могут быть значительно завышены вследствие дополнительной ионизации, производимой β-частицами.

Для зарядки камер и измерения дозы γ-излучения, полученной каждым работником, в комплект входит зарядно-измерительный пульт, который состоит из лампового электрометра и устройства для зарядки камер.

Характеристика комплектов индивидуального дозиметрического контроля (ИДК). В настоящее время для индивидуального контроля используются приборы типа КИД-1, КИД-2, КИД-6, ИД-1, КД-1, ДКП-50, карманные показывающие дозиметры типа ДК-0,2, ДК-5, ДК-50, Д-2 и др.

В комплект КИД-1 входит зарядно-измерительный пульт и 20 спаренных малых ионизационных камер наперстkового типа (см. рис.4). Одна из камер предназначена для измерения доз в интервале 0,02–0,2 Р, а другая – 0,2–1 Р. Каждая камера представляет собой электрическую емкость, образованную центральным электродом и корпусом. Когда дозиметр вставляют в зарядное гнездо зарядно-измерительного пульта, который служит для измерения напряжения на камере и заряда дозиметра, напряжение (4200 В) поступает на центральный электрод. При прохождении камеры в зоне облучения напряжение на ней уменьшается вследствие возникновения ионизационных потоков, вызываемых действием излучения. Измеряя напряжение на камере, можно оценить величину полученной суммарной дозы рентгеновского или γ-излучений.

Зависимость показаний камер от энергии γ-излучения не превышает 10% в диапазоне 0,08–2,0 МэВ. Саморазряд камер не превышает 3% в сутки. Прибор может работать в интервале температур от +5 до +35 °С при относительной влажности окружающего воздуха до 98%. Питание зарядно-измерительного пульта, входящего в комплект, осуществляется от сети переменного тока 220 В или гальванических батарей.

Комплекты КИД-2 и подобные им представляют собой модификации комплекта КИД-1 и предназначены для измерения доз в более широких диапазонах.

Комплект ИД-1 аналогичен КИД-1, отличается только количеством органов управления на передней панели пульта.

В комплект КД-1 входит зарядно-измерительный пульт и 200 штук индивидуальных ионизационных камер. Диапазон прибора от 0 до 50 Р разбит на два поддиапазона: 1) от 0 до 5 Р; 2) от 0 до 50 Р. Отсчет измеряемых доз производится по шкале стрелочного прибора, отградуированного в рентгенах. Точность измерения составляет 10% от номинального значения шкалы.

Саморазряд ионизационных камер не превышает 5% за сутки. Питание зарядно-измерительного пульта осуществляется от сухих элементов и батарей. Комплект типа "Сосна" предназначен для измерения сравнительно больших доз и поэтому его лучше всего использовать при ремонтных или аварийных работах.

Карманные показывающие дозиметры (рис.12) рассчитаны на измерение доз в следующих диапазонах, Р: ДК-0,2 – от 0 до 0,2; ДК-0,5 – от 0 до 5,0; ДК-50 – от 0 до 50.

Наибольшее распространение получили дозиметры ДК-0,2, так как они позволяют наиболее оперативно осуществлять дозиметрический контроль. Рассмотрим подробнее принцип их работы. Комплект их содержит 10 дозиметров и зарядное устройство.

Принцип работы токовой камеры положен в основу работы индивидуального дозиметра ДК-0,2. По форме он мало отличается от авторучки. Дозиметр помещается в карман одежды и постоянно контролирует облучение человека (на уровне груди).

Ионизационной камерой служит цилиндрический конденсатор емкостью С. Если емкость С зарядить до напряжения U, то на обкладках конденсатора накапливается заряд $Q=C\cdot U$. В поле гамма-излучения в газе токовой камеры за рабочий день образуется N ионных пар.

Ионы собираются на электродах, компенсируют часть заряда $\Delta Q = e\cdot N$.

Уменьшение заряда в емкости вызывает падение напряжения:

$$\Delta U = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{e \cdot N}{C}.$$

Число ионных пар N связано с дозой D и рабочим объемом V ($см^3$) уравнением

$$N=2{,}08\cdot 10^{9}\cdot в\cdot V\cdot D,$$

где *в* – поправочный коэффициент.

Тогда $\Delta U=a\cdot D$, т.е. напряжение на электродах пропорционально дозе. Коэффициент $a = 3{,}33\cdot 10^{-10}\cdot в\cdot V/C$ для определенного типа ионизационных камер и моноэнергетических гамма-квантов постоянен.

Пропорциональность величин ΔU и D сохраняется при условии полного собирания ионов на электродах. Постепенная разрядка емкости ослабляет электрическое поле в газе. Ниже некоторого минимального напряжения $U_{мин}$ начинается интенсивная рекомбинация ионов и показания дозиметра становятся неточными.

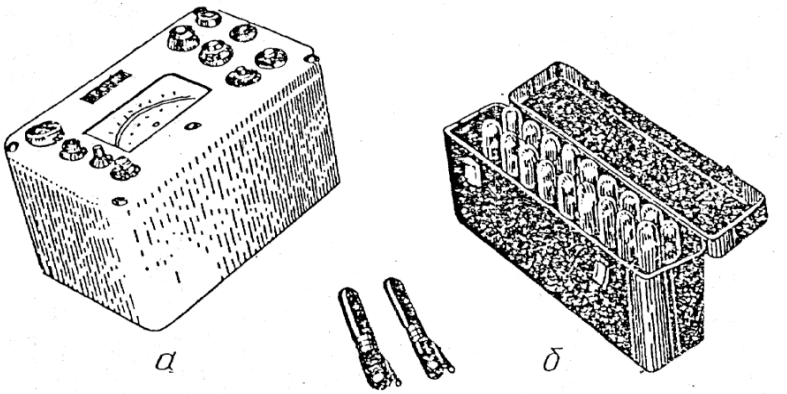


Рис. 12. Комплект индивидуальных дозиметров КИД-1:
а – зарядно-измерительный пульт; б – дозиметр.

Интегрирующий дозиметр ДК-0,2 предназначен для измерения доз рентгеновского и гамма-излучения в пределах от 10 до 200 мР в диапазоне энергий от 150 кэВ до 2 МэВ. Шкала прибора имеет 20 делений. Точность измерения доз во всем диапазоне порядка +10 %. Дополнительная погрешность за счет утечек при изменении температуры от -30 до +35 °С и относительной влажности 98% не превышает 10% за сутки.

Так как предельно допустимая доза за один рабочий день равна 16,8 мР, то прибор пригоден для контроля за облучением персонала не более двух недель.

Потеря заряда без облучения составляет обычно не более 1–2% полной шкалы за неделю. Дозиметр с предельным саморазрядом более 10 мР, а также с относительной погрешностью более 20% использовать нельзя.

Как видно на рис.13, корпус *1* дозиметра изготовлен из алюминия, внутри которого смонтированы: подвижная система электрометра с держателем *2*, закрепленная в изоляторе *3*; микроскоп, состоящий из объектива *4*, оправы объектива с диафрагмой *5*; отсчетной шкалы *6* и окуляра *7*. Общее увеличение микроскопа около 45 раз. Подача начального потенциала на электрометр осуществляется через подвижной контакт, закрепленный в эластичной мембране *8*. Для предохранения от загрязнений нижний торец закрыт колпачком *9*, который имеет прозрачное дно и открывается только на время зарядки дозиметра. На корпусе дозиметра имеется держатель *10* для крепления его к одежде. Ионизационной камерой является объем, в котором размещена под-

вижная система электрометра; ее держатель выполняет роль собирающего электрода ионизационной камеры.

Ионизационный объем ограничен корпусом ионизационной камеры *11*, спрессованной из проводящей воздухоэквивалентной пластмассы. Стенки камеры имеют толщину 0,8 мм. Сопротивление изоляции между корпусом и камерой 10^{16} –10^{18} Ом. Ввиду малого объема ионизационной камеры ионизационный ток имеет чрезвычайно малую величину (10^{-10} – 10^{-13} А). Поэтому для измерения тока используют электрометр или устройства, позволяющие усиливать ионизационные токи до таких значений, которые могут быть измерены обычными приборами. Работа электрометра основана на взаимодействии подвижного и неподвижного заряженных проводников, находящихся в электростатическом поле. При сообщении электрометру заряда вследствие действия электростатических сил происходит перемещение подвижной части прибора. Это перемещение измеряется с помощью оптической системы, имеющей шкалу.

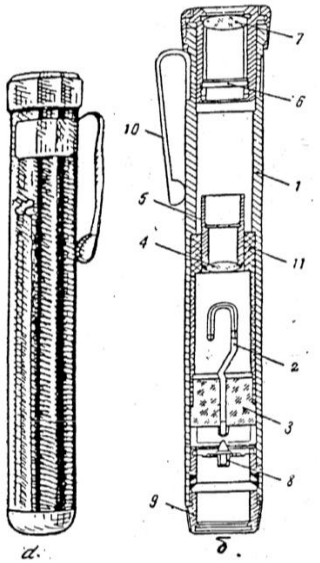


Рис.13. Ионизационная камера прибора ДК-0,2.
1– корпус; 2 – подвижная система электрометра с держателем; 3 – изолятор; 4 – объектив; 5 – оправа объектива с диафрагмой; 6 – отсчетная шкала; 7 – окуляр; 8 – мембрана; 9 – защитный колпачок; 10 – держатель; 11 – корпус ионизационной камеры.

Зарядное устройство дозиметра типа ЗД-4 или ЗД-5 выполнено в виде пульта. Пульт имеет корпус, зарядное гнездо, потенциометр для установки необходимого напряжения (180–250 В), переключатель и лампочку подсвета шкалы во время зарядки дозиметра. В пульт устанавливается гальванический источник питания напряжением 3 В.

Собственно зарядное устройство представляет собой преобразователь напряжения, собранный по схеме блокинг-генератора и выпрямителя.

Блокинг-генератор преобразует постоянное напряжение источника питания в импульсное напряжение частотой 5–20 кГц, которое снимается с повышающей обмотки трансформатора, выпрямляется и подается на центральный электрод гнезда пульта.

Порядок работы с комплектами ИДК. При получении нового комплекта ИДК необходимо:

1) проверить его комплектацию и исправность согласно технической инструкции, приложенной к прибору;

2) зарядить камеры и спустя 24 ч проверить их саморазряд. При этом камеры должны находиться в помещении, где фон γ-излучения не превышает естественного фона. После проверки отбраковать камеры, имеющие повышенный саморазряд.

Сотрудникам выдаются все или часть камер за исключением контрольной камеры, которая должна постоянно храниться с зарядно-измерительным пультом и служить для контроля правильности показаний комплекта.

Перед раздачей персоналу каждая камера заряжается на зарядно-измерительном пульте до потенциала, указанного в инструкции. Установку зарядного потенциала необходимо производить с наибольшей точностью, так как от этого зависит точность измерения дозы. После работы камеры изымаются и измеряются на пульте, показания которого отградуированы в рентгенах.

Вследствие наличия саморазряда измерения потенциала камер (доз) необходимо производить как можно быстрее после окончания рабочей смены.

Для проверки правильности показаний комплекта необходимо не реже одного раза в месяц производить периодическую проверку всех камер на саморазряд и градуировку комплекта по образцовому (контрольному) γ-излучателю. Градуировке подвергаются выборочно 10–15 камер, в число которых обязательно должна входить контрольная камера. Градуировка камер производится точно так же, как и контрольное облучение пленок в методе ИФК, с тем различием, что все камеры располагаются на одинаковом расстоянии от препарата.

Повышенный саморазряд камер обусловлен в основном воздействием значительных доз γ-излучения на изолятор камеры, поэтому камеры с повышенной утечкой следует исключить из работы до восстановления их изоляционных свойств до допустимых. Это восстановление при комнатной температуре происходит в течение 1–2 недель, а при t = 60 °С – в течении 3–6 часов.

Организация индивидуального контроля ИДК. Индивидуальному контролю ИДК наряду с ИФК подлежат все лица, подвергающиеся воздействию рентгеновского или γ- излучения.

Индивидуальные ионизационные камеры перед началом работы заряжаются и выдаются с кассетой ИФК каждому сотруднику. В специальном журнале делается отметка с указанием номера камеры и фами-

лии (или специального номера) работающего. Там, где дозы излучения, получаемые работниками, как правило, не превышают предельно допустимую и нет опасения резкого изменения гамма-поля, нет необходимости выдавать одновременно ионизационную камеру и кассету. После окончания рабочей смены показания камер измеряются на пульте и заносятся в журнал.

В отличие от кассет ИФК камеры могут не закрепляться за каждым работающим.

Регистрацию данных ИДК рекомендуется проводить в журнале по следующей форме (табл.5).

Таблица 5. **Форма журнала данных ИДК**

№ п.п.	Ф.И.О или условный номер	Месяц и год (июнь, 1998)				Суммарная доза за месяц, Р
		Число месяца	1	2	30	
1	Иванов И.П. (27)	Номер камеры, доза, Р	101 0,02	24 0,05	89 0,03	1,20
2	Петров П.И.	Номер камеры, доза, Р				

При раздаче камер в журнал записываются их номера против фамилии или условного номера сотрудника в графе, соответствующей дате выдачи. После замера в графе под номером камеры записывается доза, полученная данным сотрудником за рабочую смену.

В начале следующего месяца в последней графе проставляется суммарная доза, полученная каждым сотрудником.

Индивидуальный люминесцентный контроль (метод ИЛК)

Метод ИЛК основан на использовании вспышечных кристаллофосфоров. Эти фосфоры под воздействием излучения возбуждаются и накапливают энергию возбуждения, пропорциональную дозе. Данный метод включает разнообразные типы дозиметров. В этом методе используются два основных типа дозиметров: радиофотолюминесцентные и радиотермолюминесцентные.

Радиофотолюминесцентный (РФЛ) метод дозиметрии, предложенный еще в конце 60-х годов, впервые в России был использован не только для аварийного и операционного, но и для текущего радиационного контроля благодаря созданию системы индивидуального дозиметрического контроля «Флюорад-ДРГ-711-РФЛ». Преимуществами этого метода перед другими – ионизационным, фотографическим, химическим и термолюминесцентным (ТЛД) – являются высокие эксплуатационные характеристики дозиметров, чувствительный элемент (детектор) которых выполнен на основе фосфатных стекол, активированных серебром:

- высокая термо- и вибростойкость, ударопрочность;

- негигроскопичность;
- чрезвычайно низкий феддинг.

Кроме того, в дозиметрах такого типа считывание информации не связано с ее сбросом, что повышает надежность дозиметрической системы и создает дополнительные удобства при разработке регламента дозиметрического контроля персонала.

Физические основы радиофотолюминесценции

Некоторые вещества светятся (люминесцируют) под влиянием излучения. Работа люминесцентных дозиметров (таблеток) основана на использовании вспышечных кристаллофосфоров. Эти фосфоры обладают свойством накапливать энергию под действием излучения пропорционально дозе облучения, достаточно длительное время сохранять ее, а затем быстро высвечивать при дополнительном освещении таблеток инфракрасным светом. По яркости вспышки фосфора судят о величине дозы облучения, получаемой таблеткой, а следовательно, и человеком, носившим ее. Эти фосфоры могут возбуждаться не только радиоактивными излучениями, но и видимым светом, поэтому таблетки фосфора упакованы в светонепроницаемые кассеты. Кроме того, для устранения "хода с жесткостью" кассеты помещаются в футляры, в стенках которых установлены выравнивающие фильтры. Величина вспышек фосфоров регистрируется фотометром с измерительной схемой, чувствительным элементом которого является фотоэлектронный умножитель ФЭУ- 19.

Применение этого явления в дозиметрии основывается на линейной зависимости числа образовавшихся под действием ионизирующего излучения РФЛ-центров от дозы облучения. В свою очередь, количество этих центров может быть измерено по интенсивности люминесценции, появляющейся при облучении детектора УФ-излучением. Таким образом, считывающее устройство является по существу флюориметром и может быть непосредственно отградуировано в дозовых единицах (в единицах воздушной кермы, поглощенной или эквивалентной дозах). С другой стороны очевидно, что для получения минимально возможного нижнего предела измерений считывающее устройство должно быть оптимизировано по отношению сигнала радиофотолюминесценции к сигналу додозовой люминесценции. Это возможно сделать, зная спектральные и кинетические характеристики излучения той и другой природы.

Нижний предел измерения дозы определяется наличием додозовой люминесценции. Более точно он может быть оценен как утроенное среднеквадратичное отклонение показаний дозы для необлученного дозиметра. Интенсивность этой люминесценции в большей степени определяется тонкостями технологии варки стекла и наличием в нем примесей металлов, особенно железа, которые также способны создавать устойчивые (но не радиационно-индуцированные) центры люминесценции.

Таким образом, при создании считывающего устройства для получения возможно низкого уровня измеряемой дозы необходимо в максимальной степени подавить додозовое свечение стекла. Поэтому, в силу технологической зависимости интенсивностей дозовой и додозовой компоненты, оптимизация считывающего устройства возможна только для РФЛ-стекла марки РЛС-5.

Накопленный к настоящему времени опыт позволяет считать РФЛ-метод дозиметрии гамма-излучения весьма перспективным, так как достигнутые нижние пределы измерения эквивалентной дозы вполне достаточны для широкого применения этого метода и решения самых разнообразных задач.

Принцип измерения

Чувствительным материалом РФЛ-детектора является фосфатное стекло, активированное серебром. Этот материал является аморфным, в отличие от ТЛД-материалов, которые имеют кристаллическую структуру.

Под действием ионизирующего излучения (ИИ) в материале РФЛ-стекла образуются устойчивые центры фотолюминесценции. При возбуждении этих центров ультрафиолетовым (УФ) излучением излучается люминесценция в красно-оранжевой области спектра с максимумом в районе длин волн 600–700 нм. Именно это явление и носит название радиофотолюминесценции. Дозиметры на основе РФЛ-стекол имеют такую метрологическую характеристику, которую принято называть временем созревания. Она связана со способностью РФЛ-детектора в течение некоторого времени после прекращения облучения увеличивать сигнал люминесценции. Эта характеристика не имеет аналогов в других методах дозиметрии.

Конструкция индивидуальных дозиметров ИЛК. Фосфор в виде таблетки диаметром 16 мм и толщиной 1,5 мм запаян в стеклянную оболочку, предохраняющую его от влаги. Таблетка в стеклянной оболочке укреплена в выдвижной части кассеты, которая вставляется в корпус. Кассета обеспечивает полную светонепроницаемость. На корпусе и крышке кассеты имеются порядковые номера, необходимые для учета при дозиметрическом контроле. Перед раздачей кассеты помещаются в фильтр-футляры, которые имеют прозрачное окно, что дает возможность прочитать номер кассеты. Кроме того, некоторые фильтр-футляры имеют пружинное крепление, напоминающее крепление авторучки, для закрепления дозиметров на кармане, манжете и пр. Выпускаются фильтр-футляры двух типов: с кадмиевыми фильтрами типа К и без них. Дозиметры ИЛК в фильтр-футляре типа К могут регистрировать смешанную дозу излучения в биологических эквивалентах рентгена в поле γ-излучения и потоков тепловых нейтронов. Дозиметры в фильтр-футлярах без кадмия практически нечувствительны к тепловым и быстрым нейтронам и регистрируют (в рентгенах) дозу

γ-излучения с энергией квантов от 0,12 до 3 МэВ. К более мягкому γ-излучению дозиметры в фильтр-футлярах малочувствительны.

Яркость вспышек фосфора (сцинтиллятора) пропорциональна экспозиционной дозе излучения. Пределы измерения экспозиционных доз с использованием ИЛК (индивидуального люминесцентного контроля) составляют 0,005–1000 Р. Перед каждым измерением сцинтилляторы для ИЛК нужно прогревать до 300 °С в течении 40 мин до полного высвечивания, чтобы подготовить их для дальнейшего использования.

Радиотермолюминесцентный метод. Данный метод также относится к методу ИЛК. В настоящее время в индивидуальной дозиметрии находит широкое применение термолюминесцентный метод. Он основан на испускании света при нагревании предварительно облученного неорганического кристалла, называемого термолюминофором. Интенсивность термолюминесценции при линейном нагреве кристалла имеет вид кривой с несколькими максимумами, из которых для дозиметрии используется только один с максимальной интенсивностью при определенной температуре T_{MAX}. Величина T_{MAX} лежит в диапазоне 100–300 °С и увеличивается при увеличении скорости нагрева. Быстрый нагрев и охлаждение при снятии кривой термовысвечивания могут создать новые структурные дефекты и изменить дозиметрические свойства термолюминофора, поэтому при многократном применении кристалла необходимо ограничить скорость изменения температуры. В реальных кристаллах имеются примесные уровни, которые приводят к существенным потерям запасенной светосуммы в начальный период хранения облученного термолюминофора. Поэтому требование к чистоте кристаллов для метода термолюминесценции значительно выше, чем для сцинтилляционного метода.

Для термолюминесцентной дозиметрии отбираются люминофоры, удовлетворяющие следующим требованиям: высокая чувствительность и широкий диапазон измерения дозы от 1 мрад до 10^6 рад; независимость показаний от мощности дозы; тканеэквивалентность для гамма-излучения; длительность сохранения запасенной светосуммы; возможность многократного применения. В качестве термолюминофоров используют кристаллы фтористого кальция, активированного марганцем; кристаллы фтористого лития; алюмофосфатные стекла с активатором и др. Потери светосуммы за месяц не наблюдается, за год – 3–20 %. Термолюминесцентные дозиметры любой формы могут быть изготовлены горячим прессованием смеси порошка люминофора фтористого лития (30%) с тефлоном, эффективный порядковый номер которого равен эффективному порядковому номеру ткани. Такой дозиметр в виде диска диаметром 13 мм и толщиной 13 мм измеряет поглощенную дозу в 50 мрад с точностью +5%. Эти дозиметры значительно превосходят ионизационные и фотопленочные дозиметры.

Организация индивидуального контроля ИЛК. При раздаче дозиметров ИЛК перед началом работы производится запись в дозимет-

рическом журнале. После того как дозиметры сданы и измерена доза, показания также заносятся в журнал (табл.6).

В условиях работы с установившимся режимом облучения дозиметры ИЛК могут проверяться 1 раз в одну-две недели. В этом случае записи производятся каждую (или через одну) неделю. В условиях возможного значительного превышения среднего уровня облучения (при аварийных работах) или в условиях работы с резко меняющимся режимом облучения измерения производятся ежедневно по окончании рабочего дня.

Таблица 6. **Регистрация данных ИЛК**

№ п.п.	Ф.И.О или условный номер	Месяц и год (июнь, 1998)				Суммарная доза за месяц, Р
		Число месяца	1	2	30	
1	Иванов И.П. (27)	Номер кассеты, доза, Р	101 0,02	120 0,12	49 0,05	1,46
2	Авдеев Б.В. (44)	Номер кассеты, доза, Р	104 0,03	96 0,08		1,16

Устройство и принцип работы индивидуального радиофотолюминесцентного дозиметра ДГИ-14

Дозиметр ДГИ-14 представляет собой комплекс, состоящий из измерителей поглощенной дозы гамма-излучения индивидуальных радиофотолюминесцентных ИД-14 устройства измерительного УИ-14 и устройства для отжига радиофотолюминесцентных стекол УО-14 (рис. 14).

Рис. 14. Дозиметр гамма-излучения индивидуальный радиофотолюминесцентный ДГИ-14.

Измеритель поглощенной дозы индивидуальный радиофотолюминесцентный ИД-14 применяется для регистрации поглощенной дозы гамма-излучения.

Особенности прибора.

Достоверность. Информация о поглощенной дозе, накопленная в дозиметре, не разрушается в процессе считывания (в отличие от других типов дозиметров) и сохраняется долгое время. Каждый дозиметр имеет персональный номер.

Прочность и надежность. Индивидуальный дозиметр обладает высокой термо- и вибростойкостью, ударопрочностью, негигроскопичен. При необходимости существует возможность обнуления измеренной дозы. Измеритель дозы ИД-14 имеет защиту от несанкционированного снятия показаний.

Устройство измерительное УИ-14 предназначено для измерения и индикации поглощенной дозы гамма-излучения, зарегистрированной измерителем дозы ИД-14 или ИД-11.

Особенности прибора.

Достоверность. Информация, накопленная в дозиметре, не разрушается в процессе считывания (в отличие от других типов дозиметров) и вместе с персональным кодом дозиметра хранится в энергонезависимой памяти прибора (до 7 000 результатов измерений). Основная погрешность прибора не превышает 15%.

Скорость. Устройство УИ-14 обеспечивает возможность снятия показаний не менее чем со 120 измерителей дозы ИД-14 (ИД-11) в час.

Экономичность. Устройство измерительное УИ-14 просто в эксплуатации и не требует обслуживания персоналом высокой квалификации. Эксплуатация системы не требует применения дорогостоящих расходных материалов.

Комфорт. Устройство УИ-14 может работать как автономно, с управлением от встроенного микропроцессора, так и с управлением от внешнего компьютера. Связь с компьютером осуществляется по последовательному каналу RS-232. Программное обеспечение позволяет управлять работой прибора, а также осуществлять обработку и накопление результатов измерений. УИ-14 оснащено устройством сигнализации о достижении установленных оператором значений поглощенной дозы гамма-излучения.

Устройство отжига УО-14 применяется для стирания информации об измеренных дозах индивидуальных дозиметров ИД-14 и ИД-11 .

Особенности прибора.

Комфорт. Процесс обнуления информации полностью автоматический.

Экономичность. Устройство отжига УО-14 просто в эксплуатации и не требует обслуживания персоналом высокой квалификации. Эксплуатация системы не требует применения дорогостоящих расходных материалов.

Устройство УО-14 оснащено сигнализацией об его функциональном состоянии и обеспечивает по заданной программе одновре-

менное обнуление информации до 50 детекторов, входящих в состав измерителей дозы ИД-14 .

Процедура работы. Чувствительный элемент индивидуального дозиметра (детектор) выполнен из активированного серебром фосфатного стекла. В нем под действием ионизирующего излучения генерируются центры фотолюминесценции, число которых связано с дозой облучения. Доза измеряется по интенсивности фотолюминесценции детектора.

Стирание информации о накопленной дозе детекторов индивидуальных дозиметров ИД-14 и ИД-11 происходит путем их термической обработки по специальному алгоритму с заданными скоростями нагрева и охлаждения под управлением встроенного микропроцессора.

Области применения. Индивидуальный дозиметрический контроль в обеспечении безопасности труда, экологии, здравоохранении и ветеринарии.

Индивидуальный дозиметрический контроль персонала, работающего с источниками ионизирующих излучений:

• машиностроительные, судостроительные и судоремонтные заводы;

• химические комбинаты;

• нефте- и газодобывающие предприятия. **Дозиметрический контроль на предприятиях ядерно-энергетического цикла:**

• атомные станции;

• военные и гражданские суда с атомной силовой установкой/атомным вооружением;

• предприятия, занимающиеся утилизацией и транспортировкой радиоактивных отходов.

На предприятиях, ведущих радиационно опасные работы:

• высотная авиация;

• геологоразведочные партии;

• рентгенорадиологические медицинские кабинеты;

• подразделения ГО и ЧС, спасательные отряды;

• таможенные и дорожные комитеты.

Лабораторная работа № 4. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ПРИНЦИПА РАБОТЫ ДОЗИМЕТРА ДТУ-01

Дозиметр ДТУ-01 предназначен для измерения поглощенных доз рентгеновского и гамма-излучений с энергией выше 10 кэВ. При соответствующих градуировках возможно измерение доз заряженных частиц в широком энергетическом интервале и медленных нейтронов.

Прибор предназначен для работы в закрытых помещениях при температуре воздуха от +15° до +-30°С и относительной влажности воздуха не более 80% при температуре 25°С.

Дозиметр термолюминесцентный универсальный ДТУ-01 комплектуется:

1) детекторами термолюминесцентными на основе LiF; Mg; Ti;

2) индивидуальными кассетами для ношения детекторов;
3) транспортными кассетами.

Технические характеристики ДТУ-01

1. Диапазон регистрируемых доз от 10^{-4} Гр до 50 Гр.
2. Зависимость от дозы линейна в диапазоне от 10^{-4} Гр до 10 Гр.
3. Погрешность измерения доз в диапазоне 10^{-4} – 10^{-3} Гр не превышает ± 30%, от 10^{-3} до 50 Гр – ± 15%.
4. Дополнительная систематическая погрешность за счет энергетической зависимости чувствительности при использовании детекторов в кассетах индивидуального ношения ДТУ-01 для фотонного излучения с энергией от 20 до 80 кэВ не превышает ± 15%.
5. Зависимость показаний от мощности дозы излучения соответствует до 10^{9} Гр.
6. Потери дозиметрической информации за год при комнатной температуре в пределах погрешности измерения отсутствуют.
7. Число циклов использования одного детектора не менее 200 при изменении чувствительности не более, чем на 10 %.
8. Воспроизводимость режима нагрева в диапазоне температур 50° – 400°С не ниже –1%.
9. Режим нагрева детекторов двухступенчатый, от 20 до 100°± 20°С.
10. Нагрев и охлаждение в блоке термообработки происходит по заданной программе.
11. Питание прибора осуществляется от сети переменного тока напряжения 220В J 8 % с частотой 50 Гц МГц.
12. Масса прибора не превышает 40 кг.

Устройство и работа дозиметра ДТУ-01

Метод регистрации доз ионизирующего излучения основан на способности некоторых кристаллических веществ-люминофоров запасать и длительно сохранять часть поглощённой энергии. При нагревании облучённый термолюминофор испускает светотермолюминесценцию, интенсивность максимума которой (J_{max}) (пиковый метод) или светосумма (S) (интегральный метод) пропорциональны дозе облучения. В данном приборе используется пиковый метод измерения.

Термолюминесцентные детекторы из LiF, активированного Mg, Ti, синтезируются в вакууме методом кристаллизации из расплава. Детекторы представляют собой поликристаллические таблетки диаметром 3,5 ± 0,3 мм и толщиной 2,0 ±0,2 мм.

Дозиметр термолюминесцентный универсальный ДТУ-01.

Блок-схема дозиметра приведена на рис.15. Функционально дози-

метр можно разделить на два основных блока: блок формирования режима нагрева и блок регистрации термолюминесценции.

Блок формирования режима нагрева функционирует следующим образом: устройством *6*, представляющим собой генератор линейно-изменяющегося напряжения, посредством подачи определенного сигнала (зависящего от заданной устройством *7* скорости нагрева) формируется определенный закон изменения напряжения, которое в блоке *5* представляющим собой компаратор с очень большим коэффициентом усиления, сравнивается с напряжением, поступающим с выхода усилителя напряжения *4* термопары *2*. Если напряжение на выходе блока *4* меньше напряжения на выходе блока *6* компаратор перебрасывается и разрешает работу электронного регулятора *3*, который подает ток на нагревательный элемент *1*. При этом напряжение на выходе блока *4* возрастает и, становясь больше напряжения на выходе блока *6*, приводит к обратной переброске компаратора *5*, который запрещает подачу тока электронным регулятором через нагревательный элемент.

Благодаря очень большому коэффициенту усиления компаратора *5* и его высокому быстродействию, напряжение на выходе усилителя термопары практически не отличается от напряжения на выходе задающего генератора *6*. Этим обеспечивается глубокая отрицательная связь и, соответственно, строгое линейное возрастание температуры нагревательного элемента.

Термолюминесценция регистрируется ФЭУ *8* . Сигнал от ФЭУ поступает в устройство *9*, которое преобразует ток в напряжение. Коэффициент преобразования определяется величиной поступающего с ФЭУ сигнала. Напряжение подается на вход масштабного усилителя, где происходит дальнейшее его усиление до оптимального уровня. Коэффициенты усиления масштабного усилителя *10* выбираются автоматически в зависимости от величины входного сигнала. К выходу масштабного усилителя может быть подключён самопишущий потенциометр КСП-4 *11*, позволяющий регистрировать кривую термолюминесценции.

Для автоматического определения максимума пика (КТВ) сигнал с масштабного усилителя поступает в блок регистрации экстремумов фототока *12*, содержащий компаратор, а пиковый детектор, где в определенном, заранее задаваемом температурном диапазоне происходит сравнение на компараторе сигнала КТБ с сигналом на выходе пикового детектора. Превышение сигнала на выходе пикового детектора над текущим сигналом свидетельствует о наличии пика. Для предотвращения ложных срабатываний, связанных со случайными флуктуациями сигнала, задается определенный порог сравнения, зависящий от величины сигнала.

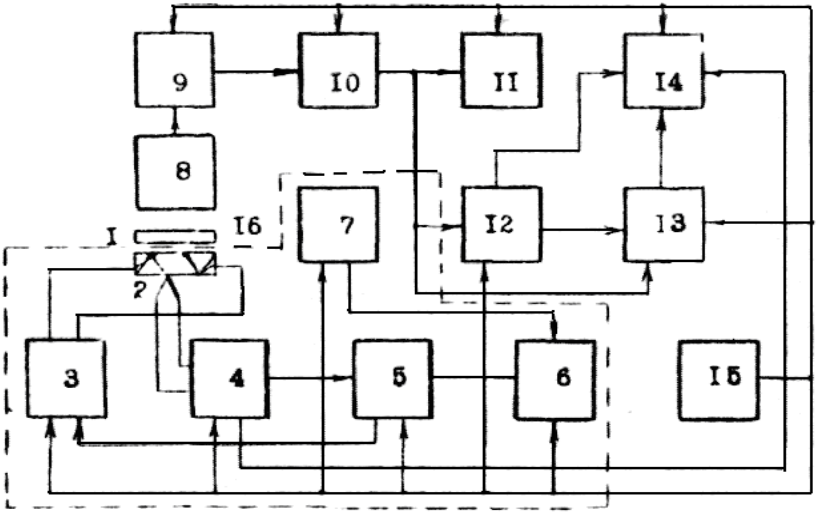


Рис.15. Блок-схема дозиметра ДТУ-01:
1 – нагревательный элемент; 2 – термопара; 3 – электронный регулятор; 4 – усилитель напряжения термопары; 5 – компаратор; 6 – генератор линейно-изменяющегося напряжения; 7 – устройство задания скорости; 8 – ФЭУ; 9 – преобразователь фототока; 10 – масштабный усилитель с автоматическим переключателем диапазонов; 11 – КСП-4; 12 – блок регистрации экстремумов фототока; 13 – преобразователь напряжение частота; 14 – частотомер с цифровой индикацией и формирователем счетных интервалов; 15 – источник питания; 16 – светофильтр.

Сигнал с масштабного усилителя подается на преобразователь напряжения частоты *13* с линейным коэффициентом преобразования 1 В > 100 Гц. При определении величины светосуммы в блоке *14* производится подсчет импульсов в заранее заданном температурном интервале. При определении амплитуды пика кривой термовысвечивания (КТВ) сигнал с пикового, детектора поступает на преобразователь напряжение-частота *13* и при появлении пика разрешается подсчет импульсов в частотомере за счетный интервал, равный одной секунде.

Температурный интервал поиска пика устанавливается по температуре нагревательного элемента с учетом смещения температуры образца по сравнению с температурой НЭ.

Для уменьшения влияния хемилюминесценции с поверхности образцов и теплового их свечения и нагревательного элемента перед окном ФЭУ располагается светофильтр СЗС-21.

Общая компоновка.

Прибор ДТУ-01 оформлен в виде металлического корпуса с закрепленным внутри шасси. Схема передней панели приведена на рис.16.

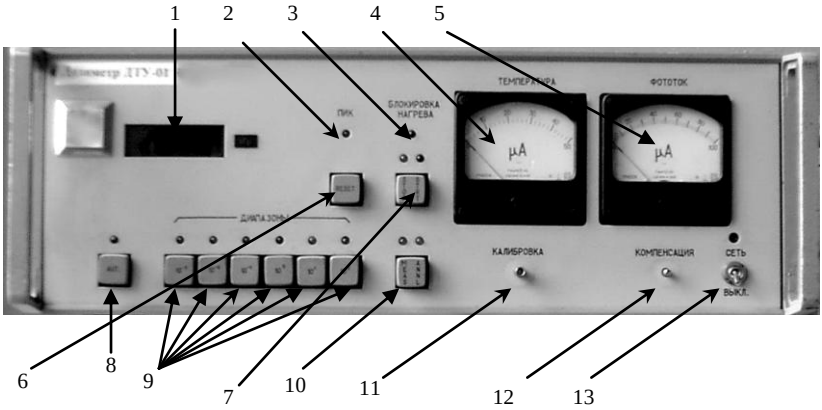


Рис. 16. Расположение элементов управления на передней панели ДТУ-01:

1 – цифровое табло; 2 – светодиод индикации прохождения пика КТВ; 3 – светодиод индикации нарушения режима блоков нагрева; 4 – стрелочный индикатор изменения температуры (полная шкала соответствует 500°С); 5 – стрелочный индикатор изменения светотока; 6 – клавиша сброса информации; 7 – клавиша включения-выключения нагрева с индикацией соответствующего режима работы; 8– клавиша включения автоматического выбора диапазона измерений с индикацией включения; 9 – клавиша ручного переключения диапазонов измерений (10^{-3}–10^{2} Гр) с соответствующей индикацией; 10 – клавиша включения блоков термовысвечивания или термообработки с соответствующей индикацией; 11 – ручка калибровки чувствительности регистрирующего тракта; 12– ручка компенсации темнового тока ФЭУ; 13 – тумблер включения и выключения прибора.

Вид задней панели прибора (рис.17).

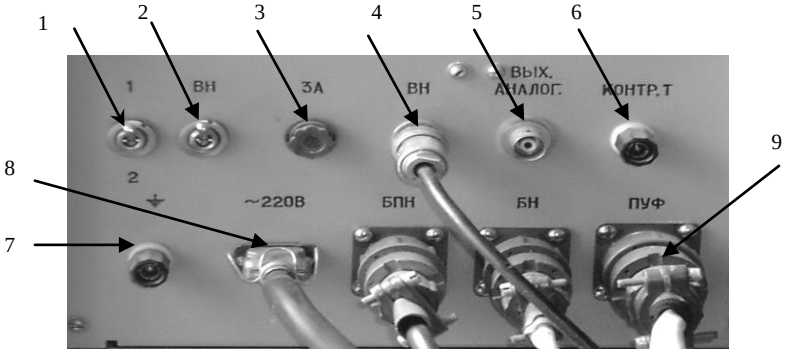


Рис.17. Задняя панель прибора ДТУ-01:

1 – тумблер переключения температурного диапазона регистрации пика КТВ;
2 – тумблер включения и выключения высокого напряжения; 3 – держатель предохранителя; 4 – разъемы подключения выносного блока термовысвечивания; 5 – аналоговый выход для регистрации КТВ; 6 – аналоговый выход для контроля температурного режима; 7 – клемма заземления; 8 – разъемы подключения прибора к сети; 9 – разъем подключения выносного блока термообработки.

Блок термовысвечивания.

В выносном блоке термовысвечивания (рис.18) находится трансформатор с нагревательным элементом, закрепленным в корпусе *1*. На корпусе крепится неподвижный *2* и поворотный *3* диски со светозащитной крышкой и рукояткой. В светонепроницаемом кожухе *4* установлен ФЭУ-140. Фиксация поворотного диска с ФЭУ в положение "Калибровка" и "Измерение" осуществляется при помощи упоров, установленных в неподвижном диске. Загрузка детекторов происходит при положении рукоятки между упорами. Для подвода в камеру высвечивания инертного газа или азота в неподвижном диске имеется штуцер. В специальном углублении неподвижного диска установлен радиолюминесцентный источник, в состав которого входит β-нуклид ^{14}C, с помощью которого осуществляется калибровка регистрирующего тракта прибора.

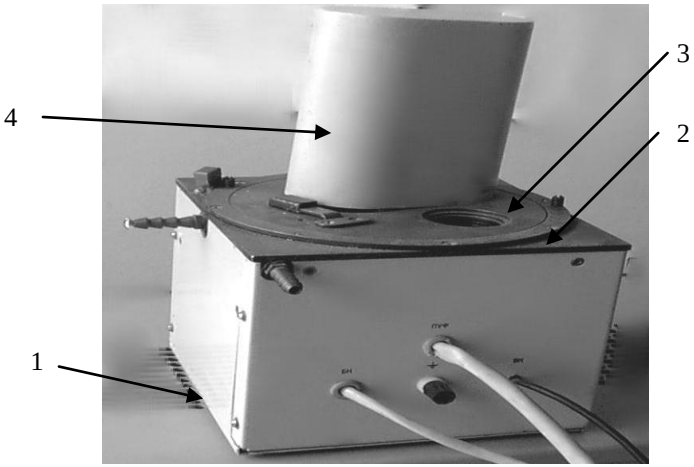


Рис.18. Выносной блок термовысвечивания:
1 – корпус; 2 – неподвижный диск; 3 – поворотный диск;
4 – светонепроницаемый кожух.

Блок повторной термообработки (БПТ).

Конструктивно БПТ (рис.19) выполнен в виде корпуса с закрепленным внутри трансформатором. В верхней части имеется откидная крышка, которая в закрытом положении образует камеру нагрева.

Нагревательный элемент представляет собой пластину из нержавеющей стали толщиной 0,1 мм с углублениями для детекторов. При опущенной крышке детекторы закрываются асбестовой пластиной, закрепленной в крышке, для более равномерного их нагрева. Контроль

за режимом термообработки осуществляется по стрелочному индикатору температуры на передней панели.

Рис. 19. Блок повторной термообработки.

Обобщение результатов индивидуального контроля

Вследствие того, что различные методы индивидуального контроля в зависимости от конкретных условий работы (спектрального состава излучения, наличия жесткого γ-излучения) могут дать разные показания, за истинные показания следует брать минимальные, так как ни один из существующих методов не может дать заниженные показания. Все ошибки различных методов (утечка камер ИДК, засветка пленок ИФК или кассет ИЛК, наличие мягкого γ-излучения или частичное проникновение в кассеты и камеры жесткого β-излучения) всегда приводят к завышенным результатам.

В случае значительных разбросов, превышающих ошибки измерения различных применяемых методов индивидуального контроля, необходимо в каждом конкретном случае выяснить причину таких расхождений и устранить ее.

Данные индивидуального дозиметрического контроля (ИФК, ИДК, ИЛК) из специальных журналов ежемесячно заносятся (с разрешения начальника дозиметрической службы) в личные книжки или карточки установленной формы, ведущиеся на каждого работника.

В конце каждого квартала и года подсчитывается суммарная доза, полученная каждым работником за время контроля. Журналы, где записываются данные индивидуального контроля, хранятся 3 года, а затем передаются в архив. Личные книжки (карточки) работников – 3 года; черновой журнал, который ведется при методе ИФК, – 6 месяцев, а облученные пленки – 3 месяца. Иногда сроки хранения могут изменяться, т.е. увеличиваться, но не уменьшаться. При переводе работника на другое предприятие, где имеется дозиметрический контроль, его личная книжка (карточка) пересылается на новое место работы. Если работник переводится в учреждение, где нет дозиметрического контроля, его личная книжка (карточка) хранится в архиве дозиметрической службы.

Данные индивидуального контроля должны сообщаться медсанслужбе немедленно по ее требованию.

З а д а н и е 1. Изучение работы индивидуального дозиметра ДК-0,2.

Оборудование и приборы:

1. Дозиметры ДК-0,2.
2. Зарядное устройство ЗД-4 или ЗД-5.
3. Коллимированный источник γ-излучения.
4. Кронштейн для крепления дозиметра и коллимированного источника γ-излучения.
5. Миллиметровая бумага.

Порядок выполнения задания.

1) отвинтите защитный колпачок дозиметра;

2) вставьте дозиметр в гнездо зарядного устройства, слегка нажав на дозиметр (до появления подсветки шкалы);

3) ручкой регулировки напряжения зарядного устройства установите нить на нуль шкалы (на 2–3 деления левее нуля);

4) достаньте дозиметр из зарядного устройства и завинтите защитный колпачок;

5) произведите измерение дозы на расстоянии 10 см от коллимированного источника, закрепив дозиметр на кронштейн. Время измерения t = 10 мин;

6) сняв дозиметр с кронштейна, запищите показания в табл.7;

7) повторите пункты 1– 4;

8) закрепите дозиметр на расстоянии 20 см от коллимированного источника, повторите пункты 5 и 6;

Т а б л и ц а 7. **Результаты измерения дозы в зависимости от расстояния**

Номер	Расстояние R, см	Время измерения t, мин	Доза D, мР

9) последовательно увеличивая расстояние от коллимированного источника до дозиметра на 10 см (30 см, 40 см и т.д.) и не забывая выполнять вначале пункты 1– 4, затем пункты 5 и 6, произведите в

общем 8–10 измерений (точное количество измерений укажет преподаватель);

10) постройте график зависимости дозы D от расстояния R: по оси ординат (вертикальная ось) отложите величину измеренной дозы D, по оси абсцисс (горизонтальная ось) – расстояние R;

11) сделайте вывод об изменении регистрируемой дозы при изменении расстояния.

Задание 2. Регистрация дозы излучения дозиметром ДК-0,2 в зависимости от времени измерения.

Оборудование и приборы.

1. Дозиметры ДК-0,2.
2. Зарядное устройство ЗД-4 или ЗД-5.
3. Коллимированный источник γ-излучения.
4. Кронштейн для крепления дозиметра и коллимированного источника γ-излучения.
5. Миллиметровая бумага.

Порядок выполнения задания:

1) выполните пункты 1– 4 задания 1;

2) произведите измерение дозы на расстоянии 10 см от коллимированного источника, закрепив дозиметр на кронштейн. Время измерения t = 5 мин. Расстояние от источника до дозиметра может быть изменено по указанию преподавателя;

3) сняв дозиметр с кронштейна, запишите показания в табл.8;

Таблица 8. **Результаты измерения дозы в зависимости от времени измерения**

Номер	Расстояние R, см	Время измерения t, мин	Доза D, мР

4) не изменяя расстояния и повторяя пункт 1, снимите показания дозиметра при времени измерения t = 10, 15, 20 мин. Полученные результаты измерений запишите в табл.7;

5) постройте график зависимости дозы D от времени измерения t: по оси ординат (вертикальная ось) отложите величину измеренной дозы P, по оси абсцисс (горизонтальная ось) – время t;

6) рассчитайте мощность дозы излучения;

7) сделайте вывод об изменении регистрируемой дозы при увеличении времени измерения.

Задание 3. Регистрация дозы излучения дозиметром ДК-0,2 при применении защитных экранов.

Оборудование и приборы.

1. Дозиметры ДК-0,2.
2. Зарядное устройство ЗД-4 или ЗД-5.
3. Коллимированный источник γ-излучения.
4. Кронштейн для крепления дозиметра и коллимированного источника γ-излучения.

5. Защитные экраны из разных материалов: бумага, дерево, алюминий, свинец и др.

Порядок выполнения задания:

1) выполните пункты 1– 4 задания 1;

2) произведите измерение дозы на расстоянии 15 см от коллимированного источника, закрепив дозиметр на кронштейн. Время измерения t = 10 мин. Расстояние от источника до дозиметра может быть изменено по указанию преподавателя;

3) сняв дозиметр с кронштейна, запишите показания в табл.9;

Таблица 9. **Результаты измерения дозы при применении различных защитных экранов**

Номер	Материал защитного экрана	Доза D, мР	Кратность ослабления $K=D_0/D$

4) не изменяя расстояния и времени измерения, повторяя пункт 1, снимите показания дозиметра, устанавливая между источником и дозиметром защитные экраны из различных материалов. Полученные результаты измерений запишите в табл. 9;

5) рассчитайте кратность ослабления и запишите полученные результаты в табл. 9;

6) проанализируйте данные табл. 9, сделайте вывод о том, какой материал защитного экрана эффективнее ослабляет гамма-излучение.

Задание 4. Определение дозы облучения с помощью дозиметра ДТУ-01.

Порядок выполнения задания.

1. Подготовка ДТУ-01 к работе.

1.1. К разъемам на задней панели пульта управления подключить выносные блоки, сетевой кабель и при необходимости автоматический потенциометр КСП. Обратить внимание на правильное подключение. Неправильное подключение приведет к выходу прибора из строя.

1.2. Установить тумблер включения высокого напряжения на задней панели в верхнее положение "ВН".

1.3. Перед включением прибора в сеть необходимо убедиться в надежном заземлении прибора.

1.4. Включить тумблер "сеть" нажать клавиши "авт." и "сброс". Прибор должен быть прогрет в течение 15 минут.

1.5. Произвести компенсацию темнового тока ФЭУ ручкой "компенсация". Для этого необходимо поворотом ручки добиться значения "0" на индикаторе "фототок" при включенном диапазоне 10^{-3}.

1.6. Произвести калибровку регистрирующего тракта прибора. Для этого необходимо повернуть подвижный диск блока термовысвечивания против часовой стрелки до упора (при этом ФЭУ устанавли-

вается над радиолюминесцентным источником света). Установить ручкой "калибровка" на индикаторе "фототок" ориентировочное значение "3,8" на диапазоне 10^{-1}.

Затем, придерживая ручку подвижного диска в крайнем положении после загорания светодиода "пик", нажать на кнопку "сброс" (в нажатом положении кнопка выдерживается не менее 3 с) и установить точное значение "3,80", неизменность которого необходимо периодически контролировать. После этого повторить операцию по пункту 1.5.

1.7. При измерении в токе газа к штуцеру в блоке термовысвечивания подключить шланг от баллона с газом. Редуктором отрегулировать подачу газа. Ориентировочная скорость подачи газа 3 л/мин. После этого прибор к работе готов.

2. Проведение измерения.

2.1. Установить диск блока термовысвечивания так, чтобы ручка оказалась между упорами (положение "загрузка"), снять светозащитную крышку, положить детектор на нагревательный элемент и закрыть крышку.

2.2. Повернуть диск блока термовысвечивания по часовой стрелке до упора (положение "измерение").

2.3. Нажать клавишу "пуск-стоп". Загорание красного светодиода соответствует режиму "пуск". По индикатору "температура" убедиться в возрастании температуры нагревательного элемента. Движение стрелки "фототок" отражает динамику регистрации сигнала термолюминесценции. Загорание светодиода "пик" свидетельствует о том, что прошёл пик термолюминесценции, а на цифровом табло будет зафиксировано значение дозы в сантигреях. Отключение нагрева происходит автоматически.

2.4. Загорание зеленого светодиода соответствует режиму "стоп".

2.5. Повернуть диск блока термовысвечивания в положение "загрузка", снять крышку и снять детектор с нагревательного элемента, убедившись, что температура нагревательного элемента не превышает 50°С.

2.6. Нажать клавишу "сброс". Прибор готов к следующему измерению.

Распределение детекторов по группам чувствительности приведено в табл. 10.

3. Термообработка детекторов.

3.1. Так как при регистрации термолюминесценции происходит автоматическое отключение нагрева после достижения максимума пика КТВ, необходимо осуществить стирание остаточной светосуммы с помощью термообработки. Этой процедуре должны подвергаться любые типы ТЛ-детекторов. Кроме этой функции, блок термообработки обеспечивает временную устойчивость показаний для ТЛ-детекторов LiF, входящую в комплект. Последующая термообработка других типов детекторов должна проводиться на основе ТУ на эти детекторы.

Таблица 10. **Распределение детекторов по группам чувствительности**

Номер группы	Интервалы показаний детекторов	Коэффициент приведения К
1	2,7 – 2,9	1,786
2	3,0 – 3,3	1,587
3	3,4 – 3,7	1,408
4	3,8 – 4,2	1,250
5	4,3 – 4,7	1,111
6	4,8 – 5,2	1
7	5,3 – 5,3	0,900
8	5,9 – 6,5	0,806
9	6,6 – 7,2	0,725
10	7,3 – 8,0	0,654
11	8,1 – 8,9	0,586

Примечание: значение показаний каждого детектора округляется до целого числа по общим правилам.

3.2. Для проведения термообработки нажать клавишу "изм.-тер.". Загорание соответствующего светодиода сигнализирует о включении режима термообработки.

3.3. Открыть крышку блока термообработки и положить на нагревательный элемент детекторы.

3.4. Закрыть крышку блока.

3.5. Включить нагрев нажатием клавиши "пуск-стоп".

3.6. По индикатору "температура" на пульте управления убедиться в возрастании температуры нагревательного элемента. Нагрев и охлаждение происходят по заданной программе.

3.7. После остывания детекторов до температуры порядка 50°С нажать клавишу "пуск-стоп".

3.8. Открыть крышку и снять детекторы с нагревательного элемента.

4. Блокировка нагрева.

4.1. При прохождении неконтролируемых электронных помех, повреждении НЭ, неправильной работе оператора произойдет блокировка нагрева, о чем сигнализирует загорание светодиода. Для восстановления работоспособного состояния прибора необходимо выключить тумблер "сеть", нажать клавишу "пуск" и через несколько секунд повторить операции.

4.2. При необходимости записи кривой термовысвечивания на самопишущем автоматическом потенциометре необходимо нажатием соответствующей кнопки выбрать диапазон намерений и после начала регистрации КТВ нажать кнопку "сброс", удерживая ее в этом положении до окончания регистрации (на цифровом табло при этом показаний нет).

5. Особенности эксплуатации детекторов.

5.1. Применяемая технология изготовления детекторов обуславливает их полусферическую форму. Выбрав при отборе плоскую поверх-

ность, обеспечивающую надежный тепловой контакт, при дальнейшей эксплуатации необходимо укладывать детектор на нагревательный элемент только этой стороной! *СМЕНА СТОРОН ПРИВОДИТ К УВЕЛИЧЕНИЮ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ДО 30%.*

5.2. Любые загрязнения детекторов приводят к изменению дозиметрических параметров. Необходимо соблюдать чистоту при работе с термолюминесцентными детекторами: их перенос допускается только с помощью пинцета. Попадания детекторов на пыльные поверхности не допустимо; необходимо промывать в спирте-ректификате пинцеты 2 раза в смену, транспортные кассеты 1 раз в неделю, индивидуальные кассеты каждый раз перед зарядкой.

При использовании детекторов в жидких средах необходимо тщательно следить за герметичностью упаковки. После экспозиции упаковку необходимо промыть в спирте-ректификате.

5.3. В случае загрязнения детекторов их необходимо очистить промывкой в спирте-ректификате. Расход спирта-ректификата на обработку 50 детекторов – 100 г.

5.4. Механические повреждения также приводят к изменениям дозиметрических параметров: чувствительности к излучению и воспроизводимости. Необходимо избегать сильных ударов и сжатий. При пересылке по почте необходимо упаковывать детекторы в прочные коробки с уплотнителями.

5.5. Измерение малых доз до 10^{-3} Гр необходимо проводить в атмосфере чистого азота.

6. Кассеты для детекторов.

6.1. Транспортная кассета.

Транспортная кассета предназначена для облучения детекторов, а также для удобства работы с ними при проведении измерений. Кассета имеет 100 пронумерованных ячеек.

6.2. Кассета для индивидуального ношения.

Кассета имеет два гнезда для ТЛ-детекторов диаметром $\geq$ 5 мм. Детекторы находятся за покровным слоем, эквивалентным 1 г/см^2 ткани. Кассета соответствует ЕТ ИДК 86.

7. Определение чувствительности ТЛ-детекторов.

7.1. Чувствительностью ТЛ-детекторов одного типа называется отношение оцененной дозы (в единицах дозы или относительных единицах) к определенной дозе облучения. Одной из основных процедур в ТЛ-дозиметрии является периодическая проверка чувствительности используемых ТЛ-детекторов или определение чувствительности партии вновь полученных детекторов.

Облучение ТЛ-детекторов для этой цели должно проводиться в однородном поле ионизирующего излучения. Для ТЛ-дозиметрии поле облучения можно считать однородным, если максимальное отклонение от среднего значения дозы не превышает 1%. Так как облучение

ТЛ-детекторов осуществляется в транспортных кассетах размером 10 × 10 см, то равномерное поле облучения с использованием точечного источника Со-60 находится на расстоянии > 0,71 м от источника. Время облучения с учётом погрешности ± 1 с при его определении по секундомеру должно быть > 5 мин. Исходя из вышеприведённых условий определяются наиболее удобные (для данных конкретных условий) параметры облучения. Наиболее пригодными для создания оптимальных условий облучения являются терапевтические гамма-установки типа "Рокус" и " Луч " с источниками Со-60. Следует учесть, что в реальных условиях источники гамма-излучения не являются точечными, поэтому желательна предварительная проверка однородности поля излучения при помощи нескольких ТЛ-детекторов опорной группы, измерением дозы в нескольких точках транспортной кассеты каждым из детекторов. В однородном поле излучения стандартное отклонение не должно превышать ±3%.

7.2. Для определения чувствительности ТЛ-детекторов их партия проходит термообработку.

7.3. Детекторы облучаются на источнике Со-60 (Cs-137) дозой 5 сГр.

7.4. Регистрируют показания детекторов и распределяют их по группам (с разбросом чувствительности ± 5%) в соответствии с табл. 10.

7.5. Опорные 50 детекторов, по которым проведена градуировка, относятся к 6 группе по чувствительности.

7.6. Повторную проверку чувствительности детекторов рекомендуется проводить 1 раз в год.

8. Особенности градуировки комплекта при использовании детекторов 6-й группы.

8.1. Ценовое табло ДТУ-01 дает показания в сГр (рад). Для увеличения точности регистрации малых доз желательно провести дополнительную градуировку в 1-м диапазоне, облучив ряд детекторов дозами 10, 30, 70, 90 мрад, и в дальнейшем при регистрации доз в этом диапазоне пользоваться градуировочным графиком.

При регистрация доз свыше 10 рад (6-й диапазон) также необходимо провести дополнительную градуировку для устранения погрешности, связанной со сверхлинейностью показаний детекторов в этом диапазоне.

8.2. При замене ФЭУ для нагревательного элемента необходимо провести повторную градуировку дозиметра.

8.3. ДТУ-01 позволяет проводить работу с любыми типами ТЛ-детекторов с проведением соответствующих процедур отбора по чувствительности и градуировке. При работе с детекторами на основе Al_2O_3 необходимо тумблер "Режим работы" на задней панели прибора переключить в положение 1.

Контрольные вопросы

1. Для чего необходим индивидуальный дозиметрический контроль?
2. Как по функциональному назначению делится аппаратура для дозиметрического контроля?
3. Определите понятие "суммарная доза".
4. Как классифицируются индивидуальные дозиметры и кому они выдаются?
5. Кратко охарактеризуйте основные методы индивидуальной дозиметрии.
6. Где и как проводится индивидуальный дозиметрический контроль?
7. Что такое "ход с жесткостью"? Можно ли исключить влияние "хода с жесткостью"? Как этого добиться?
8. Как правильно зарегистрировать данные ИФК?
9. Какие вещества называются воздухоэквивалентными?
10. Для чего используются воздухоэквивалентные камеры?
11. Дайте характеристику КИД-1.
12. Опишите принцип работы ДК-0,2.
13. Как правильно провести контроль методом ИДК и зарегистрировать данные контроля?
14. Расскажите про метод и организацию индивидуального контроля ИЛК.
15. Как обобщить результаты индивидуального контроля, полученные при учете доз различными методами?
16. Какую документацию необходимо вести при индивидуальном дозиметрическом контроле? Какое время она должна храниться?
17. Зависит ли доза от времени облучения и расстояния от источника до облучаемого объекта? Если да, то каким образом? Ответ поясните.
18. Какими методами можно снизить дозу излучения?

Лабораторная работа №5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОАКТИВНОЙ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ МЕТОДОМ МАЗКОВ

Введение

Рабочая и нерабочая поверхности помещений при загрязнении их радиоактивными веществами становятся источниками внешнего ионизирующего излучения, а контакт с ними приводит к облучению работающих и загрязнению рабочей одежды радионуклидами. Поэтому необходимо систематически проводить дозиметрический контроль поверхностей в рабочих помещениях.

В целях контроля радиоактивного загрязнения рабочих поверхностей планы всех таких поверхностей и производственных помещений наносятся на специальные картограммы. На картограмме указываются контрольные точки, в которых периодически по графику производят дозиметрический контроль поверхностей. Полученные результаты измерений заносятся в журнал плановых замеров.

Для определения радиоактивного загрязнения поверхностей и других объектов на практике обычно применяется метод мазков. Он позволяет определить лишь порядок величины загрязнения, а не его точное значение. Данный метод применим в следующих случаях:

1) при повышении гамма-фона, мешающего применению переносных радиометров;

2) когда форма поверхности ограничивает применение переносных радиометров.

С помощью мазков можно определить величину снимаемой (нефиксированной) радиоактивной загрязненности поверхностей рабочих помещений, оборудования, транспорта и т. п.

Принцип метода

Метод мазков – это способ измерения уровней радиоактивного загрязнения поверхностей путем определения активности, снятой с контролируемой поверхности контактным путем на сорбент. В качестве сорбента используют следующие материалы: хлопчатобумажную ткань, марлю, фильтровальную бумагу, ватные тампоны. Различают метод сухих и влажных мазков. При отборе пробы методом влажных мазков сорбент смачивают в дистиллированной воде или в разбавленной азотной кислоте (1 – 1,5н.) либо этиловом спирте, что повышает долю снимаемой активности с загрязненной поверхности. Сухие мазки отбирают обычно фильтровальной бумагой, влажные – при помощи любого другого из указанных выше материалов. Часто мазки, смоченные в разбавленной азотной кислоте, называют кислыми мазками.

Наиболее удобными являются влажные мазки. На сухих мазках наблюдается большой разброс в показаниях. Кислые мазки допускаются в крайних случаях, так как кислота разъедает внешний слой ряда поверхностей и результаты измерения могут искажаться за счет смешивания фиксированного и нефиксированного загрязнений.

Измерение радиоактивного загрязнения поверхностей методом мазков является наиболее показательным для оценки опасности, которую могут представлять загрязненные радиоактивными веществами поверхности как источники внутреннего облучения. Метод мазков дает, в первую очередь, возможность непосредственного измерения нефиксированной активности, т.е. того радиоактивного вещества, которое может переходить контактным путем на обувь, спецодежду, от-

крытые участки тела работающих, а также поступать в воздух рабочих помещений из-за сдувки их потоками воздуха, образуемого при движении людей, вследствие вентиляции и при выполнении тех или иных технологических операций.

Метод мазков для измерения уровней загрязненности поверхностей рабочих помещений, тары, транспорта используют в первую очередь в тех случаях, когда более существенным является оценка нефиксированной загрязненности. Кроме того, метод мазков применяют при наличии в помещениях значительного гамма-фона, когда загрязненность бета-излучающими веществами не может быть определена при помощи приборов. В ряде случаев, когда представляется затруднительным или невозможным приблизить датчик прибора к измеряемой поверхности или отдельному загрязненному участку, метод мазков используют и при относительно малом фоне гамма-излучения.

При измерении загрязненности поверхностей альфа-излучающими веществами следует иметь в виду, что даже тонкая пленка масла или другой жидкости в несколько десятков микрометров, покрывающая радиоактивный слой, может поглотить альфа-частицы, и прямое измерение их потока, исходящего из загрязненной поверхности, может дать ложное представление об истинной активности, накопившейся на рабочей поверхности. Поэтому при контроле загрязненности альфа-излучающими веществами рабочих поверхностей, в особенности при выполнении ремонтных работ, предпочтительнее использовать метод мазков.

Уровень радиоактивной загрязненности поверхности в месте пробоотбора равен:

$$q=A/(K–S) \text{ част}/(\text{см}^2\cdot\text{мин}),$$

где S – площадь, с которой отобран мазок, см^2;

A – поток бета-частиц от пробы в телесном угле 2π, $\text{част}/(\text{см}^2\cdot\text{мин})$;

K – коэффициент снятия мазка, т.е. доля активности, перешедшая с отбираемой площади на сорбент контактным путем.

Экспериментально доказано, что коэффициент снятия мазка практически не зависит от материала, при помощи которого отбирается мазок (молескин, марля, вата, вафельная ткань). Для поверхностей из железа, алюминия, нержавеющей стали, пластиката коэффициент снятия влажного мазка (спиртовой, водный или кислотный) можно принять $K = 0,5$. Среднее значение коэффициента снятия сухого мазка $K = 0,1$. Для повторных мазков с одного и того же места (вплоть до пятикратных) $K = 0,20 + 0,02$, т.е. по активности первичного мазка можно судить достаточно точно об уровне нефиксированной активности на загрязненной поверхности.

В табл. 11 представлены коэффициенты снятия для различных мазков.

Следует помнить, что данные коэффициенты нельзя использовать для пористых материалов (бетон, кирпич и т. д.).

Таблица 11. **Коэффициент снятия мазка**

№ п.п.	Метод снятия	Средний коэффициент, К
1	Сухая фильтровальная бумага	0,2
2	Марлевый тампон, смоченный водой	0,6
3	Марлевый тампон, увлажненный 1 – 1,5н. раствором азотной кислоты	0,9
4	Последовательный, двумя тампонами: увлажненным тампоном 1 –1,5н. раствором азотной кислоты, затем сухим тампоном	0,9 – 1,0

Для других материалов коэффициент снятия можно определить следующим образом. Берется несколько образцов исследуемой поверхности, на которые наносятся соответствующие радиоактивные вещества с известной поверхностной активностью загрязнения. По методике, изложенной ниже, с каждого образца снимается мазок. Чтобы избежать субъективных ошибок, мазки должны отбирать несколько человек. Далее для каждого мазка определяется коэффициент снятия K_i по формуле

$$K_i = A_м/A, \qquad (1)$$

где $A_м$ – полная активность мазка, Бк;

A – полная активность протертой поверхности, Бк, определяемая формулой

$$A = A_s \cdot S,$$

где A_s – известная поверхностная активность в Бк/см^2;

S – площадь, с которой взят мазок, см^2.

Средний коэффициент снятия мазка определяется по формуле

$$К_{ср} = \sum_{i=1}^{n} K_i/n.$$

Для получения достаточной статистической точности n = 10÷20**.**

Порядок проведения контроля методом мазков

Контроль радиоактивной загрязненности поверхностей методом мазков можно разделить на следующие этапы:

1) подготовка к взятию мазка;

2) отбор пробы при помощи мазка;

3) измерение активности отобранной пробы;

4) определение уровня загрязненности.

Для массового отбора пробы методом влажных мазков следует предварительно приготовить тампоны размером 4 × 4 см и толщиной 1 – 1,5 см из марли, ваты или молескина. Затем эти тампоны смочить в воде, спирте или в заранее приготовленном 1–1,5н. растворе азотной кислоты. Тампоны удобнее смачивать в плоской стеклянной посуде. Для снятия сухих мазков приготавливают листки фильтровальной бумаги 3×4 или 4×5 см. Из всего количества приготовленных тампонов отбирают 2 – 3% и проверяют их фоновую активность на соответствующих радиометрических установках. Затем готовые тампоны укладывают в пронумерованные конверты. Для удобства рекомендуется конверты с тампонами переносить в специальных чемоданах, разделенных на «чистое» и «грязное» отделения.

Процедура отбора пробы методом мазков. При всех операциях с мазками большое внимание должно уделяться чистоте. Подготавливают и измеряют мазки в чистом помещении. Перед началом работы необходимо протереть стол и положить на него чистый лист бумаги. Мазки берут с поверхности площадью 100 $см^2$. Если это невозможно, то берут с меньшей, но пересчитывают на площадь 1 $см^2$.

Для снятия сухого мазка фильтровальную бумагу стандартных размеров прижимают к загрязненному участку и дважды протирают его. При использовании влажных мазков при помощи трафарета из проволоки или каким-либо другим методом фиксируют площадь, с которой должен быть отобран мазок. Затем увлажненный и отжатый тампон прижимают к углу контролируемого участка поверхности и параллельно одному из краев последовательно переставляют его так, чтобы пройти тампоном один раз в одном направлении по всей поверхности. Повторяют операцию, прижимая тампон к поверхности, тем же местом, но перемещают его перпендикулярно первому направлению движения тампона. После взятия мазка тампон складывают загрязненной поверхностью внутрь и помещают его в конверт.

Чтобы более тщательно контролировать загрязненность поверхности, применяют трехкратное взятие мазков. Для этой цели необходимо иметь три тампона: два увлажненных и один сухой. Поверхность протирают сначала одним влажным тампоном, затем другим, после чего насухо вытирают третьим. Все три тампона складывают в один конверт или чашку Петри и относят в лабораторию.

Величину активности мазка измеряют на приборах типа РУП, СПАР, ТИСС либо на радиометрических установках типа ПП-8, «Волна», КРВП-ЗБ и др. В некоторых случаях пробу можно предварительно озолить в муфельной печи. Но в этом случае надо быть уверенным, что в составе загрязненности отсутствуют летучие радионуклиды.

На основе результатов измерения активности мазка можно судить об уровне нефиксированной загрязненности участка поверхности, с которого был отобран этот мазок. По формуле (1) можно оценить общий уровень загрязненности данного участка с точностью, с которой определен коэффициент снятия мазка. Чтобы судить об уровне радиоактивной загрязненности помещения в целом, а не отдельных его участков, следует оценить представительность отобранного массива проб, т.е. решить вопрос о представительности результатов контроля в пространстве и времени.

Представительность отбора проб и объем контроля

Характер распределения радиоактивной загрязненности поверхностей помещения и оборудования отличается большим разнообразием, так же, как и хронологическая картина изменения уровней загрязненности в одной и той же точке. Применительно к задачам дозиметрического контроля можно выделить две полярные ситуации:

- локальная загрязненность, о которой становится известно в момент ее образования и которую технологически возможно и целесообразно ликвидировать или оградить сразу же, если уровень загрязненности превысит выбранное службой радиационной безопасности рабочее контрольное значение;

- радиоактивная загрязненность равновероятна практически в любой точке контролируемого помещения или оборудования, причем технологически невозможно или нецелесообразно фиксировать каждый случай образования новой локальной загрязненности, в результате чего загрязненность в каждой точке приходится рассматривать и как равновероятное во времени. Такая ситуация реализуется, например, при проведении интенсивных ремонтных работ практически на всех участках рабочего помещения и при интенсивном перемещении большого количества людей.

Во втором случае контролируемый участок поверхности равномерно по площади разбивается на элементарные ячейки, в центре которых отбирается проба. Представительность проб для всего участка будет обеспечена, если выполняются два требования:

- общее число проб, отобранных по всему участку, должно обеспечить приемлемую статистическую точность определения среднего по всей площади участка уровня загрязнения;

- площадь элементарной ячейки, которую представляет одна проба, должна быть достаточно малой, чтобы гарантировать отсутствие незамеченных пятен, содержащих радиоактивное вещество в количестве, соизмеримом с общим содержанием вещества на всем участке.

Необходимое число проб оценивают в соответствии с формулой

$$n \geq 1+(\ln\beta/\sigma)^2 , \qquad (2)$$

где σ – это абсолютная средняя квадратическая погрешность, характеризующая возможную кратность завышения или занижения уровня загрязненности поверхности;

β – стандартное геометрическое отклонение. Значение стандартного геометрического отклонения р для различных рабочих помещений зависит от конкретных условий производства и характера работ, проводимых в контролируемый период. В табл.12 представлено число проб n, необходимое для обеспечения выбранной относительной средней квадратической погрешности при разных значениях стандартного геометрического отклонения β.

Таблица 12. **Необходимое число проб *n***

σ	Геометрическое отклонение β						
	2	2,5	3	3,5	4	5	6
0,2	13	22	32	41	48	67	82
0,3	7	11	15	19	22	31	37
0,5	3	5	6	8	9	12	14
0,7	2	3	4	5	5	7	8

В связи с существенной зависимостью объема измерений от величины β конкретные для каждого периода контроля значения стандартного геометрического отклонения рекомендуется уточнить по нескольким первым сериям проб и при неизменном характере работ руководствоваться данными табл.12. Уточнение осуществляется следующим образом: производится 10 (и более) проб, далее из табл.12 выбирается значение σ и, используя формулу (2), находится значение β. Данный способ определения стандартного геометрического отклонения нельзя считать идеальным. В противном случае, когда величина β неизвестна, следует ориентироваться на максимальное значение β = 5.

Выбор значения параметра σ, которым руководствуются при установлении объема измерений по табл.12, осуществляется с учетом общей площади контролируемой поверхности, периодичности измерений и целей контроля. Типичные ситуации представлены в табл.13.

Локальной загрязненностью условно называется загрязненность площади S_1, меньшей 0,1 площади всей контролируемой поверхности S, и с содержанием радиоактивного вещества, соизмеримого или превышающего содержание вещества на всей поверхности при средней плотности загрязненности, равной допустимой $ДЗ_А$:

$$q \cdot S_1 \geq 0{,}3ДЗ_А \cdot S ,$$

где q – средняя плотность локальной загрязненности.

Таблица 13. **Рекомендуемые значения параметра σ для типовых ситуаций контроля уровней загрязненности поверхностей**

Ситуация	Значение σ
Передача оборудования для применения в неконтролируемых условиях («чистые» помещения)	0,2
Профилактический ежемесячный (ежеквартальный) контроль «чистых» помещений и территорий, примыкающих к «грязным» рабочим помещениям	0,2
Контроль внутренних поверхностей герметизируемого оборудования (например, боксов) до и после ремонтных и наладочных работ	0,2
Еженедельный контроль помещений на пути следования из основных рабочих помещений в «чистые»	0,3
Ежедневный контроль основных рабочих помещений	0,3
Ежесменный контроль основных рабочих помещений	0,5
Оценка уровня свежего локального загрязнения площадью менее 10 м^2	0,7

Необходимо подчеркнуть, что в любом рабочем помещении всегда существуют места с более вероятной или менее вероятной загрязненностью поверхности, которые работники службы радиационной безопасности должны четко представлять исходя из характера проводимых работ, основных маршрутов перемещения людей и т. д. Чем больше общая площадь контролируемого помещения, тем чаще ситуация сводится к контролю локальной загрязненности и уровней загрязненности остальных участков помещения. Наличие четкого представления о геометрической картине общей загрязненности позволяет оптимизировать объем измерений.

Периодичность измерений

Периодичность измерений уровней загрязненности поверхностей методом мазков устанавливают исходя из основных целей контроля, т. е. из тех альтернативных вопросов, которые будут разрешены в результате очередной серии измерений. По существу, **измерение уровней загрязненности призвано ответить на один вопрос –** следует ли проводить дезактивацию контролируемого участка. К этому вопросу **добавляется вспомогательный** – нужно ли проводить дополнительное, более детальное обследование контролируемого участка для выяснения, например, причины обнаруженного контактного переноса загрязненности, с последующим выводом об изменении санитарно-пропускного режима и целесообразности проведения дезактивационных работ. Таким образом, устанавливаемая периодичность измерений уровней загрязненности прямо связана с конкретной тактикой осуществления дезактивационных работ, принятой для конкретных условий каждого рабочего помещения. Например, в помещении, где практически на всей площади проводятся ремонтные работы, сопровождающиеся постоянными выбросами радиоактивного вещества, достаточно

часто в пределах одной рабочей смены и постоянно в течение многих дней тактика дезактивационных работ диктуется, во-первых, ограничением контактного разноса радиоактивной загрязненности за пределы рабочего помещения, и, кроме того, возможностью дезактивации «старых» загрязнений. Следовательно, главный упор должен делаться на контроль за загрязненностью пола в помещениях, примыкающих к ремонтному. Очевидно, измерения должны проводиться ежесменно после прохождения основной массы людей. При проведении работ, сопровождающихся локальным радиоактивным загрязнением, чаще всего необходимость дезактивации ясна без каких-либо измерений. Так что дезактивацию локальной загрязненности после завершения соответствующих операций можно считать просто завершающей рабочей операцией. Необходимость в измерениях возникает в редких случаях образования локальной загрязненности, соизмеримой с допустимой, когда действительно встает вопрос о целесообразности дезактивационных работ. Некоторые типичные ситуации, требующие определенной периодичности измерений уровней загрязненности поверхностей, представлены в приложении 1.

Задание 1. Определение радиоактивной загрязненности поверхностей методом мазков.

Оборудование и приборы.

1. Образцы из различных материалов с поверхностным загрязнением радионуклидами К-40 и Cs-137 площади 1 $м^2$.
2. Ватные и марлевые тампоны.
3. Бумажные конверты (калька), чашки Петри.
4. Дистиллированная вода.
5. Фильтровальная бумага.
6. Радиометр КРВП-ЗАБ или аналогичный.

Порядок выполнения задания:

1) включите и подготовьте радиометр к работе;

2) проверьте правильность работы пересчетного блока;

3) измерьте фон в течение 10 мин. Определите скорость счета фона $N_ф$;

4) изготовьте ватно-марлевые тампоны по 3 на каждый объект исследования;

5) проверьте фоновую активность 2–3% приготовленных тампонов. Для этого поместите указанное количество тампонов в кювету радиометра и произведите измерения в течение 10 мин. Рассчитайте скорость счета $N_Т$ и сравните со скоростью счета фона $N_ф$. Если измеренная скорость счета мало отличается от фоновой, то при расчетах учитывают только скорость счета фона $N_ф$. В противном случае необходимо будет учитывать скорость счета $N_Т$;

6) разбейте исследуемую поверхность на участки 100 $см^2$ или меньше, если площадь поверхности ограничена;

7) произведите отбор пробы методом мазков согласно методике,

изложенной в разделе 2. Все три тампона уложите в одну чашку Петри или в один бумажный конверт;

8) определите коэффициент эффективности счета ς данного радиометра, используя эталонный источник;

9) поместите все три тампона в детекторный блок и произведите измерения в течение 10 мин. Рассчитайте скорость счета N;

10) рассчитайте активность мазка A_M по формуле

$$A_M=\varsigma\cdot(N-N_ф)/2;$$

11) зная коэффициент снятия мазка К (определите по табл. 1), рассчитайте уровень радиоактивной загрязненности поверхности по формуле (1);

12) сделайте вывод, используя приложения 2 и 3, о загрязненности исследуемого объекта β-излучающими радионуклидами;

13) произведите количественную оценку «снимаемого» загрязнения Q в единицах допустимого уровня загрязнения поверхностей $ДЗ_А$ по формуле

$$Q=\frac{A_m\cdot 100\%}{ДЗ_А\cdot S\cdot K};$$

14) повторите пункты 6–13 для последующих предложенных объектов исследования.

З а д а н и е 2. Расчетно-практические задачи по методу мазков.

Для решения расчетно-практических задач используйте приложения 1–4.

1. Проводится профилактический ежеквартальный контроль «чистых» помещений. Определите необходимое число проб, если β=3,5.

2. Необходимо оценить уровень локального загрязнения. Стандартное геометрическое отклонение неизвестно. Сколько проб необходимо отобрать?

3. Происходит передача оборудования для применения в неконтролируемых условиях, стандартное геометрическое отклонение равно 6. Оцените объем контроля.

4. Идет ремонт внутри герметизируемого оборудования, объектом контроля являются внутренние поверхности. Определите периодичность измерений и необходимое число проб, если стандартное геометрическое отклонение неизвестно. Какова цель данного контроля?

5. Известно об интенсивной радиоактивной загрязненности по всей площади рабочего помещения на протяжении всей смены. Определите, что в данном случае будет являться объектом контроля, периодичность и объем контроля, если β = 4.

6. Возможна локальная и общая радиоактивная загрязненность помещений и оборудования. Укажите цели измерения уровня загрязненности и необходимое число измерений, если β = 2,5.

7. Какова цель профилактического ежемесячного контроля уровня загрязненности рабочих помещений и оборудования? Что является объектом контроля и каков характер работ? Определите необходимое число проб при стандартном геометрическом отклонении, равном 3.

8. Средняя плотность локальной загрязненности бета-излучающими радионуклидами поверхности помещений постоянного пребывания персонала составляет 1500 част/(см^2·мин) на площади S_1 = 100 см^2. Оцените, действительно ли это локальная загрязненность, если площадь контролируемой поверхности составляет 250 см^2.

9. Наружная поверхность транспортного контейнера имеет нефиксированное загрязнение бета-излучающими радионуклидами. Площадь контролируемой поверхности составляет 1000 см^2. Определите, является ли данное загрязнение локальным, если q = 220 част/(см^2·мин) и площадь загрязнения – 50 см^2.

10. Объектом загрязнения является основная спецодежда, причем известно, что загрязнение произошло Sr-90. Средняя плотность локального загрязнения составляет 400 част/(см^2·мин) на площади 130 см^2. Оцените, будет ли это загрязнение локальным, если величина площади всей основной спецодежды порядка 3,5 м^2.

11. Наружная поверхность вагона-контейнера загрязнена альфа-излучающими радионуклидами, причем вид загрязнения фиксированный. Можно ли назвать данное загрязнение локальным? Ответ обоснуйте.

12. Возможна загрязненность помещения из-за неучтенных причин альфа-излучающими радионуклидами. Укажите объект и цель контроля, его периодичность. Какое загрязнение в данном случае нормируется?

13. Известно, что произошло загрязнение поверхности помещения периодического пребывания персонала радионуклидами Cs-134 и Cs-137 с q = 15000 част/(см^2·мин) на площади 200 см^2. Контролируемая площадь составляет 10 м^2. Будет ли данное загрязнение относиться к категории локальных? Если да, то укажите периодичность контроля, его объект и цель.

14. На кожные покровы попали радионуклиды плутония ($ДК_А$= =$2\cdot10^{-15}$ Ки/л). Площадь загрязнения составляет 6,8 см^2. Контролируемая площадь порядка 40 см^2. Относится ли данное загрязнение к локальным, если q = 2 част/(см^2·мин)?

Контрольные вопросы

1. В каких случаях применяют метод мазков?
2. Какой вид загрязнения контролируется с помощью метода мазков?
3. Какой способ измерения уровней радиоактивного загрязнения поверхностей называется методом мазков?

4. Какие мазки называют сухими, влажными и кислыми?

5. Какие мазки повышают долю снимаемой активности с загрязненной поверхности?

6. Обоснуйте, почему более удобным является метод влажных мазков.

7. Почему метод кислых мазков не всегда применим?

8. Активность какого вида излучения можно контролировать с помощью метода мазков?

9. Как определить уровень радиоактивной загрязненности поверхности?

10. Что характеризует коэффициент снятия мазка?

11. Какие параметры влияют на коэффициент снятия мазка?

12. Как экспериментально определяется коэффициент снятия мазка?

13. Как правильно отобрать пробу при помощи мазка?

14. С какой площади необходимо производить отбор мазков?

15. Определите понятие локальной загрязненности.

16. Поясните, как определить необходимое число проб для определения уровня загрязненности методом мазков.

17. Каким образом устанавливается периодичность измерений?

18. Какова основная цель измерения загрязненности помещений и рабочего оборудования?

19. Для чего контролируется фоновая активность 2–3% приготовленных мазков?

20. Что характеризует $ДЗ_А$?

21. Как произвести количественную оценку нефиксированного загрязнения?

22. Различаются ли допустимые уровни загрязнения поверхностей для альфа- и бета-излучающих радионуклидов? Если да, то для каких радионуклидов допускается меньшее значение $ДЗ_А$ при прочих равных условиях и почему?

Лабораторная работа № 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОАКТИВНОЙ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИМИ ПРИБОРАМИ

Введение

Контроль загрязненности поверхностей с помощью переносных приборов более оперативен по сравнению с методом мазков. Его используют при контроле больших площадей или для обнаружения локальных загрязнений.

При наличии смешанных потоков излучения их можно разделить, используя различную чувствительность детекторов к разным видам излучения. Можно использовать метод фильтрации, разделив β- и γ-излучения. Для α-излучения наиболее эффективен метод мазков (малый пробег).

Часто используют более сложные приборы со сменными детекторами для различных видов излучения.

Контроль загрязненности поверхностей переносными приборами

Для контроля и сигнализации о загрязненности одежды и различных участков тела человека β-активными веществами используют специальные установки типа СЗБ-04, установки контроля рук СЗБ-05-01 и сигнализаторы-радиометры СЗБ-03 и СЗБ-04.

Целесообразно проверять те участки тела, которые загрязняются наиболее сильно: руки, ступни ног или подошвы обуви, лицо, голову, живот, коленные суставы, а также спецодежду – рукава, низ брюк, карманы. Многоканальные установки имеют датчики, соответствующие практически всем перечисленным участкам тела.

При наличии съемной или откидной крышки у дозиметра можно измерить плотность потока β-частиц с загрязненных поверхностей. Измерение β-излучения необходимо проводить на одном расстоянии от поверхностей.

Технические характеристики сигнализатора СЗБ-04

Сигнализатор загрязненности поверхности рук β-активными веществами предназначен для включения сигнала о загрязненности рук относительно установленных пороговых значений (см. НРБ–2000).

Сигнализатор не является средством измерения. Областью его применения являются атомные электростанции, радиохимиическое производство, лаборатории и санпропускники. Сигнализатор применяется в качестве аппаратуры для технологического и дозиметрического контроля. При отключении таймера он может использоваться в качестве сигнализатора превышения пороговой скорости счета. Сигнализатор допускает возможность настольного и настенного монтажа. При загрязненности выше установленного порогового значения включается красное табло "грязно", при загрязненности ниже установленного порога – зеленое табло "чисто". Время одной экспозиции – не более 10 с. Время между двумя экспозициями – не менее 5 с.

Сигнализатор имеет два режима работы:

1) определение загрязненности поверхности рук β-активными веществами;

2) установление превышения пороговой скорости счета импульсов, поступающих от блока детектирования, при включенном таймере.

Сигнализатор обеспечивает плавную установку порогов сигнализации о превышении уровня β-излучения в диапазоне от $1{,}65 \cdot 10^5$ $с^{-1} \cdot м^{-2}$ и индикацию о направлении изменения уровня β-излучения или скорости счета импульсов.

Время непрерывной работы – 24 часа. Сигнализатор обеспечивает автоматическую компенсацию внешнего гамма-фона, значение скорости

счета импульсов от которого не превышает пороговых значений скорости счета импульсов от β-излучения. Допустимое значение мощности экспозиционной дозы фотонного излучения – не более 0,3 мкР/с (1 мР/ч).

Устройство и работа сигнализатора СЗБ-04

После включения питания импульсы с блока детектирования поступают на формирователь Ф (рис.20), где они распределяются по длительности и амплитуде.

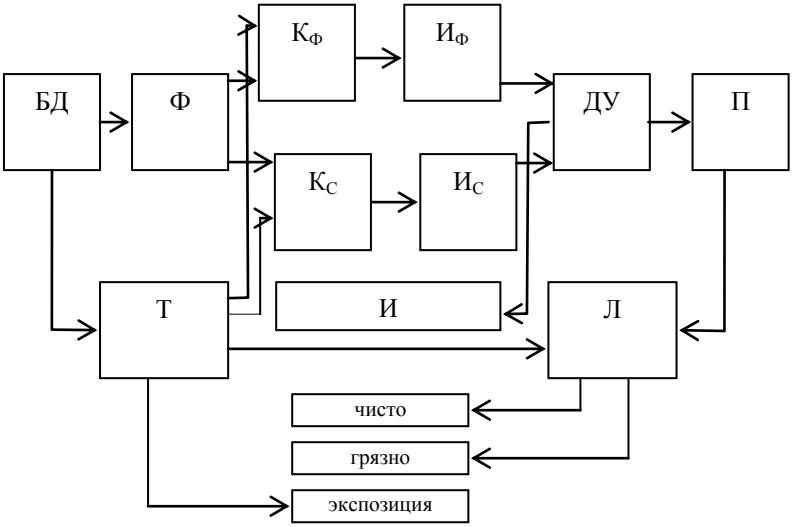


Рис.20. Структурная схема сигнализатора загрязненности поверхности рук бета-активными веществами.

Сформированные импульсы подаются на два ключа: ключ канала фона $К_Ф$ и ключ канала счета $К_С$. Если планка блока детектирования не нажата, открыт ключ канала фона $К_Ф$, а ключ канала счета $К_С$ закрыт и импульсы поступают на интегратор канала фона $И_Ф$, где преобразуются в постоянное напряжение, величина которого пропорциональна средней скорости счета. С интегратора напряжение подается на компенсационный вход дифференциального усилителя ДУ. Если планка блока детектирования нажата, то происходит запуск таймера Т и закрывается ключ канала фона Ф. Сигнал с таймера открывает ключ канала счета $К_С$, включает сигнальную лампу "Экспозиция" и поступает на схему логики, блокируя возможность ложного включения световых табло. Импульсы с блока детектирования БД, несущие информацию о

загрязненности поверхности руки, поступают на интегратор канала счета $К_С$ через открытый ключ $К_С$. Напряжение, пропорциональное средней скорости счета импульсов, с интегратора $К_С$ подается на основной вход дифференциального усилителя ДУ.

Различное напряжение с усилителя поступает на пороговое устройство П.

Если уровень этого напряжения превышает заданное пороговое значение, срабатывает пороговое устройство и подает на схему логики Л сигнал, разрешающий включение табло "грязно". По истечении времени экспозиции таймер Т возвращается в исходное состояние, закрывается ключ канала счета $К_С$, лампа "Экспозиция" гаснет. Схема логики Л, в зависимости от состояния порогового устройства П, включает соответствующее световое табло "чисто" или "грязно". Световое табло остается включенным до снятия руки с планки блока детектирования.

После снятия руки открывается канал фона для обновления информации об уровне гамма-фона. Через 5 с после освобождения нажимной планки блока детектирования сигнализатор готов к следующему циклу работы.

Задание 1. Определение загрязненности β-активными веществами поверхности рабочего места и рук.

В процессе эксплуатации поверхности корпуса блока детектирования и корпуса сигнального пульта могут загрязняться радиоактивными веществами. Скорость счета при этом увеличивается при отсутствии внешнего излучения. Для устранения загрязнения проведите дезактивацию поверхностей сигнализатора нейтральными дезактивирующими средствами и смените защитную пленку в блоке детектирования.

Цель задания: определить необходимость дезактивации поверхностей рабочего места и рук после окончания работ с радиоактивными веществами.

Оборудование и приборы: сигнализатор СЗБ-04, НРБ-2000, карта загрязненности поверхностей.

Порядок выполнения задания.

1. Включите тумблер "сеть", выдержите сигнализатор во включенном состоянии 5 мин. Перед включением проверьте наличие заземления.

2. Для определения степени загрязненности поверхности рук β-активными веществами наложите руку на планку блока детектирования и нажмите до упора. Удерживайте планку в этом положении до включения светового табло "чисто" или "грязно". После включения табло плавно снимите руку с планки блока детектирования.

3. Для перевода сигнализатора в режим сигнализации о превышении скорости счета импульсов отключите таймер, нажмите и зафиксируйте в этом положении планку блока детектирования. В данном режиме табло "грязно" сигнализирует о превышении пороговой скорости счета, табло "чисто" – о том, что скорость счета импульсов ниже пороговой.

4. Для определения загрязненности больших поверхностей (площадь 160 см^2) повторите пункт 3, после чего блок детектирования следует перенести на соседний участок обследуемой поверхности.

5. Проведите обследование поверхностей по карте, предложенной преподавателем. Все измерения запишите в табл.14.

Таблица 14. **Результаты измерений**

Номер точек измерения	Показание сигнализатора	Необходимость дезактивации
1		
2		
3		
4		
5		
6		

Задание 2. Измерение плотности потока β-излучения с загрязненных поверхностей с помощью дозиметра АНРИ-01 "Сосна".

Цель задания: определить необходимость дезактивации личного автомобиля и одежды при выезде из зоны радиоактивного загрязнения с помощью бытового дозиметра.

Оборудование и приборы: дозиметр АНРИ-01 "Сосна", НРБ-2000, карта загрязненности поверхностей.

Порядок выполнения задания. 1. Включите прибор, переведя переключатель питания в положение «ВКЛ».

2. Проведите переключатель режима работы в положение "МД".

3. Нажмите кнопку "контр" и удерживайте ее в нажатом состоянии до конца проведения контрольной проверки, затем нажмите кнопку "пуск". На цифровом табло должны появиться три точки между цифровыми знаками и начнется отсчет чисел. По окончании счета на табло должно идентифицироваться число 1,024. Отпустите кнопку "пуск".

4. Поднесите прибор с закрытой задней крышкой к исследуемой поверхности на расстоянии 0,5–1 см и кратковременно нажмите кнопку "пуск".

5. По окончании измерения запишите показания прибора в табл.14.

6. Откройте заднюю крышку и повторите измерение в этой же точке, запишите показания в табл.15.

7. Величину плотности потока бета-частиц с поверхности вычислите по формуле

$$q = K_S \cdot (N_{\beta+\gamma} - N_\gamma), \text{ част/см}^2 \cdot \text{мин},$$

где $N_{\beta+\gamma}$ – показания прибора с открытой задней крышкой без учета запятой на табло импульсов;

N_γ – показания прибора с закрытой задней крышкой без учета запятой на табло импульсов;

K_S – коэффициент счета прибора, част/см^{2}мин·импульс.

Коэффициент счета прибора K_S для прибора составляет 0,5 част/см^{2}мин·импульс.

Таблица 15. **Результаты измерений**

Номер контрольных точек	С закрытой крышкой, N_γ	С открытой крышкой, $N_{\beta\gamma}$	q = част/см^2·мин
1			
2			
3			
4			
5			
6			

8. Повторите пункты 4, 5, 6, 7 в других точках обследования поверхностей, предложенных преподавателем.

9. Сделайте выводы о необходимости дезактивации рабочих поверхностей, сравнив данные табл. 15 с нормами радиационной безопасности (НРБ-2000).

Контрольные вопросы

1. В каких случаях осуществляется контроль с помощью переносных приборов?
2. Эффективен ли данный метод для регистрации альфа-излучения?
3. Как устроены многоканальные сигнализаторы?
4. Какое основное правило при регистрации бета-излучения?
5. Назовите основные области применения сигнализаторов загрязненности.
6. Какое основное назначение сигнализатора СЗБ-04?
7. Объясните принцип работы сигнализатора СЗБ-04.
8. Поясните назначение двух табло: красного и зеленого.
9. На основании чего делают вывод о необходимости дезактивации?
10. Поясните принцип измерения плотности потока β-частиц с помощью дозиметра АНРИ-01 "Сосна".

Лабораторная работа № 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ И ГАЗОВ В ВОЗДУХЕ

Дозиметрия радиоактивных аэрозолей и газов

Постоянное развитие ядерной промышленности неразрывно связа-

но с увеличением накопления радиоактивных изотопов. Причем опасность может возникнуть в случае непредвиденной утечки из хранилища радиоактивных отходов, а также при аварийных ситуациях на ядерных реакторах или на заводах по регенерации ядерного топлива.

Помимо потенциальной опасности вследствие радиационных аварий ядерная промышленность является постоянным источником загрязнения атмосферы газообразными радиоактивными веществами.

Если выбросы короткоживущих изотопов создают проблемы защиты персонала и населения, проживающего вблизи предприятий, то выбросы долгоживущих изотопов приводят к глобальному загрязнению атмосферы. Особое место среди таких радионуклидов занимают газообразные, например Kr-85, C-14, H-3, I-131, Xe-133, Ar-41, Rn-222.

Для выбора оптимальных критериев степени радиационной опасности радиоактивных газов и аэрозолей необходимо знать факторы, влияющие на формирование тканевой дозы в теле человека.

Сведения о тканевых дозах при внутреннем облучении могут быть получены, если известны закономерности накопления, распределения и выделения радиоактивных газов и аэрозолей из организма человека. Немаловажная роль отводится здесь дозиметрии радиоактивных газов и аэрозолей, основной целью которой является своевременное предупреждение персонала или населения.

Инкорпорированными называются такие радионуклиды, которые попали внутрь живого организма. Различают три основных пути поступления радионуклидов в организм: через органы дыхания (ингаляционный путь), через органы пищеварения (пероральный путь) и через кожу. Органы дыхания, пищеварения и кожа в данном случае выступают не только в качестве "ворот" и "путепровода" для радионуклидов. В течение некоторого времени они содержат в себе поступившие радионуклиды, и в данном случае их можно назвать входным «депо», так как часть радионуклидов попадает в кровь и с кровотоком разносится по внутренним органам и тканям, непосредственно связанным с внешней средой. В результате эта часть радионуклидов переходит из крови во внутренние органы и ткани человека и животных. Их дальнейшая судьба определяется как свойствами самих радионуклидов, так и процессами, протекающими в живых организмах. В конечном итоге инкорпорированные радионуклиды частично распадаются и частично выводятся из организма в результате биологических обменных процессов.

Будучи инкорпорированными в течение некоторого времени в органах и тканях, радионуклиды создают внутреннее облучение живых организмов. Поглощенная доза при внутреннем облучении может быть сопоставима с биологическими последствиями, и в этом случае она выступает в качестве меры радиационной опасности тех радиоактивных веществ, которые, находясь во внешней среде, могут попасть внутрь организма.

Источниками инкорпорированных радионуклидов служат любые радиоактивные вещества естественного и искусственного происхождения, которые находятся во внешней среде в жидкой, газообразной и пылеобразной формах и с которыми возможен контакт человека или животных. В каждом из перечисленных первичных "депо" механизм попадания радионуклидов в кровь имеет свои особенности. Важными факторами при этом являются химическая форма радионуклида, его растворимость в жидкой среде входного "депо" и время нахождения в нем, а также состояние живого организма; в частности избыток или недостаток жизненно важного элемента, аналогом которого может являться рассматриваемый радионуклид, а также функциональное назначение данного "депо".

Радиоактивные аэрозоли

Из трех путей поступления ингаляционный – наиболее важный и опасный путь, а наиболее сложной формой радиоактивных веществ, попадающих в организм через дыхательную систему, являются радиоактивные аэрозоли.

Аэрозоли – это газовая среда вместе со взвешенными мельчайшими частицами, т.е. любые взвешенные частицы в воздухе.

В зависимости от агрегатного состояния различают аэрозоли с твердой дисперсной фазой (пыль различных веществ, дым) и аэрозоли с жидкой дисперсной фазой (туманы или аэрозоли конденсации).

Естественными носителями радиоактивности атмосферного воздуха являются эманации (радон, торон, актинон) и их дочерние продукты– радиоактивные изотопы полония, висмута, свинца, талия, которые могут осесть на взвешенных в воздухе частицах, тогда как твердые продукты распада эманации в результате объемной конденсации сами могут образовывать аэрозоли различной дисперсности. Концентрация радона в воздухе составляет около $11{,}1 \cdot 10^{-3}$ Бк/л; торона – около $26{,}9 \cdot 10^{-4}$ Бк/л, а концентрация их продуктов распада составляет в среднем 10^{-3}– 10^{-2} Бк/л.

Для аэрозолей свойственны свои способы образования, основными из которых являются следующие:

1) некоторые радиоактивные элементы в процессе распада образуют радиоактивные газы или эманации (радон, торон, актинон), которые поступают в окружающую среду. Продукты распада таких газов в результате радиоактивного распада и объемной конденсации могут образовывать твердые частички разной величины, которые оседают на взвешенные в воздухе частички пыли и т.д.;

2) многие радиоактивные элементы, распадаясь, образуют ряд радиоактивных продуктов распада. В этом случае в процессе распада в воздух попадают радиоактивные атомы, которые могут быть захваче-

ны взвешенными частицами, находящимися в воздухе. Хотя подобные атомы отлетают от материнского вещества в воздухе на расстояние порядка 0,1 мм, но в результате диффузии и конвекции они могут быть унесены далеко от места своего образования;

3) радиоактивные аэрозоли могут образовываться также в случае, если продукты распада основного радиоактивного элемента нерадиоактивны. Причиной этого является то, что нерадиоактивные атомы продуктов распада, улетая от материнского вещества, могут увлечь за собой частицы радиоактивных элементов, которые оседают затем на взвешенных в воздухе пылинках.

Источниками радиоактивных аэрозолей служат ядерные реакторы и ускорители частиц, а также их преобразование при авариях и активации нейтронами неактивной пыли. При нормальной работе реактора происходит активация тепловыми нейтронами аргона, который входит в состав охлаждающего воздуха или газа, заполняющего кладку реактора. При нарушении целостности защитной оболочки тепловыделяющих элементов (твэл) продукты деления ядерной реакции могут попасть в теплоноситель первого контура. В этом случае появится реальная угроза загрязнения воздуха радиоактивными газами – криптоном, ксеноном, йодом и радиоактивными продуктами деления урана – Ce-144 +Pr-144, Sr-90+Y-90,Y-91, Sr-89, Ba-140+La-140, Sr-95+Nb-95, Pm-147 и др. Также радиоактивные аэрозоли образуются в процессе производства и обработки радиоактивных материалов (дробление, механическая обработка, выпаривание, кипячение и т.д.), при взаимодействии космических лучей с атмосферной пылью.

Количество аэрозолей можно характеризовать их концентрацией, понимая под ним число частиц или их массу в единице объема атмосферного воздуха. Поэтому различают счетную и массовую концентрации.

Радиоактивные аэрозоли характеризуются активной концентрацией. Под активной концентрацией понимается скорость распада радионуклидов в единице объема или активность единицы объема атмосферного воздуха.

Переход от активной концентрации аэрозоли к массовой концентрации, предполагая то, что аэрозольные частицы состоят только из радиоактивных частиц с относительной атомной массой A и периодом полураспада T, может быть осуществлен по формуле

$$M=8{,}86\cdot10^{-14}\cdot A\cdot T_{1/2}\cdot A_0,\ г/л,$$

где A_0 – активная концентрация, Ки/л,

$T_{1/2}$ – сут.

Зная средний размер аэрозольных частиц D и массовую концентрацию M, легко найти число частичек в единице объема.

Свойства аэрозолей зависят от размера частиц. По дисперсности аэрозоли делятся на три группы:

крупнодисперсные (неустойчивые) – частицы диаметром 10^{-4} см и более; хорошо видны в обычный микроскоп, очень быстро оседают и поэтому находятся в воздухе непродолжительное время;

среднедисперсные (относительно устойчивые) – частицы диаметром от 10^{-5} до 10^{-4} см; частицы медленно оседают в неподвижном воздухе, поэтому могут находиться во взвешенном состоянии различное время в зависимости от размера частиц и их концентрации;

мелкодисперсные или ***высокодисперсные*** (устойчивые) – частицы диаметром менее 10^{-5} см; эти частицы движутся подобно молекулам воздуха, т.е. подчиняются законам броуновского движения.

Необходимо отметить, что около 90% радиоактивных аэрозолей, находящихся в атмосфере, состоят из мелкодисперсных частиц диаметром менее $0{,}5\cdot10^{-5}$см, причем большая доля приходится на частицы размером от $1\cdot10^{-7}$см до $4\cdot10^{-6}$см при очень малой концентрации (менее 100 част/см^3). Устойчивость аэрозолей определяется многими факторами и, прежде всего, размерами аэрозольных частиц. Естественное разрушение аэрозолей происходит в результате трех основных процессов: седиментации, диффузии и коагуляции. Для жидких аэрозолей существенную роль играет испарение.

Седиментация – это оседание аэрозольных частиц под действием силы тяжести. Например, если диаметр частиц равен 10^{-6}см, то скорость седиментации составит $V = 6{,}6\cdot10^{-6}$ см/с; для $d = 10^{-1}$ см – V=410 см/с. Таким образом, процесс седиментации играет существенную роль для частиц более 10^{-4}см.

Для частиц с $r<10^{-4}$см существенную роль играет диффузия, а для частиц с $r<10^{-5}$см она является преобладающей.

Диффузия – это процесс выравнивания плотностей (или концентраций) двух веществ при их смешивании друг с другом, т.е. взаимное проникновение веществ друг в друга.

Среднее смещение частиц за время t в результате диффузии определяется по формуле

$$\chi = \sqrt{2 \cdot Dt}\ ,$$

где D – коэффициент диффузии.

При неравномерной концентрации частицы будут перемещаться из мест с большей концентрацией в места с меньшей концентрацией.

В результате диффузии аэрозольные частицы оседают на окружающих предметах и объектах, а также сталкиваются друг с другом.

Взаимное столкновение частиц приводит к их коагуляции – слипанию частиц малого диаметра в результате их столкновения и образованию более крупной частицы. Образующаяся более крупная частица в

дальнейшем также будет увеличивать свой размер в результате прилипания к ней новых мелких частичек до тех пор, пока не увеличится настолько, что осядет под действием силы тяжести. Установлено, что коагуляция мелкодисперсных аэрозолей происходит тем быстрее, чем меньше размер частиц и чем выше их концентрация.

Радиоактивные газы

В атмосферном воздухе радиоактивные изотопы при обычных условиях присутствуют в виде газа, пара или входят в состав газообразных соединений. Их называют радиоактивными газами. Основными дозообразующими являются H_3, C-14, Ar-41, Kp-85, I-131, R_n-222.

Тритий (H-3). В атмосферном воздухе может находиться в виде свободного газа или окислов, представляющих собой пары тритиевой воды.

Основным источником выброса в атмосферу трития являются заводы по регенерации ядерного горючего и ядерные реакторы, а также аварийные утечки тяжелой воды из технологического оборудования первого контура. Концентрация трития в воздухе в помещениях первого контура реактора достигает $1{,}6 \cdot 10^{-5}$ Ки/л, максимальный выброс в атмосферу трития – 114 Ки/сут.

Немаловажная роль в выбросах трития в окружающую среду принадлежит заводам по получению трития для термоядерных зарядов. Возникновение трития в атмосферном воздухе под действием космического излучения имеет место на ядрах азота и кислорода в верхних слоях атмосферы, где он соединяется с кислородом воздуха, образуя сверхтяжелую воду. Общее содержание трития в биосфере земли составляет около 1,8 кг. В атмосферном воздухе постоянно содержится около 11г трития (10^5 Ки), в организме человека – около 10^{-10} Ки.

Углерод (C-14). Радиоактивный углерод обычно находится в виде двуокиси углерода, так как имеет способность быстро окисляться. Он может образовываться в ядерных реакторах в результате следующих реакций: ^{14}N (n, p) ^{14}C; ^{17}O (n,α) ^{14}C и ^{13}C (n, γ) ^{14}C, так как исходные ядра азота, кислорода и углерода в больших количествах присутствуют в замедлителе, теплоносителе или в качестве примесей в конструкционных материалах. Например, на трубном варианте уран-графитового реактора графитовый замедлитель продувается постоянно азотом для уменьшения выгорания графита.

Важно знать исходные данные по скорости образования на ядерных реакторах радиоуглерода и мощности его выброса в атмосферу. Ежесуточно на 1 МВт тепловой мощности выбрасывается 0,75 мКи радиоактивного углерода на уран-графитовых реакторах и 0,25 мКи на реакторах с водяным теплоносителем.

Радиоактивный углерод также образуется в атмосфере в основном

на ядрах азота под действием вторичных космических частиц, содержащих в своем составе нейтроны. ^{14}C образуется в верхних слоях атмосферы, и, соединяясь с кислородом, превращается в двуокись углерода. Благодаря круговороту углерода в природе происходит постоянный обмен ^{14}C между атмосферой, гидросферой, почвенным покровом и органическим миром. Одна часть углерода находится в осадочных породах и отложениях, угле, нефти (она практически не участвует в обменном процессе) и содержит 99,83% всего углерода (4800 г/см^2) земной поверхности, которая равна $5{,}1 \cdot 10^{18}$ см^2. Другая часть земного запаса углерода сосредоточена в уже упомянутом обменном бассейне (около 0,17%). Удельная активность естественного углерода составляет 14±1 распад/мин одного грамма углерода в резервуарах обменного бассейна. В теле стандартного человека – около 80 нКи ^{14}C.

Аргон (Ar-41). Радиоактивный аргон-41 образуется при захвате нейтрона ядром Ar. Содержание его в воздухе равно 0,93 объемных процентов. Мощность выброса в атмосферу зависит от конструктивных особенностей ядерных реакторов. Наибольший выброс в атмосферу (до 16000 Ки/сут) наблюдается на графитовых реакторах с воздушным охлаждением.

Выброс аргона в атмосферу создает проблему обеспечения радиационной защиты населения, проживающего вблизи ядерных реакторов.

Характерной особенностью ядерных реакторов является тот факт, что в подавляющем большинстве случаев радиоактивные изотопы осколочного происхождения присутствуют в вентиляционных газах, удаляемых в атмосферу. Концентрация их может колебаться в широких пределах, и она определяется в основном состоянием твэлов и типом реактора.

При подземных ядерных взрывах радиоактивные изотопы криптона, ксенона и йода в наибольших количествах по сравнению с другими продуктами деления выбрасываются в атмосферу. Интегральная мощность выброса радиоактивных газов может доходить до 1300 Ки/ч спустя 74 часа после взрыва.

Криптон (Kr-85). Радиоактивный криптон в общей массе атмосферы составляет $3{,}29 \cdot 10^4$ кг весовых и $1{,}14 \cdot 10^{-4}$ объемных процентов. В земной атмосфере содержится $1{,}63 \cdot 10^{13}$ кг криптона, в воде – около 2% его содержания в атмосфере. Это говорит о том, что он не удаляется из атмосферы. Следовательно, единственным фактором уменьшения радиоактивных газов в атмосфере является радиоактивный распад.

В атмосфере земли содержится около 10^7Ки Kr-85. При взрыве атомной бомбы мощностью в 1 кг тринитротолуола образуется $3{,}92 \cdot 10^{20}$ атомов Kr-85 (25,6 Ки). Основным источником загрязнения атмосферы криптоном являются радиохимические заводы по регенерации ядерного горючего.

В настоящее время концентрация Кг-85 в атмосферном воздухе составляет около $4{,}3 \cdot 10^{-12}$ Ки/л воздуха. При подземных ядерных взрывах радиоактивные изотопы криптона, ксенона и йода в наибольших количествах по сравнению с другими продуктами деления выбрасываются в атмосферу.

Йод (I-131). Химическое состояние йода в атмосферном воздухе зависит от условий его образования, среды, в которую он поступает, ее температуры и других факторов. Радиоактивный йод в воздухе присутствует в трех состояниях: в виде паров молекулярного йода; в виде аэрозолей; он входит в состав сложных соединений, которые по своей природе могут быть газообразными или твердыми веществами.

Особенности биологического действия радиоактивных аэрозолей и газов

Радиоактивные аэрозоли и газы представляют серьезную биологическую опасность, которая обусловлена попаданием их внутрь организма. Основной путь их поступления – органы дыхания, которые обладают хорошей адсорбирующей способностью по отношению к взвешенным частицам. В процессе дыхания аэрозольные частицы вместе с воздухом через трахею и бронхи могут попасть в альвеольные ткани, а оттуда – в лимфатическую систему или кровь.

Оседание аэрозолей на различных участках дыхательной системы зависит прежде всего от размера аэрозольных частиц. Механизм осаждения определяется движением по инерции, оседанием под действием силы тяжести, броуновским движением и пристеночным эффектом. Для здоровья человека наибольшую опасность представляют аэрозоли средней дисперсности диаметром от $1 \cdot 10^{-5}$ до $5 \cdot 10^{-4}$см, так как не задерживаются верхними дыхательными путями как частицы диаметром более $5 \cdot 10^{-4}$см, и не удаляются из легких вместе с выдыхаемым воздухом, как частицы менее $1 \cdot 10^{-5}$ см.

То что органы дыхания хорошо адсорбируют радиоактивные аэрозоли и газы, обусловлено большой площадью их поверхности: около 50–55 $см^2$, причем поверхность верхней части дыхательных путей составляет приблизительно 20 $см^2$.

В силу защитных свойств организма часть аэрозольных частиц и газов, попавших в дыхательную систему, возвращается обратно в окружающую среду. Наиболее эффективно удаляются частицы размером более 2 –10 см. Предполагается, что 75% вдыхаемых аэрозольных частиц задерживается в дыхательных путях, из них 50% удаляется мерцательным аппаратом и после попадания в полость рта заглатывается.

Радиационная опасность аэрозолей в конечном итоге определяется поглощенной дозой. Критическим органом в этом случае является дыхательная система, и, прежде всего, легкие. На поглощение влияет

также скорость биологического выведения частиц из легких, вид и энергия ионизирующего излучения, распределение активности по частицам различного размера и характер их распределения. Это создает огромные трудности при непосредственном определении поглощенной дозы, поэтому практически все сводится к радиометрии аэрозолей.

Тканевые дозы в теле человека, создаваемые радиоактивными аэрозолями и газами

Для оценки степени радиационной опасности газов необходимо знать распределение тканевых доз в теле человека при внутреннем и внешнем облучении. Прогнозирование тканевых доз при внутреннем облучении может быть проведено только на основании данных о закономерностях накопления, распределения и выведения газов из организма человека.

В наибольших количествах инертные газы растворяются в веществах, состоящих из высокомолекулярных соединений, таких, как жир, эритроциты, кровь, и в меньших количествах – в мышцах и воде. Например, при производстве изотопов концентрация Хе-133 в теле работающих может достигать до 0,2 мкКи.

По рекомендации Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) принята единая схема задержки всех радиоактивных веществ в дыхательных путях "стандартного" человека. По этой схеме для всех изотопов независимо от размера, плотности, формы частиц и химического состояния принимается, что 75% поступающей активности задерживается в органах дыхания (из них 50% задерживается в дыхательных путях и затем заглатывается, а 25% осаждается в легких). В рекомендациях МКРЗ биологический период полувыведения I-131 из щитовидной железы принят равным 7,6 сут. Накопление йода в щитовидной железе здоровых людей может колебаться от 7 до 50% по отношению к поступившему количеству. Это обусловлено индивидуальными особенностями людей и наличием стабильного йода в рационе питания.

Радиоактивный йод является одним из "универсальных" изотопов с точки зрения радиационной опасности. Это связано с тем, что в производственных условиях он накапливается в щитовидной железе при аэрогенном поступлении, а в случае его выбросов в окружающую среду опасность радиоактивного йода в подавляющем числе случаев обусловлена пероральным поступлением с пищевыми продуктами, преимущественно с молоком. При попадании радиоактивного йода в атмосферный воздух происходит непрерывное оседание его на поверхность земли. Фиксируясь непосредственно в биомассе растений, он может поступать в организм человека при потреблении пищевых продуктов растительного происхождения. Другой, наиболее распростра-

ненный путь поступления радиоактивного йода в организм человека может быть представлен следующей цепочкой: воздух–растения–пастбищное животное–молоко–человек.

В природе углероду принадлежит особая биологическая роль. Он является структурной основой всех органических соединений. Углерод непосредственно входит в состав молекул белков и генетически значимых структур. Радиоактивный углерод проникает во все органы и ткани организма. Здесь проявляется его главная особенность: включаясь непосредственно в молекулы органических соединений, он является для них внутренним облучателем.

Наибольшая концентрация С-14 и соответственно дозовая нагрузка приходится на жировую ткань, которая является критическим органом для этого изотопа. Радиоактивный углерод может поступать в организм человека через органы дыхания в виде CO_2 и с пищевыми продуктами. Критическим органом при аэрогенном поступлении CO_2 являются легкие. Главным поставщиком С-14 в организм человека служат продукты питания растительного и животного происхождения. В организм человека ежесуточно попадает с пищевым рационом примерно $^1/_{30}$ часть суммарной активности С-14, равной примерно $9 \cdot 10^{-8}$ Ки.

В процессе своей профессиональной работы человек может контактировать с элементарным тритием (свободным газом), окисью трития, а также с его различными соединениями. При попадании в организм человека тритий сравнительно равномерно распределяется в водной фазе в виде окиси, включается в молекулярные структуры. Скорость поступления окиси трития в виде паров через органы дыхания можно определить по формуле

$$F = V \cdot \eta \cdot Q,$$

где V– объем вдыхаемого воздуха за единицу времени, л/ч (для профессионалов – 1250 л/ч);

η – коэффициент задержки в органах дыхания (для окиси трития равен 100%);

Q – концентрация окиси трития в воздухе, Ки/л.

Элементарный тритий в виде свободного газа проникает в организм человека в количествах, примерно в 10^4 раз меньших, чем пары окиси трития. В рекомендациях МКРЗ биологический период полувыведения принят равным 12 суткам.

Мощность дозы при хроническом контакте можно рассчитать по формуле

$$D=51E_{\beta} \cdot q \cdot K, \text{ мбэр/сут},$$

где q – средняя концентрация трития в 1 г ткани, мкКи/г;

К – коэффициент ОБЭ (1,7);
E_β – средняя энергия β-спектра.

Оценка дозовой нагрузки от внутреннего облучения

Поглощенную дозу при внутреннем облучении можно рассчитать, если известны радиоактивный изотоп, его распределение в организме и время облучения. Поглощенную дозу в любой момент времени после поступления в организм γ-излучающего изотопа вычисляют по формуле

$$D=0{,}032\cdot K\gamma\cdot C_o\cdot p\cdot q\cdot T_{эф}\cdot (1-e^{-0{,}693\cdot t/T_{эф}}),$$

где Kγ – гамма-постоянная изотопа;
C_o – начальная концентрация изотопа в ткани, мКи/г;
p – плотность ткани, г/см^3;
q – геометрический фактор, в среднем $q=3T_1R$ с эффективным радиусом сферы R = 10 см;
$T_{эф}$ – эффективный период полувыведения изотопа из организма или органа, сут;
t – время облучения, сут.

Поглощенная доза для β-излучающих изотопов в любой момент времени определяется по формуле

$$D=73{,}8\cdot C_o\cdot E_\beta\cdot T_{эф}\,(1-e^{-0{,}693\cdot t/T_{эф}}),\ \text{рад},$$

где E_β – средняя энергия β-частиц, МэВ.

Для α-частиц формула та же, но все умножают на 20.

При наличии в объекте скорости α-, β-, и γ-излучающих изотопов отдельно рассчитывают дозы для каждого вида излучений, а полученные данные суммируют. Для расчета мощности поглощенной дозы в 1г ткани от β-излучающих изотопов можно воспользоваться формулой

$$D = 0{,}595\cdot E_\beta\cdot A\cdot 10^{-5},\ \text{Гр/с},$$

где A – активность, мкКи;
E_β – средняя энергия β-частиц.

При постоянной концентрации по высоте над поверхностью земли можно рассчитать мощность дозы от естественных радиоактивных изотопов R_n и T_n и их продуктов распада по следующим формулам:

$$P_{(Rn)} = 14{,}2\cdot 10^{12}\, Q_{Rn},\ \text{мрад/год};$$
$$P_{(T_n)} = 14{,}2\cdot 10^{12}\, От_n,\ \text{мрад/год},$$

где Q – концентрация в атмосферном воздухе, Ки/л.

Доза облучения легких рассчитывается следующим образом:

$$D = 5 \cdot 10^{14} C_{Rn}, \text{ мрад/год};$$
$$D = 66{,}5 \cdot 10^{14} C_{тп}, \text{ мрад/год},$$

где С – концентрация радона в воздухе, Ки/л.

Устройство и принцип работы установки РГТ-01Т

Установка состоит их радиометра, пробоотборника и вспомогательных устройств. Радиометр включает в себя пульт управления и устройство детектирования. Пробоотборник состоит из воздуходувки и кассеты. Вспомогательное устройство включает в себя десорбер и зарядное устройство.

Описание работы радиометра. Световые вспышки, образующиеся в кристалле Na (Tl) в результате распада радона, усиливаются фотоэлектронным умножителем ФЭУ-82 и преобразуются в импульсы напряжения, которые предварительно усиливаются. Импульсы по кабелю подаются на пульт управления на дискриминатор, который пропускает импульсы амплитудой более 0,2 В в цепь управления. Цепь управления при нажатии кнопки «ПУСК» пропускает импульсы на счетную ячейку и одновременно запускает таймер. По истечении заданного времени нажимается кнопка «СТОП» и количество импульсов, пропорциональное активности радона, фиксируется на индикаторах счетчика.

В пульте управления имеются блоки низковольтного питания, обеспечивающие работу электрической схемы, а также блок высоковольтного питания для работы фотоэлектронного умножителя.

Расположение органов управления подключения и объема информации. На лицевой панели пульта управления расположено индикаторное табло для съема информации о количестве зарегистрированных импульсов и времени измерения. На задней стороне пульта управления – тумблер включения питания, клемма заземления, держатель предохранителя, выходные разъемы и сетевой кабель.

Перед включением пульта и воздуходувки в сеть их необходимо заземлить. При работе десорбера необходимо соблюдать правила безопасности, так как кожух нагревается до температуры плюс 200^{o}С.

Основные технические данные и характеристика установки РГТ-01Т приведены ниже.

1. Установка обеспечивает измерения объемной активности радона в диапазоне от 40 до $1{,}0 \cdot 10^{7}$ Бк/м^{3}.
2. Уровень собственного фона – не более 15 с$^{-1}$.
3. Время измерения фона – не менее 10 мин.
4. Объем расхода воздуха, прокачиваемого через сорбционные колонки, – 0,2±0,5 л/мин.

5. Предел допустимой относительной погрешности радиометра не превышает 5%.

6. В качестве осушителя прокачиваемого воздуха применяется прокаленный хлористый кальций.

7. Вместимость сорбционной колонки – 12 $см^3$.

8. Коэффициент задержки радона – не менее 99,5%.

9. В качестве сорбента используется активный уголь СКТ-2 (ТУ6-16-2237–78).

10. Время отбора пробы – 2,5 мин.

11. Время установки рабочего режима радиометра – 30 мин.

З а д а н и е 1. Определение объемной активности радона в воздухе помещений с помощью радиометрической установки РГТ–01Т.

Цель задания: определить объемную активность радона в воздухе обследуемых помещений, сделать вывод о их радоноопасности и предложить способы снижения его содержания в воздухе.

Порядок выполнения задания. Процесс измерения объемной активности радона делится на три этапа:

– отбор пробы;

– измерение скорости счета пробы;

– расчет объемной активности радона в пробе.

Отбор пробы исследуемой воздушной среды производится в сорбционные колонки, заполненные сорбентом, концентрирующим радон. Прокачка воздуха через колонки осуществляется с помощью портативной мембранной воздуходувки через фильтр-осушитель в течение заданного времени.

Сорбционная колонка изготовлена в виде тонкостенного цилиндра диаметром 17 мм и длиной 67 мм из алюминиевого сплава. Торцы колонки закрыты латунной сеткой. Колонка обеспечивает адсорбцию радона из 10 $дм^3$ исследуемого воздуха. Колонка вмещает 6 г активированного угля марки СКТ-2. Хранение колонок до и после отбора осуществляется в кассете, концентрация которой обеспечивает герметизацию колонок и практически исключает утечку радона из пробы. Сорбционную колонку вставляют в гнездо воздуходувки и производят отбор пробы в течение 2,5 мин по отградуированному ротаметру.

Измерение скорости счета пробы. От момента отбора пробы до начала измерения скорости счета должна быть выдержка не менее 2,5 часов. Перед измерением скорости счета необходимо провести определение собственного фона установки в течение не менее 10 мин. Нажмите кнопку «СБРОС», затем «ПУСК» и через 10 мин кнопку «СТОП».

Скорость счета фона рассчитывают по следующей формуле

$$N_Ф = \frac{n_Ф}{60 \cdot t_Ф} (c^{-1}),$$

где $n_Ф$ – количество фоновых импульсов за время измерения $t_ф$.

Определение эффективности регистрации. Образец помещают в цилиндрическое отверстие блока детектирования, закрывают свинцовой крышкой и нажимают кнопку «ПУСК». Время измерения определяется по графику (рис. 21). По истечении заданного времени нажимают копку «СТОП» и записывают показания счетчика импульсов и таймера.

Эффективность регистрации (в %) рассчитывают по следующей формуле:

$$\eta = \frac{N_0}{A_0 \cdot t_0} \cdot 100\%,$$

где N_0 – число импульсов за время t_0;

A_0 – активность образца, Бк ($с^{-1}$);

t_0 – время измерения, с.

Определение объемной активности пробы радона. Пробу помещают в детекторный блок и нажимают кнопку «ПУСК». Измерение проводят в течение времени, определенного по графику (рис. 21).

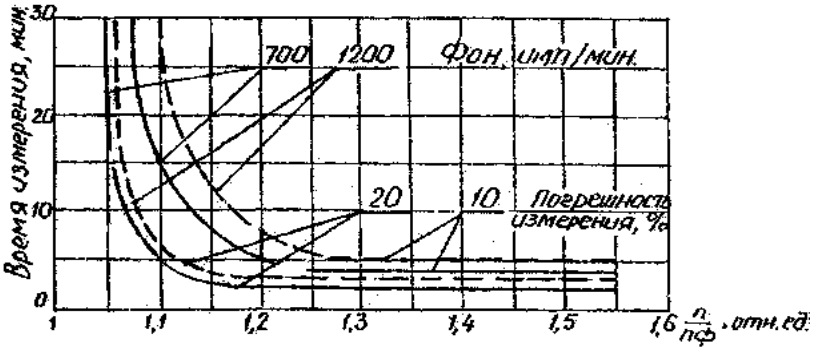


Рис. 21. График зависимости времени измерения импульсов от заданной погрешности и величины измеренной объемной активности радона.

По окончании измерения нажимают кнопку «СТОП» и записывают показания счетчика импульсов N. Объемную активность определяют по формуле

$$A = \frac{N - N_ф}{\eta \cdot q} \cdot e^{\lambda_{Rn} \cdot \Delta t},$$

где N – скорость счета от пробы;

q – объем прокаченного воздуха, $м^3$;

Δt – промежуток времени от момента отбора до начала радиометрического измерения, мин;

λ_{Rn} – постоянная распада радона, $1{,}26 \cdot 10^{-4}$ мин.

Сравните расчеты содержания радона в воздухе помещений с допустимыми уровнями концентрации согласно НРБ–2000 и предложите мероприятия для его снижения.

Задание 2. Расчет доз облучения от инкорпорированных радионуклидов на различные органы и ткани человека.

Цель работы: произвести расчет поглощенной дозы от инкорпорированных радионуклидов.

Расчет тканевых доз производится по исходным данным (табл. 16) и формулам, приведенным выше.

Таблица 16. **Исходные данные для расчета доз облучения**

Радионуклид	E_β(max), МэВ	E_α, МэВ	E_γ, МэВ	$T_{эф}$,сут	t,сут
Йод	0,806	–	0,364	7,6	8
Радон	–	5,49	–	–	10
Торон	–	6,28	–	–	2
Тритий	0,0186	–	–	12	10

Задача 1. Рассчитайте дозу облучения легких от радона, находящегося в табаке при выкуривании двух пачек сигарет в сутки, если активность одной сигареты составляет $1 \cdot 10^{-12}$ Ки.

Задача 2. Рассчитайте дозу облучения легких служащего офиса, находящегося в подвальном помещении здания, за 8 ч при концентрации радона в воздухе 100, 200, 300 и 400 Бк/м^3.

Контрольные вопросы

1. Что представляют собой инкорпорированные радионуклиды?
2. Что является источником инкорпорированных радионуклидов?
3. Что такое радиоактивные аэрозоли?
4. Основные способы образования радиоактивных аэрозолей.
5. Источники радиоактивных аэрозолей.
6. Основные характеристики аэрозолей.
7. Особенности биологического действия радиоактивных аэрозолей и газов.
8. Что такое радиоактивные газы?
9. Назовите основные дозообразующие радиоактивные газы.
10. Поясните устройство и принцип работы радиометрической установки РГТ-01Т.
11. На какие группы по дисперсности делятся радиоактивные аэрозоли?

Лабораторная работа № 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГЛОЩЕННЫХ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОЗИМЕТРИИ

Накопленный опыт по разработке крупных опытно-промышленных и промышленных установок с использованием радиоизотопных облучателей и ускорителей электронов позволяет эффективно применять ионизирующие излучения в промышленной технологии для следующих целей:

1) в качестве инициатора радиационно-химических процессов для улучшения обычной химической технологии;

2) получения новых веществ с ценными уникальными свойствами;

3) для деструкции различных веществ, находящихся в водных растворах и живой клетке.

Более подробно рассматриваются процессы третьей группы, к которым относят: радиационную деструкцию промышленных сточных вод, содержащих цианистые соединения; комплексы металлов; различные органические соединения химических производств; бытовые сточные воды; радиационную стерилизацию различных изделий медицинской промышленности; радиационную обработку рыбо- и морепродуктов с целью уничтожения содержащейся в них микрофлоры и т.п. Все эти и подобные процессы чаще называют процессами **радиобиологической технологии** (РБТ). Процессы РБТ затрагивают многотоннажные производства гигантских по масштабу сфер деятельности человека – сельское хозяйство, пищевую, медицинскую, микробиологическую и рыбную промышленности, охрану окружающей среды и т. д.

В настоящее время в мире работает более 70 промышленных установок для стерилизации медицинских изделий, введены в строй крупнотоннажные установки для дезинсекции зерна, удлинения сроков хранения картофеля и лука, предпосевного облучения семян, внедрены или находятся на стадии внедрения процессы и установки для обеззараживания кормов, удлинения сроков хранения ряда продуктов питания, дезинсекции и обеззараживания животноводческих и коммунальных стоков, половой стерилизации насекомых-вредителей, радиационной технологии «ослепления» в виноградарстве и т. д.

Задачи и особенности технологической дозиметрии

Важным технологическим параметром радиационных процессов является поглощенная объектом (продукцией) доза излучения и ее мощность, которые подлежат контролю при использовании РБТ. Решением этих вопросов занимается **технологическая** дозиметрия. Таким образом, задача технологической дозиметрии при проведении процессов радиобиологической технологии – определение и контроль степени облучения продукции (объектов), подвергаемой радиационной обработке. Диапазон измеряемых доз в различных процессах РБТ

крайне широк и колеблется от $2 \cdot 10^{-2}$ до $5 \cdot 10^{4}$ Гр (табл. 17).

Специфика технологической дозиметрии во многом зависит от режима работы радиационной установки, вида облучателя, характера радиационного процесса, физических и химических свойств облучаемых объектов.

Кроме того, при сдаче в эксплуатацию радиационной техники, предназначенной для проведения конкретного процесса, дозиметрия позволяет определить соответствие параметров (мощности экспозиционной дозы гамма-излучения; тока электронов в пучке ускорителя, мощности и формы пучка электронов; конфигурации поля доз и др.) техническому заданию и паспортным характеристикам.

Таблица 17. **Диапазон доз при целевом использовании ионизирующих излучений**

Цель облучения	Диапазон измерений, Гр
1	2
Предпосевное облучение семян сельхозкультур	100
Предпосадочное облучение картофеля (стимулирующий эффект)	10
Задержка прорастания семенных клубней картофеля в предпосадочный период	20–30
Селекция растений	$10–10^{3}$
Предотвращение прорастания картофеля, лука	50–150
Продление сроков хранения овощей, ягод, фруктов	$(1–8) \cdot 10^{3}$
Дезинсекция зерна	$10^{2}–10^{3}$
Стерилизация медицинских изделий и препаратов	$10^{3}–5 \cdot 10^{4}$
Радуризация рыбы и рыбных продуктов	$(2–4) \cdot 10^{3}$
Обеззараживание навозных стоков промышленных животноводческих комплексов	$3 \cdot 10^{2}–10^{4}$
«Ослепление» глазков на черенках винограда	5–30
Карантинное обеззараживание кожи и шерсти животных	$(2–3) \cdot 10^{4}$
Консервирование шкур и кожевенного сырья	$10^{3}–10^{4}$
Стерилизация специй и других добавок в пищевые продукты	$(0,5–2) \cdot 10^{4}$
Стерилизация пищи лабораторных животных	$(0,5–2) \cdot 10^{4}$
Стерилизация сточных вод	$(0,4–2) \cdot 10^{4}$
Экстракорпоральное облучение крови	1–6
Половая стерилизация насекомых-вредителей	50–150
Консервирование и улучшение качества кормов	$(0,2–3) \cdot 10^{4}$
Увеличение яйценоскости и жизнеспособности кур	$(2–6) \cdot 10^{2}$
Стерилизация изделий и препаратов в ветеринарии	$(2–5) \cdot 10^{4}$
Удлинение сроков хранения мяса и ряда мясных продуктов:	
радисидацией	$(2–6) \cdot 10^{3}$
радуризацией	$(1–6) \cdot 10^{3}$
радаппертизацией	$(1–5) \cdot 10^{4}$

Если в качестве примера взять процесс радиационной стерилизации медицинских изделий и препаратов (табл. 18), то доза (время) является практически единственным контролируемым параметром.

Аналогичное положение и при проведении других процессов РБТ

предпосевного облучения семян сельскохозяйственных растений (обеззараживание промышленных и животноводческих стоков, радиационная обработка пищевых продуктов и т. п.).

Экспериментальное определение дозы излучения в диапазоне задач, приведенных выше, практически не может быть осуществлено с помощью какого-либо одного метода. В зависимости от агрегатного состояния продукции (твердотельная, перемешиваемая или неперемешиваемая система, жидкостная), физико-механических свойств системы, условий радиационной обработки (мощности поглощенной дозы, температуры в процессе облучения, среды), характера процесса (непрерывный, периодический) требования к применяемым дозиметрам, естественно, различны. Технологическая дозиметрия, как и всякая иная, основана на регистрации физических и химических эффектов (ионизации, сцинтилляции, тепловых, химических, оптических и др.), по которым определяют энергию излучения, поглощаемую облучаемой средой.

Кроме того, дозиметрическая система, как составная часть радиационной технологии, наряду с другими требованиями должна обладать тканеэквивалентностью, достаточной точностью и стабильностью показаний по времени.

Таблица 18. **Контролируемость параметров при различных методах стерилизации**

Параметры	Метод стерилизации				
	Паровой (автоклавирование)	Газовый (окись этилена)	Радиационный (иониз. излуч.)	Термо-радиационный	Криогенно-радиационный
Температура	+	+	–	+	+
Время	+	+	+	+	+
Давление	+	+	–	–	–
Вакуум	+	+	–	–	–
Концентрация	–	+	–	–	–
Упаковка	+	+	–	–	–
Влажность	–	+	–	–	–

Примечание: + контролируемый, – неконтролируемый.

При определении распределения поля поглощенной дозы в облучаемой продукции возникает необходимость моделирования. Иногда для моделирования применяют фантомы, т.е. в тару помещают материал, который позволяет воспроизвести геометрическую форму, условия поглощения и рассеяния для конкретного вида излучения и изделий.

Фантом может быть и реальный, тогда в тару помещают некондиционную продукцию. В качестве фантомов часто употребляют пенопласт, парафин, органическое стекло и другие, в зависимости от плотности облучаемой продукции и эффективного атомного номера. В

фантомах в определенных условиях фиксируют детекторы излучения, которые позволяют в дальнейшем определить распределение поля поглощенной дозы в облучаемой упаковке. Пространственное распределение поглощенной дозы измеряют с помощью рабочих дозиметров, погрешность которых не превышает 10% при доверительной вероятности 0,95. Более точную информацию в случае неоднородной облучаемой продукции можно получить, используя некондиционную продукцию.

Качество продукции и получение оптимального экономического эффекта зависят от точности и правильности определения поглощенной дозы (иногда и от мощности поглощенной дозы) в продукции, подвергшейся радиационной обработке. В зависимости от способа проведения технологического процесса (непрерывного в виде потока жидкости или твердотельного сыпучего материала для «блочных» объектов) задачи измерения поглощенной дозы решают различными методами. Наиболее сложной задачей является измерение поглощенных доз в процессе радиационной обработки непрерывного потока перемешиваемых систем (жидкости, твердотельных сыпучих материалов). Измерение и контроль дозы при радиационной обработке в непрерывном потоке, например, сыпучего материала, выдвигает ряд требований: размер и форма детекторов должны быть соизмеримы с размером облучаемых частиц (например, семян); плотность детектора должна быть близка к средней плотности облучаемой продукции; детекторы должны обладать достаточной механической прочностью.

Также необходимо помнить, что применяемые химические и пленочные дозиметры близки по плотности и атомному составу полимерным материалам, используемым в изделиях. Однако при облучении изделий из металла могут возникнуть ошибки и величина поглощенной дозы будет недооценена.

Для группы процессов с «блочными» системами задачи измерения поглощенной дозы решаются с помощью дозиметров, размещенных в фиксированных точках тары (упаковки) с продукцией или веществом, близким к ней по составу.

К особенностям дозиметрии при радиационной обработке объектов ускоренными электронами в отличие от дозиметрии на изотопных установках относится возможность изменения поля мощности дозы в зоне облучения из-за изменения параметров ускорителя – тока, энергии и величины отклоняющего поля в развертывающем устройстве. Это налагает определенные требования на организацию дозиметрического контроля, которые выражаются в необходимости непрерывного контроля за величиной поглощенной дозы или за параметрами ускорителя. Другой особенностью технологической дозиметрии являются чрезвычайно высокие интенсивности излучения, создающие мощности поглощенной дозы 10 кГр/с, а в случае импульсных излучений – до

нескольких сотен тысяч килогрей в секунду. Поэтому все дозиметрические системы, разработанные и использующиеся на изотопных установках, требуют корректировки своих характеристик.

Основные типы дозиметров, применяемых в технологической дозиметрии

В настоящее время исследователи и производственники проявляют особый интерес к методам, основанным на изменении ряда свойств (оптической плотности, окрашиваемости и т.д.) твердотельных детекторов под действием ионизирующего излучения. Практически представляют интерес два вида детекторов: на основе стекол и полимерных материалов.

Небольшие размеры, прочность, химическая стойкость, возможность сравнительно быстро получить информацию о распределении дозы по объему, точность измерения (не менее 90%) позволяют рассматривать стеклянные дозиметры как перспективные в практическом отношении. Недостатком стекол является изменение их окрашиваемости во времени и особенно в первые сутки (до 10–20%), так называемый **фединг.**

Дозиметрические стекла представляют собой пластины толщиной 1–5 мм, противоположные поверхности обычно полированы для пропускания света при измерении оптической плотности с помощью спектрофотометров. Для света определенной длины волны дозиметрические стекла имеют линейную зависимость изменения оптической плотности от поглощенной дозы излучения в определенном диапазоне доз и энергии.

Для определения поглощенной дозы, полученной сыпучим продуктом в процессе радиационной обработки в непрерывном потоке, используется термолюминесцентный метод дозиметрии с использованием в качестве детекторов алюмофосфатных стекол, активированных марганцем, или фтористым литием.

Алюмофосфатные стекла с добавками марганца изготавливают в виде полированных прямоугольных стержней размером 10×3×3 мм. Свечение термолюминесценции измеряют в специальном нагревательном устройстве термолюминесцентного дозиметра ДТМ-2 или подобных ему. Термолюминесцентные детекторы позволяют фиксировать дозы от 0,1 до –100 Гр, а значение запасенной в стеклах или фтористом литии энергии не зависит от мощности дозы гамма-излучения Cs-137 и Co-60 вплоть до 0,25 Гр/с. В диапазоне энергии от 70 кэВ до 1,25 МэВ «ход с жесткостью» практически отсутствует. Детекторы могут применяться многократно и способны сохранять информацию в течение 5–6 месяцев, что особенно важно в производственных условиях.

Наиболее широко в настоящее время применяются дозиметриче-

ские системы на основе полимерных пленок или пластинок из полимерных материалов. Как правило, текущий дозиметрический контроль многих процессов РБТ предусматривает использование тонкопленочных дозиметров. К ним относятся дозиметры на основе пленки поливинилового спирта (ПВС), полиметилметакрилата (ПММК), целлофана (Ц), триацетата целлюлозы. (ТЦ), поливинилхлорида (ПВХ) с добавками различных красителей, полистирола (ПС) с добавками люминесцирующих красителей, ряда сополимеров (С) с добавками красителей и т. п. Доза определяется по изменению оптического поглощения (ПВС, ПММК, ТЦ, Ц и др.) или по изменению цвета (ПВХ, ПС и др.).

В США, Англии, Венгрии и других странах для целей дозиметрии выпускаются окрашенный полиметилметакрилат; бумага, покрытая поливинилхлоридом с красителем; целлофан, содержащий красители.

Величина поглощенной дозы определяется по изменению окраски пленочного дозиметра. Например, дозиметр, состоящий из 90% поливинилхлорида и 10% поливинилового спирта с красителем метилоранж при облучении меняет свой цвет от желтого до красного в зависимости от поглощенной дозы. Смесь из 50% поливинилхлорида и 50% парафина, в которую введен краситель конго красный, изменяет окраску от красного до сине-фиолетового также в зависимости от поглощенной дозы.

Для практики радиационно-биологической технологии особый интерес представляют пленочные дозиметры, сочетающие в себе возможность визуального определения дозы по цвету и ее объективного измерения, например, по оптическим параметрам.

Для повседневного контроля продукции, обработанной радиационным методом, в настоящее время широко используют цветовые индикаторы дозы, которые условно делят на два типа: двухцветовой (например, желто-красный) и многоцветовой, имеющий несколько цветовых переходов. Первый тип позволяет при контроле процесса облучения визуально обнаружить факт облучения: «облучено» или «не облучено», а второй тип – степень облучения продукции. При этом поглощенную дозу определяют визуальным сравнением окраски облученного индикатора с цветодозной шкалой (табл. 19).

Широко применяются цветовые визуальные индикаторы дозы ЦВИД-3 для рабочего диапазона доз 2–30 кГр в интервале мощности дозы 40–4000 Р/с. Они обладают хорошей гаммой окрасок, что позволяет свести погрешность визуальной оценки дозы при использовании цветодозной шкалы до 25%.

ЦВИД-3 изготавливают на основе полистирола с добавкой люминесцирующего красителя–1,8, нафтолена–1,2, бензимедазола, либо его производных, и галогеносодержащей добавки в виде ярко-красной пленки на бумажной подложке с нанесенным клеящим слоем. ЦВИД-3 дает возможность проводить также измерение с использованием зависимости интенсивности люминесценции (λ = 525 нм) от поглощенной дозы.

Дозиметр требует защиты от интенсивного ультрафиолетового излучения.

Для дозиметрии на установках, в которых в качестве излучателя используют ускорители электронов, более пригодны тонкие полимерные пленки. Они обычно выполняются на основе триацетата целлюлозы с различными добавками.

Для дозиметрии электронного излучения более пригодны тонкие поливинилхлоридные пленки, в состав которых входит краситель.

Таблица 19. **Цветодозная шкала ЦВИД-3**

Доза, кГр	ЦВИД-3 (цвет)	Цветовой индикатор-дозиметр (цвет)
0	Красный	Синий
2	Серо-малиновый	–
5	Темно-зеленый	–
10	Зеленый	Сине-фиолетовый
20	Желто-зеленый	Фиолетовый
30	Желтый	Красный
40	–	Оранжевый
50	–	Желтый

Под действием ионизирующего излучения выделяется соляная кислота, которая действует на краситель и изменяет цвет пленки. Толщина пленок может составлять сотые доли миллиметра. При такой толщине пленочный дозиметр не искажает поля излучения. Пленочные дозиметры эффективны при измерении больших доз – $5 \cdot 10^3 – 5 \cdot 10^5$ Гр.

Использование ионизирующих излучений в сельском хозяйстве и промышленности

Радиационная техника.

Наиболее широкое применение нашли установки рентгеновского, гамма-, бета-, электронного и нейтронного излучений. Иногда используют источники излучения, связанные с ядерными реакторами, так называемые «радиационные контуры реакторов», но чаще всего – их частично или полностью отработанные тепловыделяющие элементы (твэлы – узлы реактора, содержащие ядерное топливо).

Основные требования, которые предъявляются к ионизирующим излучениям, следующие: обеспечение определенной поглощенной дозы в пределах требуемой точности; равномерное падение заданной дозы по всему объему облучаемой продукции; отсутствие нежелательных реакций, приводящих к появлению в объекте облучения наведенной радиоактивности; обеспечение условий радиационной безопасности и окупаемость себестоимости технологий.

Радиационная техника на основе радиоактивных изотопов Co-60 и Cs-137.

Широкому применению этих источников в сельском хозяйстве способствуют следующие характеристики: большие периоды полураспада (5,3 и 30 лет соответственно); высокая проникающая способность излучений; отсутствие наведенной радиоактивности у облученных объектов; возможность создавать источники любой удельной активности– от нескольких до тысяч кюри на грамм, и благоприятные с технологической точки зрения физические свойства источников, позволяющие длительно эксплуатировать их в автономных установках различного типа при минимальных затратах энергии.

Для получения радиоактивного изотопа Co-60 нерадиоактивный металлический кобальт заготавливают в виде дисков или цилиндров нужных размеров, помещают в специальные металлические герметичные стаканы и загружают в ядерный реактор, где подвергают облучению потоком тепловых нейтронов в течение нескольких месяцев и даже лет в зависимости от требуемой удельной активности. После облучения стаканы вскрывают и образовавшиеся радиоактивные источники Co-60 помещают в двойные ампулы из нержавеющей стали, которые герметизируют с помощью электросварки.

Изотоп Cs-137 выделяют из смешанных продуктов деления, образующихся в ядерных реакторах, в виде спрессованных в форме таких же дисков или цилиндров солей радиоактивных хлорида цезия и сульфата цезия, упаковывают в аналогичные ампулы из стали.

Транспортируют и хранят источники излучений в специальных контейнерах, оборудованных свинцовой защитой. В аналогичных контейнерах они, как правило, находятся в нерабочем состоянии или в так называемом «режиме хранения». В зависимости от взаимодействия между источником и объектом облучения конструктивно облучательные установки делят на три основных типа: источник облучения неподвижен, к нему перемещается объект облучения; источник облучения на время облучения перемещается в рабочую камеру с неподвижным объектом облучения; источник облучения на время облучения перемешается в рабочую камеру, а объекты облучения перемещаются относительно него.

Среди изотопных источников наиболее распространены гамма-установки с долгоживущими радионуклидами Co-60 и Cs-137.

На рис. 22 представлена схема гамма-установки для облучения объектов большого размера.

В рабочей камере *1* расположены излучающие элементы, которые могут находиться в рабочем положении *3* или в хранилище *4* (при таком положении помещение *1* доступно для людей). Объекты для облучения погружаются в контейнеры *5* и по транспортной линии *6* доставляются дистанционно к облучателю *3*. Все помещения находятся

под дозиметрическим контролем *13*. Источник излучения ядерных реакторов состоит из γ-излучения, быстрых и тепловых нейтронов, осколков деления. Ускорители заряженных частиц – устройства, ускоряющие электроны или ионы в электрическом поле (магнитное поле может быть использовано для управления потоком заряженных частиц). Различают два основных конструкционных типа ускорителей: линейные, в которых заряженные частицы движутся прямолинейно, и циклические, в которых движение идет по круговой траектории.

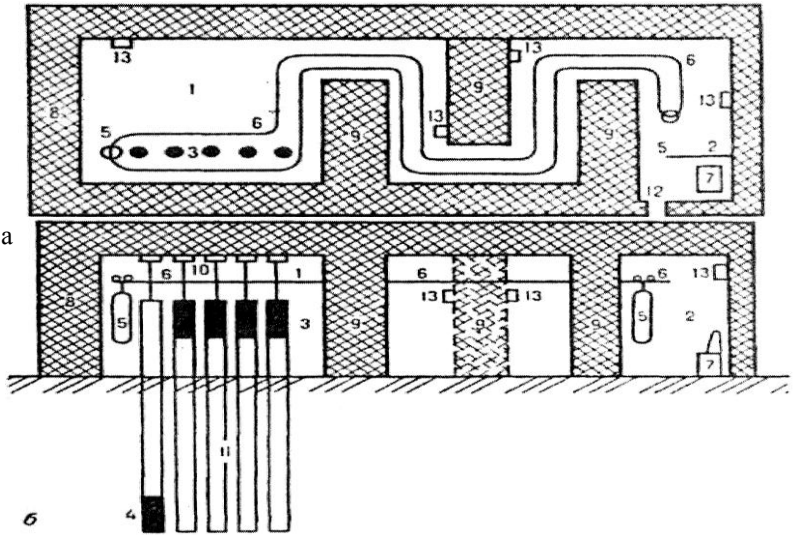


Рис. 22. Схема гамма-изотопного источника для облучения контейнеров:
а – вид сверху, б – вид сбоку;
1 – камера для облучения; 2 – помещение для загрузки контейнеров; 3 – источник излучения в рабочем положении; 4 – он же в положении хранения; 5 –контейнер; 6 – транспортная линия для контейнеров; 7 – пульт управления; 8 – бетонная защита; 9 – зубцы защитного лабиринта; 10 – система подъема источников из хранилища; 11 – хранилище; 12 – пультовая; 13 – система дозиметрического контроля.

По типу ускоряющего электрического поля ускорители делят на высоковольтные, в которых направление электрического поля во время ускорения не меняется, и резонансные, в которых непрерывное ускорение достигается за счет того, что заряженная частица находится в ускоряющей фазе переменного высокочастотного электрического поля.

В циклических ускорителях (циклотрон, синхротрон, синхрофазотрон и др.) требуемая энергия достигается при многократном прохож-

дении ускоряемой частицы по окружности аппарата, в линейных (линейный индукционный ускоритель, линейный резонансный ускоритель и др.) – за счет приложения высокочастотного электрического поля к линейной периодической системе электродов. Основные элементы ускорителя – высоковольтный генератор, источник заряженных частиц (ионный источник) и система, в которой производится ускорение. В резонансных ускорителях процесс накопления частицей энергии происходит за определенное время, зависящее от требуемой энергии и типа ускоряемых частиц, поэтому они работают в импульсном режиме. Некоторые типы высоковольтных ускорителей (например, каскадный ускоритель) могут использоваться в режиме постоянного потока ускоренных частиц. Большинство типов ускорителей применяют для ускорения как электронов, так и позитронов, протонов, дейтронов, He^{2+} и положительных ионов более тяжелых элементов. Резонансные ускорители больших энергий (до десятков ГэВ) применяют в ядерной физике; линейные ускорители с энергией до десятков МэВ – в радиационно-химических исследованиях; высоковольтные электронные ускорители – в прикладных целях (используют как ускорители на энергии 0,1– 0,5 МэВ с мощностью в десятки кВт, так и ускорители на энергии в несколько МэВ с мощностью до 100 и выше кВт). Перечисленные выше ускорители – аппараты с выведенным пучком заряженных частиц. Но в самом аппарате за счет заряженных частиц можно получить нейтроны или рентгеновское излучение. Нейтроны получают в нейтронных генераторах при бомбардировке ускоренными протонами или дейтронами мишеней из соединений, содержащих D, T или другие нуклиды; получаемый поток может превышать 10^{11} нейтрон/с. Генераторы нейтронов наряду с ядерными реакторами используют в активационном анализе, нейтронографии. Рентгеновское излучение генерируют в рентгеновских трубках, в которых ускоренные электроны тормозятся в толстой мишени из тяжелого элемента (антикатод); при этом радиационные потери значительны. Рентгеновские трубки выпускают для получения излучений с энергиями от десятков до сотен кэВ; они могут работать в непрерывном или в импульсном режиме. Различные установки создают в облучаемой среде мощность поглощенной дозы от долей Вт/г до $2 \cdot 10^5$ Вт/ч в стационарном режиме и 10^8 Вт/ч в импульсном. Ввиду сильного биологического действия ионизирующих излучений, все источники снабжены защитой из сильно поглощающих материалов (бетон, чугун, свинец); толщина защиты определяется нормами радиационной безопасности. Ионизирующие излучения создают в облучаемых объектах различные химические, физиологические и биологические эффекты. В больших дозах ионизирующее излучение угнетает жизнедеятельность растений, микроорганизмов и животных. Этот эффект лежит в основе радиационной стерилизации медицинских препаратов

и инструментов, консервации пищевых продуктов. В малых дозах ионизирующее излучение служит мутагенным и активирующим фактором и используется для селекции растений, микроорганизмов (например, при получении антибиотиков), для предпосевной обработки семян. В медицине ионизирующие излучения находят применение как диагностическое средство и для лучевой терапии опухолей. Использование ионизирующих излучений в промышленности – основа радиационной технологии, частью которой является радиационно-химическая технология.

Кроме того, установки для облучения бывают стационарного типа и передвижные (транспортабельные).

К первому типу относятся установки МРХ-гамма-25М, ЛМБ-гамма-IM, РХ-гамма-30, «Исследователь», «Стерилизатор», «Стебель», «Генетик» и др. Промышленная передвижная установка «Колос» смонтирована на базе грузового автомобиля. Ее производительность при предпосевном облучении составляет около тонны семян в час при дозе 7–10 Гр. Величина дозы регулируется скоростью движения транспортера с семенами, которые после облучения сразу засыпаются в сеялки.

Стационарные мощные гамма-установки обычно представляют собой помещение с непроницаемыми для гамма-излучения стенками, в котором располагается один или несколько источников облучения, находящихся в контейнерах или укрытиях. Объект облучения подводится к облучателю и выводится в безопасную зону с помощью транспортера по специальному лабиринту, исключающему облучение персонала.

Радиационная техника на основе ускорителей электронов.

Применение ускорителей электронов началось раньше использования гамма-установок, однако последние вследствие вышеперечисленных достоинств источников излучений, а также высокой надежности в работе и простоте обслуживания распространились гораздо шире. В последнее время все больше используются установки с энергией до 3–5 МэВ.

Ввиду специфики конструкций ускорителей, индуцирующих электроны таких высоких энергий, радиационные установки на их основе представляют собой стационарные сооружения с транспортером, на который помещают облучаемую продукцию с дозиметром. Такие установки просты в управлении излучателем, не требуют специальных укрытий, имеют относительно простую конструкцию.

Источники нейтронного излучения.

Облучение нейтронами применяется довольно редко, что обусловлено сравнительно незначительным распространением ядерных реакторов и других источников нейтронов.

Наиболее широко и достаточно эффективно они используются для облучения семян растений в работах по радиационному мутагенезу.

Примеры использования ионизирующих излучений в сельском хозяйстве и промышленности

Продление сроков хранения ягод, фруктов и овощей.

Особого внимания заслуживает проблема так называемой радуризации сочного растительного сырья – ягод, фруктов, овощей. Под термином «радуризация» понимают радиационную обработку различных продуктов в дозах, подавляющих жизнедеятельность микроорганизмов и позволяющих продлить срок хранения.

При температуре 4–5°С срок хранения увеличивается в 2,5–3 раза при дозе 2–3 кГр. Срок хранения неповрежденных томатов увеличивается в 2–4 раза при температуре до 10°С.

Радиационная консервация продукции растениеводства и плодоводства.

Дозы выше 10 кГр приводят к полной гибели подавляющего большинства видов микроорганизмов и могут быть рекомендованы для радиационной консервации продукции растениеводства. Важнейшим и совершенно уникальным свойством радиации является то, что при ее применении в качестве консервирующего средства не требуется других мер по соблюдению стерильности, так как облучение позволяет осуществить процесс стерилизации непосредственно в уже упакованном виде. Кроме того, при радиационной обработке в продуктах не снижается содержание витаминов – главного компонента, составляющего ценность овощей и фруктов.

При столь высоких дозах облучения за счет разрушения некоторых пигментов, образования продуктов окисления и некоторых других радиационно-химических реакций могут изменяться цвет и вкусовые качества продуктов.

Радиационная технология продления сроков хранения мяса и мясных продуктов.

Многолетний опыт многих стран свидетельствует о том, что облучение свежего мяса гамма-излучением или электронным излучением в дозах 1–5 кГр позволяет увеличивать срок его хранения при 0–4°С в несколько раз. Этот прием получил название **радуризации.**

С целью борьбы с сальмонеллезом облучают также яйца домашней птицы. При дозе 5 кГр количество наиболее стойких штаммов сальмонеллы снижается в них более чем в 100 раз.

Дозы гамма-излучения порядка 20–24 кГр полностью дезинфицируют мех норки, песца, лисицы, кролика.

Использование радиации в медицине с целью стерилизации.

Метод лучевой стерилизации медицинских изделий находит широкое применение как в нашей республике так и других странах. Стерилизуют шприцы, иглы, хирургические перчатки, перевязочные материалы, некоторые лекарственные препараты. Особенно перспективен

метод для обеззараживания изделий разового пользования, изготовленных из пластмасс. Стерилизуют трупный материал (кости, хрящи, сосуды), искусственные сосуды, сердечные клапаны и трахеотомические трубки из пластмасс, нити кетгута и др. Как правило, стерилизация изделий проводится в упаковке из бумаги, стекла, пластмасс, и они сохраняют свою стерильность до 3–4 лет. В г. Минске в пятой клинической больнице на базе цезиевой гамма-установки «Ставрида» создан центр по радиационной стерилизации медицинских изделий для практических нужд больницы.

Модификация древесины радиационно-химическим способом.

Под воздействием излучения высоких энергий в мономере образуются радикалы, которые приводят к полимеризации. Применение нейтронного излучения исключается вследствие явления остаточной активности. Для пропитки древесины используют мономеры винилового ряда, которые легко полимеризуются под действием радиации. Это соединение с общей формулой $CH_2 – CHX$, например, стирол – $CH_2 = =CH(C_6H_5)$, метилметакрилат – $CH_2 = C(CH_3)\ COOH_3$ и др. Все молекулы имеют двойную связь С = С, которая легко разрывается, что приводит к образованию радикалов, которые затем дают длинную полимерную молекулу.

Таким образом, сущность радиационно-химической модификации заключается в образовании единого, химически связанного комплекса древесины с высокомолекулярным пропитывающим веществом.

В модифицированной древесине водопоглощение снижается на 60%, набухание – в 6 раз, предел прочности на изгиб увеличивается на 30%.

Получение бетонополимеров радиационно-химическим методом.

Полученные легкие бетонополимеры имеют прочность на изгиб в 3,7–7 раз больше, чем непропитанные, прочность на сжатие – в 2,7–3,9, прочность на растяжение – в 2,4 – 4,8 раза больше.

У ячеистого бетона водопоглощение снижается более чем в 8 раз, что исключает применение гидроизоляции. Образцы выдерживают 500 циклов оттаивания – замораживания.

Радиационно-химическая модификация полиэтилена.

Облученные полиэтиленовые изделия сохраняют свою форму при температуре 150–200°С и выше, по механическим свойствам они не уступают каучуку. Электрическая прочность этих изделий увеличивается в 2 раза.

З а д а н и е 1. Определение поглощенной дозы облучения при стерилизации с помощью химического дозиметра.

Измерение поглощенной дозы производят на спектрофотометрах типа СФ-36, СФ-46 и других по коэффициенту пропускания по длине волны 512А°. Коэффициент пропускания необлученного дозиметра принят за 100%.

Устройство и работа спектрофотометра.

Устройство спектрофотометра СФ-46 представлено на рис.23.

В основу работы спектрофотометра положен принцип измерения отношения двух световых потоков: потока, прошедшего исследуемый образец, и потока, падающего на исследуемый образец (или прошедшего через контрольный образец).

Световой пучок из осветителя попадает в монохроматор через входную щель и разлагается дифракционной решеткой в спектр. В монохроматический поток излучения, поступающий из выходной щели в кюветное отделение, поочередно вводятся контрольный и исследуемый образцы. Излучение, прошедшее через образец, попадает на катод фотоэлемента в приемно-усилительном блоке. Электрический ток, проходящий через резистор R, который включен в анодную цепь фотоэлемента, создает на резисторе падение напряжения, пропорциональное потоку излучения, попадающего на фотокатод.

Значение измеряемой величины выводится на цифровое табло или стрелочный прибор.

Оборудование и приборы.

1. Спектрофотометр СФ-36 или СФ-46.
2. Пленочные дозиметры.
3. Калибровочные графики для определения дозы.

Порядок выполнения задания. 1. Нажмите кнопку «Сеть» и выдержите прибор во включенном состоянии не менее 30 мин (перед включением проверьте наличие заземления).

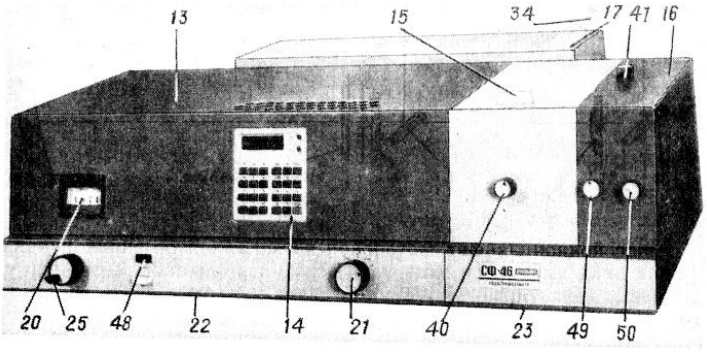


Рис.23. Устройство спектрофотометра СФ-46.

2. Закройте фотоэлемент, установив рукоятку *41* переключателя шторки в положение «ЗАКР», и переключателем *21* установите ширину щели 0,15 мм.

3. Установите в держатель от одного до трех дозиметров, в четвертую позицию держателя может быть установлен контрольный дозиметр (образец). При отсутствии образца измерение будет проводиться относительно воздуха (100% пропускания).

4. Установите держатель на каретку в кюветном отделении.

5. Установите требуемую длину волны, вращая ручку длин волн.

6. Установите рукояткой *41* и рычажком *34* в рабочее положение фотоэлемент и источник излучения, соответствующие выбранному спектральному диапазону измерения.

7. Установите рукояткой *50* стрелку измерительного прибора на ноль.

8. Установите на пути потока излучения контрольный образец, перемещая каретку рукояткой *40*.

9. Установите рукоятку *49* в положение «ОТКР» (фотоэлемент открыт).

10. Установите стрелку измерительного прибора на деление 100%, вращая ручку *21* механизма изменения ширины щели.

11. Установите в рабочее положение измеряемый дозиметр, перемещая каретку ручкой *40* в положение *2, 3* и *4* и снимите показания со шкалы измерительного прибора.

12. Определите по оптической плотности поглощенную дозу.

13. Закройте фотоэлемент, установив рукоятку *49* в положение «ЗАКР».

14. Откройте крышку кюветного отсека и достаньте дозиметры.

15. Для снятия показаний с другой партии дозиметров повторите пункты 1–6.

Примечания. 1. При выведении из потока излучения измеряемого образца и введении контрольного образца стрелка измерительного прибора должна вернуться на деление 100%. При необходимости подкорректируйте ноль измерительного прибора.

2. Перед каждым новым измерением, когда неизвестна величина выходного напряжения, следует устанавливать ширину щели 0,15 мм во избежание засвечивания фотоэлементов.

3. Снимать показания можно только при плотно закрытой крышке кюветного отделения. Открывать крышку можно при установленной в положение «ЗАКР» рукоятке переключения шторки.

Контрольные вопросы

1. Для каких целей используется технологическая дозиметрия?

2. Что такое радиобиологическая технология (РБТ)?

3. Какая техника используется для РБТ?

4. Какие основные требования предъявляются к установкам ионизирующих излучений?

5. Как изготавливают гамма-излучающие источники?

6. Как устроен электронный облучатель?

7. Где используются нейтронные облучатели?

8. В каких областях сельского хозяйства и промышленности наиболее широко используют ионизирующие излучения?

9. Что из себя представляют химические дозиметры?

10. Объясните принцип определения поглощенной дозы с помощью пленочных и индикаторных дозиметров.

Лабораторная работа № 9. ПОВЕРКА И ГРАДУИРОВКА ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Введение

Процесс преобразования тех или иных параметров ионизирующих излучений происходит в блоке детектирования, измерительные характеристики которого определяют точность измерения всего прибора. На стабильность питающих напряжений и другие параметры радиоэлектронной схемы влияют: старение радиокомпонентов схемы, температура окружающей среды, влажность воздуха, механические нагрузки, электромагнитные поля, ионизирующие излучения.

Наибольшей температурной нестабильностью обладают сцинтилляционные счетчики, что определяет световыход, коэффициент усиления ФЭУ и дает погрешность около 1% на 1^{o} С. У газонаполненных детекторов увеличивается начало счета и наклон плато, уменьшается длина плато, увеличивается уровень шумов. Воздействие влаги приводит к коррозии материалов прибора, появлению токов утечки изоляции в схеме, поверхностных пробоев, что резко изменяет параметры прибора. Для защиты от электромагнитного излучения детекторы экранируют специальными материалами. Воздействие мешающего излучения может внести значительную погрешность в результаты измерений основного излучения. По отношению к воздействию механических нагрузок детекторы ионизирующих излучений обладают относительно низкой устойчивостью. Виброустойчивостъ обычно не превышает 3 – 10g. Радиоактивное загрязнение детекторных блоков приводит к увеличению показаний приборов. Для этого дозиметрические приборы в процессе эксплуатации периодически поверяют, а с отклонением показаний выше паспортных данных приборы градуируют.

Основные требования при поверке приборов и градуировке приборов

Поверку приборов должны проводить государственные или ведомственные поверители. Если прибор выдержал поверку и признан годным, то об этом делают запись в техническом формуляре или выписывают свидетельство о поверке. В свидетельстве указывают срок оче-

редной поверки. Приборы, не соответствующие требованиям технической документации, к использованию не допускаются.

При опробовании прибора проверяют в соответствии с инструкцией по эксплуатации действие органов управления, установку указателя на нуль, отсутствие ржавчины, загрязнений, повреждений стекла шкалы и стрелок, работоспособность источников питания и т.п.

Меры безопасности при поверке приборов должны соответствовать требованиям НРБ–2000.

Погрешность дозиметрического прибора определяют одним из следующих методов:

1) прямого измерения поверяемым дозиметрическим прибором мощности экспозиционной дозы или экспозиционной дозы, создаваемой образцовыми источниками, применяемыми в типовых коллиматорах или поверочных дозиметрических установках;

2) непосредственного сличения поверяемого прибора с образцовым дозиметрическим прибором;

3) подобия радиационных полей.

Использование закона обратных квадратов позволяет существенно сократить количество образцовых источников, необходимых для проведения поверки дозиметрических приборов.

Обычную поверку рекомендуется проводить в трех точках каждого поддиапазона примерно 0,3; 0,5; 0,8 номинального значения каждого поддиапазона.

Поверка и градуировка переносных дозиметрических приборов

Для проверки правильности показаний дозиметров необходимо периодически проводить их поверку (от одного раза в месяц до одного раза в год) в зависимости от характера радиационного контроля. Каждый месяц правильность показаний дозиметров надо проверять с помощью контрольного дозиметра. Для поверки и градуировки дозиметров необходимо иметь набор образцовых излучателей Co-60, Cs-137 или Ra-226 активностью порядка 1, 10, 100 и 1000 мКи. В паспорте образцового излучателя указывается обычно его активность и мощность дозы гамма-излучения (мР/ч), создаваемая на расстоянии 1 м от излучателя.

Радиевые препараты должны быть заключены в платиновый фильтр толщиной 0,5 мм. Препараты Co-60 должны находиться в алюминиевых чехлах с толщиной стенки от 0,3 мм до 1,0 мм. Для препаратов Co-60 необходимо каждые два месяца вводить поправку на изменение активности за счет распада.

По прошествии t месяцев активность препарата A_t будет равна:

$$A_t = A_0 \cdot e^{-\frac{0{,}693t}{T_{1/2}}},$$

где A_0 – активность, указанная в паспорте;

$T_{1/2}$ – период полураспада (для Co-60 $T_{1/2}$ = 5,25 года).

При поверке или градуировке дозиметров образцовый излучатель следует помещать на расстоянии, которое не менее чем в пять раз превышает максимальный линейный размер ионизационной камеры или детектора переносного дозиметра. В этом случае доза, создаваемая источником в месте расположения детектора дозиметра, за время t (ч) будет равна:

$$D = \frac{8,4 \cdot M \cdot t}{R^2}, P,$$

где 8,4 – мощность дозы $(\frac{р}{ч})$, создаваемая точечным γ - источником в 1 мг-экв. радия на расстоянии 1 см;

M – гамма-эквивалент препарата, мг-экв. радия;

R – расстояние от источника излучения до геометрического центра ионизационной камеры или счетчика, см.

Мощность дозы P определяется по формуле

$$P = \frac{8,4 \cdot M \cdot 10^3}{10^4 \cdot R^2} = 8,4 \cdot 10^{-1} \frac{M}{R^2}, \text{мР/ч},$$

если R выражать в метрах, и

$$P = \frac{8,4 \cdot M \cdot 10^6}{3600 \cdot R^2} = 2,33 \cdot 10^3 \frac{M}{R^2}, \text{мкР/с},$$

если R выражать в сантиметрах.

Если активность источника A выражена в милликюри, то мощность дозы P рассчитывается по формуле

$$P = \frac{K\gamma \cdot A}{R^2}, \text{Р/ч},$$

если R выражать в метрах, или

$$P = 10^{-1} \frac{K\gamma \cdot A}{R^2}, \text{мР/ч}$$

и

$$P = 4,28 \cdot 10^{-2} \frac{K\gamma \cdot A}{R^2}, \text{мкР/ч},$$

если R выражать сантиметрах,

где K_γ – постоянная источника, Р/ч.

Для перехода от активности источника, выраженной в милликюри, к единицам мг-экв. радия, можно пользоваться следующими формулами:

$$M = \frac{K\gamma}{8{,}4} A; \qquad A = \frac{8{,}4}{K\gamma} M,$$

где М – гамма-эквивалент препарата, мг-экв. радия;

А – активность, мкКи;

K_γ – гамма-постоянная данного источника.

Методика градировки и поверки гамма-дозиметров по образцовым гамма-излучателям основана на применении коллимированного пучка гамма-лучей. Это сводит к минимуму влияние рассеянного излучения от пола, потолка и стен помещения и обеспечивает лучшие условия для защиты персонала. Для обеспечения единства воспроизведения доз при градуировке и поверке следует использовать типовой узел коллимации (рис.24).

К узлу коллимации предъявляются требования, приведенные ниже.

1. Диаметр цилиндрического канала коллиматора должен быть равен 30 ± 2 мм.

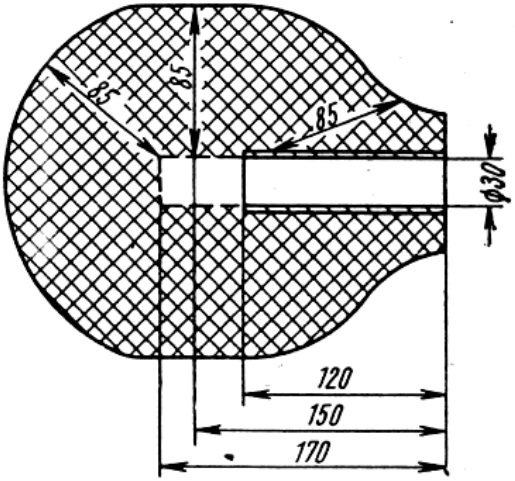


Рис. 24. Типовой узел коллимации.

2. Длина цилиндрического канала – 120–170 мм.

3. Расстояние от центра источника до выходного отверстия коллиматора – 150 мм.

4. Канал коллиматора выполняется в виде латунной трубки со стенками толщиной 1 мм, окруженной свинцом.

5. Толщина свинца, окружающего источник, должна обеспечивать ослабление дозы γ-излучения до предельно допустимой, но не менее чем в 100 раз на расстоянии 0,5 м от источника по всем направлениям, лежащим вне границ коллимированного пучка.

6. Канал коллиматора закрывается свинцовой заглушкой, толщина которой должна обеспечивать такое же снижение дозы излучения, как в пункте 5. Конструкция заглушки должна быть такой, чтобы можно было быстро открывать и закрывать канал коллимации, не подвергая облучению обслуживающий персонал.

7. Устройство для смены излучателей и их фиксации в заданном положении не должно иметь тяжелых конструктивных деталей в пределах цилиндрической полости, ограниченной каналом коллиматора до длины 170 мм.

8. В связи с тем, что в дальнейшем может возникнуть необходимость применения коллиматоров с различными диаметрами канала, рекомендуется предусмотреть в конструкции узла коллимации цилиндрическую полость диаметром 90 и длиной 120 мм. В эту полость, выполненную в виде латунного стакана (рис. 25), смогут помещаться сменные коллиматоры, в том числе и коллиматор с цилиндрическим каналом диаметром 30 мм.

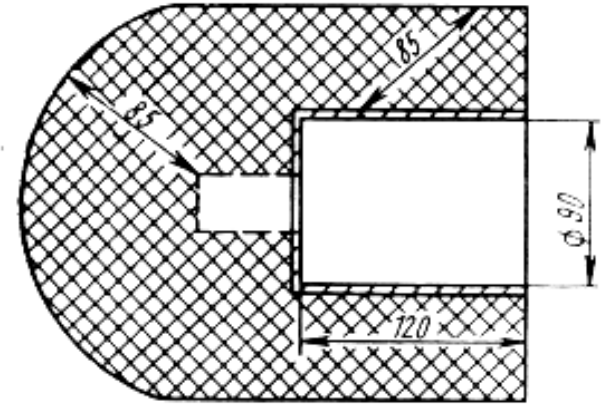


Рис. 25. Узел коллимации с латунным стаканом для размещения сменных коллиматоров.

На рис. 26 показан узел коллимации, в котором смена излучателей производится через канал *1*. Ось этого канала является продолжением оси канала коллиматора *2*. Источник излучения *3* крепится на установленной пробке *4*, обеспечивающей строгую фиксацию центра источника *5*.

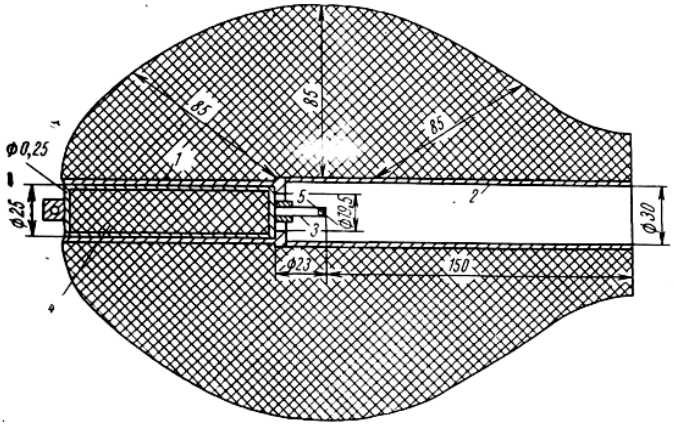


Рис. 26. Узел коллимации с устройством для смены излучателей.

На рис. 27 дан эскиз варианта узла коллимации со стаканом для сменных коллиматоров.

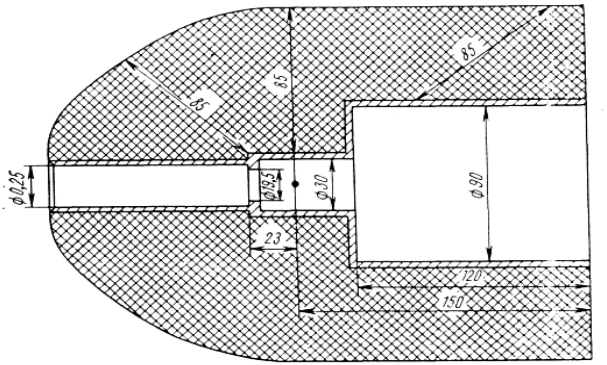


Рис. 27. Вариант узла коллимации со стаканом для сменных коллиматоров.

На рис. 24–27 показаны минимальные толщины свинцовой защиты, обеспечивающей ослабление излучения Со-60 в 100 раз (85 мм). Однако толщина свинца, окружающего источник, должна быть в случае необходимости увеличена (без изменения размеров канала коллиматора), чтобы обеспечить снижение дозы излучения до предельно до-

пустимой на расстоянии 0,5 м от источника. Для предохранения персонала от облучения при градуировке и поверке дозиметров целесообразно смонтировать простую установку, позволяющую быстро устанавливать камеру или дозиметр на заданном расстоянии от источника излучения.

На рис. 28 приведена конструкция одного из вариантов такой установки.

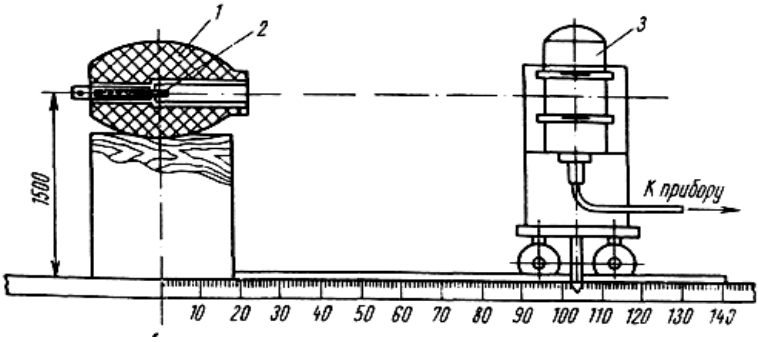


Рис. 28. Схема установки для градуировки дозиметра.

На полу укладываются рельсы, по которым передвигается тележка с ионизационной камерой или дозиметром, если камера смонтирована вместе с измерительным блоком. Камеру желательно укладывать на алюминиевый или плексигласовый каркас, чтобы она находилась в воздухе на расстоянии 1,5 м от поверхности пола. На одном конце рельсов размещается типовой узел коллимации *1* с образцовым излучателем *2*. Центр ионизационной камеры *3* при ее движении и центр препарата должны лежать на одной горизонтальной прямой. Тележка с камерой может перемещаться и фиксироваться на любом расстоянии от источника, которое отсчитывается по линейке, уложенной на столе. В зависимости от удобства камеру можно крепить неподвижно, а перемещать тележку с препаратом. Следует иметь ввиду, что при градуировке датчик дозиметра должен полностью находиться в поле облучения.

Чтобы исключить действие рассеянного излучения, расстояние от оси пучка γ-лучей до стен, пола и потолка помещения, в котором производится градуировка дозиметров, должно быть не менее 1,5 м.

Измерительный блок дозиметра или камеры следует размещать как можно дальше от препарата и желательно за защитой. Перед проведением градуировки или поверки необходимо проверить, какая мощность дозы создается в месте расположения измерительного пульта дозиметра. Порядок работы должен быть следующий: вначале уста-

навливают тележку с детектором на заданном расстоянии от источника, затем открывают заглушку контейнера и записывают показания дозиметра.

Перед измерениями необходимо проверить, с какого расстояния начинает выполняться закон обратных квадратов, т.е. мощность дозы, создаваемая источником, уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния. Для этого детектор устанавливают на расстоянии 70–100 см от источника и записывают показания прибора. Затем увеличивают расстояние в 2, 3 и 4 раза. Если показания прибора уменьшаются в 4, 9 и 16 раз, то следовательно, начиная, например, с 20 см, можно пользоваться указанными выше формулами для расчета дозы. Если же, начиная с R = 70 см, не выполняется закон обратных квадратов, то необходимо увеличить расстояние и снова произвести аналогичную проверку.

Расстояние между центром датчика и центром источника должно устанавливаться с точностью не менее 0,2%.

Установка для поверки дозиметров УПГДП-1

Установка УПГДП-1 является мобильной поверочной установкой для использования в составе передвижных поверочных лабораторий (рис. 29).

В установке используется источник цезия-137 типа ИГИЦ-3-8 активностью $6 \cdot 10^8$ Бк, помещенный в специальный защитный контейнер, конструкция и правила эксплуатации которого исключают несанкционированное извлечение источника, а также обеспечивают возможность дистанционного контроля наличия источника по целостности пломбы.

Рис.29.Установка УПГДП-1.

Градуировка дозиметрических приборов

После того как установлено минимальное расстояние $R_{мин.}$, с которого начинает выполняться закон обратных квадратов, детектор прибора помещают на таком расстоянии от источника, чтобы стрелка прибора отклонялась до последнего деления шкалы измерительного прибора. Это расстояние не должно быть меньше $R_{мин}$.

Рассчитав мощность дозы, которая создается источником на данном расстоянии, можно определить цену деления прибора. Например,

для источников М = 20 мг-экв. радия стрелка прибора отклонилась на все 100 делений при R = 100 см. Следовательно, 100 делениям шкалы соответствует мощность дозы

$$P = 2{,}33 \cdot 10^3 \frac{M}{R^2} = 2{,}33 \cdot 10^3 \frac{20}{10^4} = 4{,}66 \text{ м}$$

$$\text{или} \quad P = 8{,}4 \cdot 10^{-1} \frac{M}{R^2} = 8{,}4 \cdot 10^{-1} \frac{20}{1} = 16{,}8 \text{ мР/ч},$$

т.е. цена деления шкалы равна $\frac{4{,}66}{100} = 0{,}0466$ мкР/с

$$\text{или } \frac{16{,}8}{100} = 0{,}168 \text{ мР/ч}.$$

Затем, увеличивая расстояния с интервалом в 20–30 см, снимают показания прибора и аналогичным образом рассчитывают цену деления шкалы. Расстояние надо выбирать таким образом, чтобы определить цену деления различных участков шкалы (3 – 4 точки). Если линейность шкалы не нарушается, из всех измерений берется среднее значение, которое заносится в градуировочный журнал (табл. 20).

Т а б л и ц а 20. **Форма записи в градуировочном журнале**

Тип прибора и заводской номер	Активность источника, мкКи (мг-экв. радия)						
	мкР/с или мР/ч						
	Цена деления						

Для удобства желательно, чтобы одно деление шкалы имело одинаковую цену деления, которая приводится в паспорте прибора. Если показания прибора не совпадают с расчетным значением дозы, то вращением подстроенных резисторов электронной схемы добиваются точного совпадения показаний прибора с расчетной величиной дозы в данной точке. Обычно проводится градуировка только на одном диапазоне, а затем проверяется соотношение показаний на разных диапазонах. Для этого источник размещают на таком расстоянии, чтобы стрелка прибора установилась на максимальном делении шкалы. После этого переключают дозиметр на второй диапазон. При правильном соотношении шкал показания дозиметра на первом и втором диапазонах совпадают. Аналогичным образом проверяют соотношение шкал на втором и третьем диапазонах и т.д.

После проведения градуировки к детектору вплотную подносится

контрольный источник Ra и записываются показания прибора на различных шкалах. Эти данные служат для ежедневной проверки дозиметра перед началом измерений. У некоторых дозиметров сделан специальный "карман" для размещения контрольного источника. Если кармана нет, то на детекторе делается метка, куда надо помещать контрольный источник при поверке прибора.

Градуировка индивидуальных дозиметров

В процессе работы с дозиметрами типа ДК-0,2, ИЛК и другими может возникнуть необходимость в проверке точности их показаний. Такая проверка осуществляется путем облучения группы дозиметров контрольными источниками γ-излучения. Для этого определяется мощность дозы от этого источника излучения на данном расстоянии R по формуле

$$P = \frac{8{,}4 \cdot m}{60R^2}\ \text{, Р/мин}$$

$$\text{или}\quad P = \frac{0{,}14 \cdot m}{R^2}\text{, Р/мин,}$$

где m – гамма-эквивалент препарата, мг-экв.;

Ra – 8,4 – ионизационная постоянная радия;

R – расстояние до источника, см.

По формуле $t = \frac{D}{P}$ определяется время, необходимое для получения нужной контрольной дозы. Затем на расстоянии R от источника γ-излучения располагается датчик, подвергающийся поверке. Далее производят облучение датчика дозиметра в течение времени t. Время измерения определяется по секундомеру, начиная с момента установки источника излучения. Оно должно быть достаточно большим для того, чтобы уменьшить относительную ошибку измерения дозы за счет внесения и удаления источника излучения. Обычно это время оказывается порядка нескольких минут. Максимальное расстояние между источниками и детектором дозиметра должно быть, по крайней мере, в 5 раз больше их размеров.

После облучения детектора дозиметра измеряется полученная доза и сравнивается с расчетной величиной. В случае необходимости вводятся поправочные коэффициенты.

З а д а н и е. Поверка переносного дозиметра методом сличения с эталонным.

Цель задания. Провести поверку дозиметра ДРГ-01Т (МКС–АТ6130).

Порядок выполнение задания. 1. Проверьте исправность всех ручек

(или кнопок) управления, целостность цифровой шкалы, исправность источника питания, отсутствие загрязнений на поверхности прибора.

2. Установите на стенд радиоактивный источник с коллиматором на нулевое деление линейки.

3. Определите минимальное расстояние, на котором начинает выполняться закон обратных квадратов. Для этого установите дозиметр на расстоянии от коллиматора, равном 40, 60, 80 и 100 см, запишите показания прибора в этих точках и рассчитайте $R_{мин}$.

4. Поместите поверенный дозиметр в точку с $R_{мин}$ и запишите показание.

5. Поместите в эту же точку поверяемый дозиметр и сравните показания. Если они не отличаются больше, чем указанные в паспорте, то дозиметр исправен.

6. При расхождениях показаний дозиметра больше указанных в паспорте, необходимо произвести градуировку прибора по приведенной выше методике, а при невозможности исключить его обращение.

7. Запишите данные поверки в журнал с указанием даты следующей поверки и погрешности дозиметра в процентах.

Контрольные вопросы

1. Какие основные факторы влияют на точность показаний дозиметров?
2. Поясните принцип закона обратных квадратов.
3. Какие вы знаете основные методы поверки дозиметров?
4. Поясните принцип работы установки для поверки дозиметров.
5. Какие службы имеют право на поверку дозиметров?
6. Что включает в себя поверка дозиметрических приборов?
7. Что включает в себя градуировка дозиметрических приборов?
8. Что означает метод прямого измерения?
9. Что означает метод подобия?
10. Что означает метод подобия полей?
11. Поясните устройство узла коллимации.
12. Как проводится поверка индивидуальных дозиметров?

Лабораторная работа №10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИННОЙ ДОЗЫ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Введение

Лучевая диагностика за последнее столетие претерпела бурное развитие, трансформацию методик и аппаратуры. Родоначальник лучевой терапии – рентгеновский метод – появился после открытия в 1895 году рентгеновского излучения. Гамма-терапия, кюри-терапия, совокупности методов лучевой терапии широко используются в основном для

лечения больных со злокачественными опухолями.

Роль теоретических и экспериментальных исследований в онкорадиологии становится в последние годы все более ощутимой. Достижения в области ядерной физики и радиационной техники, успехи в области радиобиологии и онкологии, разработка высокоэффективных и радиационно безопасных технологий облучения, внедрение автоматизации в планирование программ облучения – все это превратило лучевую терапию в мощное средство лечения злокачественных новообразований.

Поглощенная доза ионизирующих излучений в воздухе достаточно просто устанавливается с помощью дозиметрических приборов, что нельзя сделать при определении доз, поглощенных в биологических тканях. Для определения дозы облучения в тканях человеческого организма пользуются измерениями дозы в различных тканеэквивалентных веществах – фантомах, в которые помещается детектор дозиметрического прибора.

Методика определения глубинной дозы

В условиях биологического эксперимента и медицинской практики важно знать истинную величину поглощенной энергии излучения на поверхности или в глубине облучаемого объекта, которая собственно и определяет степень биологического поражения. Эти значения дозы не будут совпадать с экспериментальной дозой излучения, измеренной в воздухе. Такое неравенство в значении дозы обусловлено поглощением средой первичного потока излучения, а также рассеянным излучением, попадающим на облучаемый объем из соседних областей среды (рис. 30).

Доза излучения ($D_{гл}$), измеренная в некотором объеме в глубине облучаемой среды,

$$D_{гл} = D + D_{расс}, \qquad (1)$$

где D – доза излучения, создаваемая в данном объеме узким пучком излучения, т. е. без учета рассеяния; $D_{расс}$ – доза, создаваемая рассеянным излучением, попавшим в этот объем от других частей объекта. Если облучаемый объем «А» находится на глубине d (см) от поверхности объекта (рис. 30), то

$$D = D'_0 e^{-\mu d}, \qquad (2)$$

где D'_0 – доза излучения, измеренная в воздухе в точке А (рис.31) в отсутствие облучаемого объекта; μ – линейный коэффициент ослабления узкого пучка излучения в облучаемой среде. Соответственно глубинная доза

$$D_{гл} = D'_0 e^{-\mu d} + D_{расс}. \quad (3)$$

Доза, создаваемая рассеянным излучением $D_{расс,}$ зависит от энергии падающего излучения, поля излучения, расстояния от источника и атомного номера облучаемой среды.

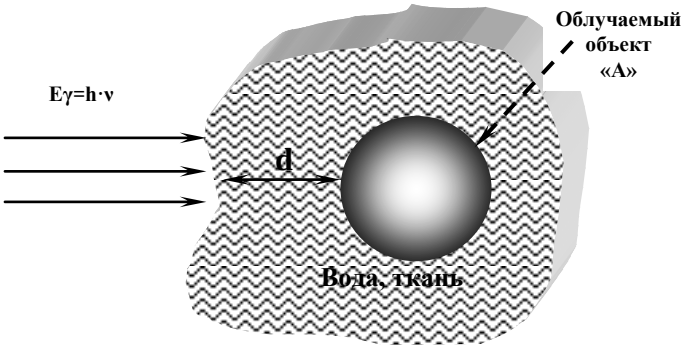


Рис.30. Облучение объема в глубине объекта.

Доза рассеянного излучения растет с увеличением поля облучения, так как увеличивается облучаемый объем, а следовательно, растет суммарное количество рассеянного излучения. Расчеты глубинной дозы сопряжены с большими математическими трудностями. Они выполнены частично для монохроматического излучения и лишь только вдоль оси пучка. Ввиду этого значения глубинных доз для излучений различного спектрального состава и различных полей облучения определяются экспериментально путем измерения дозы в модели (фантоме).

Фантом не является аналогом человеческого тела или какого-нибудь биологического объекта, однако с достаточной степенью точности можно считать, что доза, определенная в каком-либо месте фантома, будет соответствовать дозе излучения, создаваемой в подобном же месте облучаемого биологического объекта.

На основании фантомных измерений составляются таблицы глубинных доз для излучений различного спектрального состава при различных полях облучения и фокусного расстояния.

В таблицах обычно дается относительное значение глубинной дозы $D_{гл}/D_0$, где D_0 – доза излучения, создаваемая источником в воздухе в том же месте, где будет находиться поверхность облучаемого объекта; $D_{гл}$ – доза излучения на глубине d облучаемой среды (глубинная доза)(см. рис.19). Во многих случаях значение глубинных доз выражается в процентах. Экспериментальные данные о распределении иони-

зации в различных участках облучаемого объекта важны для расчетов экспозиций при гамма-терапии. Это дает возможность определить истинную дозу излучения внутри облучаемой среды, особенно при глубокофокусной гамма-терапии на глубине 8–10 см от поверхности тела человека. В качестве источника излучения обычно используется Co-60 (установка ГУТ-Co-400).

Экспериментальное определение глубинной дозы

Тканеэквивалентными называются вещества, поглощение излучений в которых такое же, как и в данной ткани (близкие порядковые номера, $Z_{тк} \sim Z_{вещ}$). В качестве фантома, заменяющего биологическую ткань, часто используется вода (в мягких тканях и клетках 90% воды).

На рис. 31 приведена схема размещения источника излучения А, экрана-диафрагмы Э для ограничения поля облучения фантома В (воды).

Обозначим дозу в точке S без фантома D. Очевидно, в присутствии фантома доза Ds в точке S будет большей, чем D вследствие наличия рассеянного излучения, приходящего в эту точку от различных точек фантома. Доза Ds зависит от энергии излучения, а также от площади облучения.

По величинам D и Ds определяются приведенные ниже параметры.

1. Коэффициент обратного рассеяния

$$K_{обр.р} = \frac{Ds}{D}, \qquad (4)$$

или процент обратного рассеяния

$$K_{обр.р} = \frac{Ds - D}{D} \cdot 100\%. \qquad (5)$$

2. Процентная глубинная доза Dz для рентгеновского излучения невысокой энергии до 1 МэВ (относительная доза)

$$D_Z = \frac{Dd}{Ds}, \qquad (6)$$

где D_d – доза излучения внутри фантома или объема на глубине d от поверхности M либо в процентах

$$D_Z = \frac{Dd}{Ds} \cdot 100\%. \qquad (7)$$

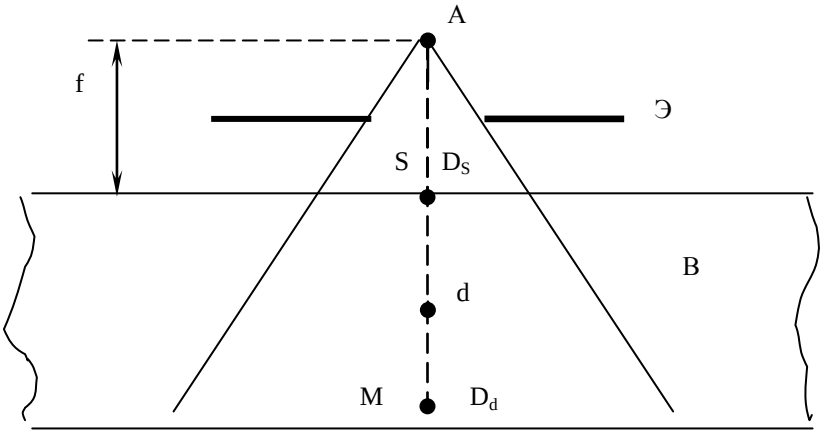


Рис.31. Схема опыта для определения поглощенной дозы в фантоме: f – расстояние от источника до поверхности фантома; точка S находится на поверхности фантома; точка M – в фантоме на глубине d.

В практических целях необходимо установить связь между мощностью дозы (дозой) и интенсивностью излучения. Пусть гамма-квант с начальной интенсивностью излучения L проходит через 1 $см^3$ воздуха. После прохождения гамма-квантами пути в 1см интенсивность излучения $I = I \cdot e^{-\mu}$, где μ – полный линейный коэффициент ослабления. Полный массовый коэффициент ослабления выражается через массовые коэффициенты поглощения за счет фотоэффекта τ_m, комптон-эффекта δ_m и образования пар $\lambda_m/\mu = \tau_m + \delta_m + \lambda_m$.

Изменение интенсивности характеризует мощность дозы облучения:

$$\Delta I = P = \frac{D}{t} = (I_0 - I_0 e^{-\mu}) \cdot \frac{\gamma}{\mu}, \qquad (8)$$

где γ – линейный коэффициент электронного преобразования. Так как линейный коэффициент ослабления для воздуха невелик, то $e^{-\mu}$ можно разложить в ряд и ограничиться двумя первыми членами: $e^{-\mu} = 1-\mu$, тогда формула (5) примет следующий вид:

$$P = I_0\gamma, \frac{эрг}{см^3 \cdot с}, \text{ или } D = I_0\gamma \cdot t, \frac{эрг}{см^3 \cdot с}, \qquad (9)$$

так как 1р=0,114 эрг/см^3, то $P = I_0\gamma \cdot \frac{I_0\gamma}{0,114}$, Р/с. (10)

Используя выражение (2), можно определить дозу в любой среде с порядковым номером Z , если известна доза в воздухе. Пусть для воздуха $D_B = I \cdot t \cdot \gamma_B$, а для другой среды Z, помещенной на таком же расстоянии от источника, $D_z = I \cdot \gamma_z \cdot t$. В обоих случаях интенсивность и время облучения одни и те же, тогда

$$D_Z = \frac{\gamma_Z}{\gamma_B} D_B . \quad (11)$$

Распределение дозы по глубине биоткани

Рассмотрим, как изменяется поглощенная доза по глубине биологической ткани при облучении ее плоским мононаправленным источником гамма-излучения, нормально падающим на плоскую границу полубесконечной сферы – биоткани (рис.32).

Если биологическая ткань окружена нерассеивающей и непоглощающей средой, то на ее поверхности (d = 0) поглощенная доза формируется только вторичными заряженными частицами, образовавшимися в биоткани при распространении косвенно ионизирующего излучения и приходящими в точку детектирования на поверхности среды из заднего пространства (точка А). С увеличением глубины d к ним добавляются частицы, приходящие из переднего слоя среды между ее границей и точкой детектирования. Это приводит к возрастанию поглощенной дозы.

Следовательно, формирование поглощенной дозы обусловлено двумя противоположными процессами: накоплением вторичного излучения и ослаблением первичного излучения.

Обычно до некоторой глубины d_0 преобладает первый процесс, после глубины d_0 – второй. На глубине d_0 поглощения доза имеет максимальное значение (точка В).

Если в первичном излучении присутствуют также заряженные частицы, то поглощенная доза будет возрастать слабее (кривая ЕВС).

Для бета-излучения поглощенная доза с глубиной падает (кривая ЕВС). Степень воздействия излучения при облучении обычно принято характеризовать максимальным значением дозы облучения в теле человека.

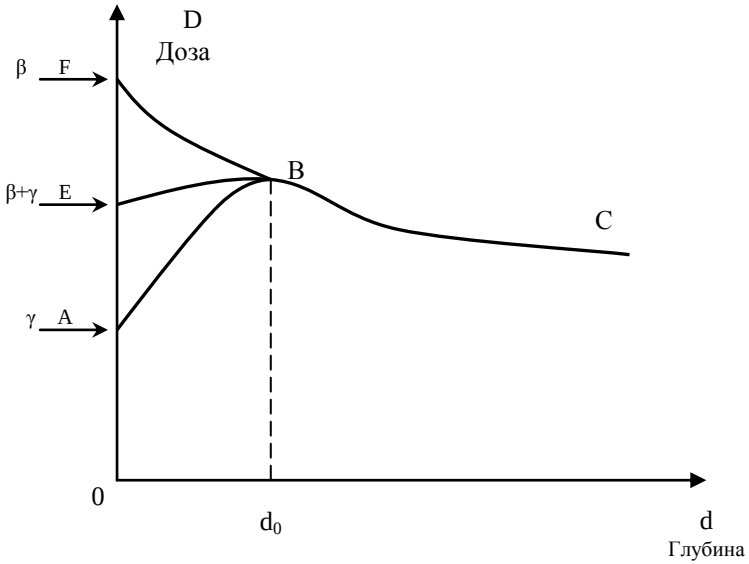


Рис.32. Распределение поглощенной дозы по глубине биоткани.

Использование этих значений доз исключает превышение допустимой дозы в любой точке тела человека.

Практическое использование глубинной дозы

Изодозные кривые в воде для гамма-лучей точечного источника Co-60 приведены в приложениях 5,6.

Приведенные кривые, характеризующие долю рассеянного излучения, позволяют определить истинную дозу излучения внутри облучаемой среды для различных фокусных расстояний без предварительных экспериментов. При глубокофокусной гамма-терапии очень важно создать как можно большую глубинную дозу на расстоянии 8–10 см от поверхности тела (облучение шейки матки, желудка и других внутренних органов). Естественно, что большая глубинная доза будет создаваться излучением больших энергий. Преимущество жесткого излучения состоит в том, что уменьшается переоблучение поверхностных тканей в силу того, что для излучения больших энергий доля обратного рассеяния меньше.

При облучении опухолей на глубине 8–10 см очаговая доза для Co-60 примерно на 23–25% больше, чем для рентгеновского излучения, а для Cs-137 и Ir-192 – соответственно на 13–15% и 7–8%.

Кроме того, обратное рассеяние для γ-лучей Co-60, Cs-137 и Ir-192 значительно меньше, чем для рентгеновского излучения, что приводит к меньшему переоблучению поверхностных тканей. Применение Co^{60} для гамма-терапии дает лучший лечебный эффект, при этом менее ярко выражены лучевые осложнения, чем при рентгенотерапии.

Вследствие меньшей дозы рассеянного излучения у Co-60 и Cs-137 по сравнению с рентгеновским излучением (200 кэВ) наблюдается более резкое снижение интенсивности излучения на краях пучка, что также приводит к меньшему переоблучению здоровых тканей, окружающих опухоль.

В настоящее время Co-60 широко используется для гамма-терапии. В России в течение ряда лет эксплуатируется гамма-терапевтическая установка ГУТ-Co-400, заряженная Co-60 с гамма-эквивалентом 400 г·экв. радия. Мощность дозы, создаваемая таким препаратом, составляет 60 Р/мин для фокусного расстояния F = 30см. В приложении 3 даются значения процентных глубинных доз для точечного источника Co-60 для фокусных расстояний 35 и 60 см, при которых проводят облучение на установке ГУТ-Co-400.

На основании фантомных измерений составляются таблицы глубинных доз для излучений различного спектрального состава при различных полях облучения и фокусных расстояниях.

На оси ординат отложено расстояние от поверхности фантома вдоль оси пучка, на оси абсцисс – расстояние m от оси пучка в перпендикулярном направлении. Указанная на кривых процентная глубинная доза отнесена к дозе, измеренной в воздухе в центре поля в месте расположения поверхности фантома.

В табл. 2 приведены значения процентных глубинных доз вдоль оси пучка для точечных источников Co-60 и Cs-137, измеренные при фокусных расстояниях 16,5 и 30 см. Пересчет на другие фокусы производится по формуле

$$P = P_d \frac{F_x^2 (F + d)^2}{F^2 (F_x + d)^2}, \qquad (12)$$

где P – искомая процентная глубинная доза на глубине d для фокусного расстояния F_x;

P_d – измеренная процентная глубинная доза для того же поля облучения на той же глубине d для фокусного расстояния F.

Таким образом можно определить истинную дозу излучения внутри облучаемой среды для различных фокусных расстояний без предварительных экспериментов.

Задание 1. Определение процентной глубинной дозы в воде.

Оборудование и приборы: 1) прибор СРП-68-01 или ионизационная камера; 2) штатив; 3) сосуд с водой; 4) источник ионизирующего излучения (коллиматор); 5) диафрагма (оргстекло, плексиглас).

На рис.33 приведена конструкция экспериментальной установки

для определения глубинных доз в водяном фантоме.

Порядок выполнения задания. 1. Поместите источник излучения на расстоянии f от поверхности воды в сосуде.

2. Измерьте мощность дозы в точке S и рассчитайте дозу в точке D_s за время t в присутствии фантома (воды).

3. Измерьте мощность дозы в точке S и рассчитайте дозу в этой точке за то же время без фантома.

4. Рассчитайте коэффициент обратного рассеяния и процент обратного рассеяния по формулам (1) и (2).

5. Измерьте мощность дозы в точке M фантома и глубже и рассчитайте процентную глубинную дозу в каждой точке по формулам (3) и (4).

6. Нанесите данные измерений на график, отложив по оси абсцисс глубины в сантиметрах, а по оси ординат – десятичный логарифм процентной глубинной позы.

7. Рассчитайте поглощенную дозу в воздухе и воде (ткани) по полученным результатам измерений на различной глубине.

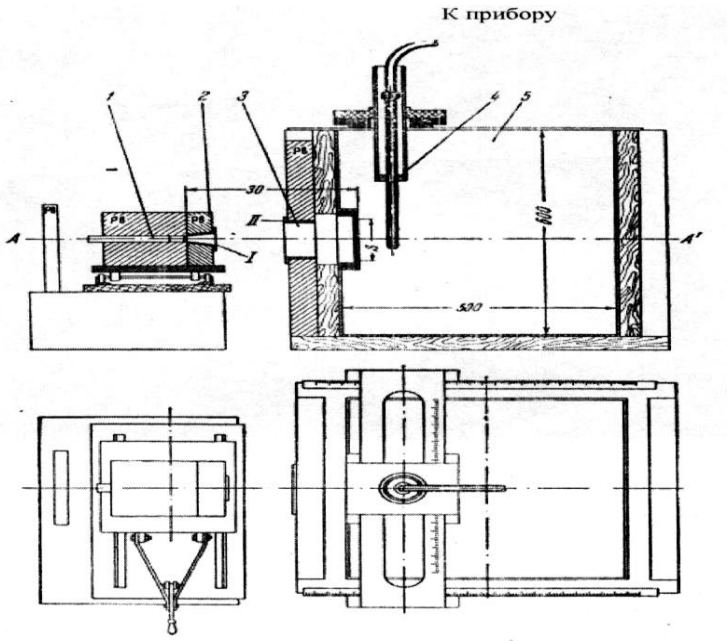


Рис. 33. Схема экспериментальной установки для измерения глубинных доз в водяном фантоме (размеры в мм): 1 – канал с источником излучения; 2 – свинцовая диафрагма; 3 – окошко для впуска пучка излучения в фантом, закрытое плексигласом; 4 – ионизационная камера; 5 –

фантом, I и II – армировка из алюминия и меди.

Задание 2. Определение глубинной дозы по таблицам и изодозным кривым.

Оборудование и приборы: 1) изодозные кривые (приложения 5,6); 2) таблицы глубинных доз гамма-излучения (приложения 7,8).

Порядок выполнения задания. 1. Рассчитайте процентную глубинную дозу на глубинах, предложенных преподавателем, по формуле (12).

2. Постройте изодозную кривую.

3. Определите тканевую дозу на рассчитанных глубинах в единицах их измерения, зная дозу на поверхности тела человека.

4. Постройте график относительного изменения глубинной дозы D/D_0 в воде вдоль центральной оси пучка гамма-лучей точечного источника, отложив по оси ординат D/D_0, а по оси абсцисс – d в сантиметрах.

Контрольные вопросы

1. Что такое фантом?
2. Что такое эквивалентность?
3. Поясните на рисунке облучение объема в глубине объекта.
4. На основании чего составляются таблицы глубинных доз?
5. В каких областях радиобиологии используется глубинная доза?
6. Приведите схему лабораторной установки для измерения глубинной дозы.
7. Как рассчитать коэффициент обратного рассеяния?
8. По какой формуле определяется доза в любой среде, если известна доза в воздухе?

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Периодичность измерения уровней загрязненности помещений и оборудования при некоторых видах работ

Периодичность измерений	Характер работ	Объект контроля	Цель контроля
1	2	3	4
Каждый раз до начала работ	Ремонт внутри герметизируемого оборудования (боксов)	Внутренние поверхности	Целесообразность дезактивации, выбор средств защиты
По окончании каждой работы	а) ремонт внутри герметизируемого оборудования (боксов)	Внутренние поверхности	Целесообразность дезактивации
	б) образование локальной загрязненности	Участок загрязнения	Та же
	в) образование загрязненности и последующий контактный	Все помещения	Та же

	разнос в процессе работы		

Окончание

1	2	3	4
Ежесменно (после окончания смены)	Интенсивная загрязненность на протяжении всей смены: а) на всей площади помещения;	а) пол соседних помещений;	Целесообразность дезактивации и эффективность санитарно-пропускного режима
	б) локально	б) пол рабочего и соседних помещений	
Ежедневно	Возможна локальная и общая загрязненность	Пол (иногда стены и оборудование)	Целесообразность дезактивации
Еженедельно	Загрязненность бывает редко, но возможна из-за неучтенных причин	Пол	Целесообразность дезактивации'
Ежемесячно	Загрязненность возможна из-за неучтенных нарушений или недостаточной эффективности санитарно-пропускного режима	Пол «чистых» помещений, территория контролируемой зоны	Профилактика: эффективность санитарно-пропускного режима, оценка общей обстановки

Приложение 2

Допустимые уровни загрязнения поверхностей $ДЗ_А$, част/(см^2·мин)

Объект загрязнения	α-излучающие нуклиды*		β-излучающие нуклиды
Кожные покровы, полотенца, спецбелье, внутренняя поверхность лицевых частей средств индивидуальной защиты	1	1	100***
Основная спецодежда, внутренняя поверхность дополнительных средств индивидуальной защиты	5	20	800***
Наружные поверхности спецобуви и дополнительных средств индивидуальной защиты, используемых в помещениях: постоянного пребывания персонала	5	20	2000
периодического пребывания персонала	50	200	8000
Другие индивидуальные средства защиты: внутренняя поверхность наружная поверхность	 5 50	 20 200	 800 8000
Поверхность помещений постоянного пребывания персонала и находящегося в них оборудования	5	20	2000
Поверхности помещений периодического пребывания персонала и находящегося в них оборудования	50	200	8000

*Для поверхности рабочих помещений и оборудования, загрязненных α-излучающими радионуклидами, нормируется снимаемое (нефиксированное) загрязнение; для остальных поверхностей – суммарное (снимаемое и неснимаемое) загрязнение.

**К отдельным радионуклидам относятся α-излучающие нуклиды, допустимая концентрация которых в воздухе рабочих помещений $ДК_А < 1 \cdot 10^{-14}$ Ки/л.

***Для $^{90}Sr–^{90}Y$ допустимое загрязнение устанавливается в 5 раз меньшим.

Приложение 3

Допустимые уровни радиоактивного загрязнения поверхности транспортных средств, част/(см^2· мин)

Объект загрязнения	Вид загрязнения			
	Снимаемое (нефиксированное)		Неснимаемое (фиксированное)	
	α-излучающие нуклиды	β-излучающие нуклиды	α-излучающие нуклиды	β-излучающие нуклиды
Наружная поверхность охранной тары контейнера	Не допускается	Не допускается	Не регламентируется	200
Наружная поверхность вагона-контейнера	Не допускается	Не допускается	-//-	200
Внутренняя поверхность охранной тары контейнера	1	100	-//-	2000
Наружная поверхность охранной тары контейнера	1	100	-//-	2000

Приложение 4

Значения контрольных уровней радиоактивного загрязнения

Объекты	Мощность эквивалентной дозы, мкЗв/ч	Бета-загрязнение, част/см^2 · мин
1	2	3
Территории детских дошкольных, учебных, лечебно-профилактических учреждений	0,35	Не нормируется
Территории личных подворий	0,40	Не нормируется
Внутри помещений детских дошкольных, учебных, лечебно-профилактических учреждений, жилых домов	0,25	Не нормируется
На рабочих местах в производственных и служебных помещениях: - постоянного пребывания * - временного пребывания	 0,50 1,00	 Не нормируется Не нормируется
Территории объектов народного хозяйства и остальные открытые территории населенных пунктов	0,60	Не нормируется
Внутренние поверхности жилых помещений и находящееся в них личное имущество	Не нормируется	15
Внутренние поверхности сооружений детских дошкольных, учебных, лечебно-профилактических учреждений и наружные поверхности находящегося в		

них оборудования	Не нормируется	15

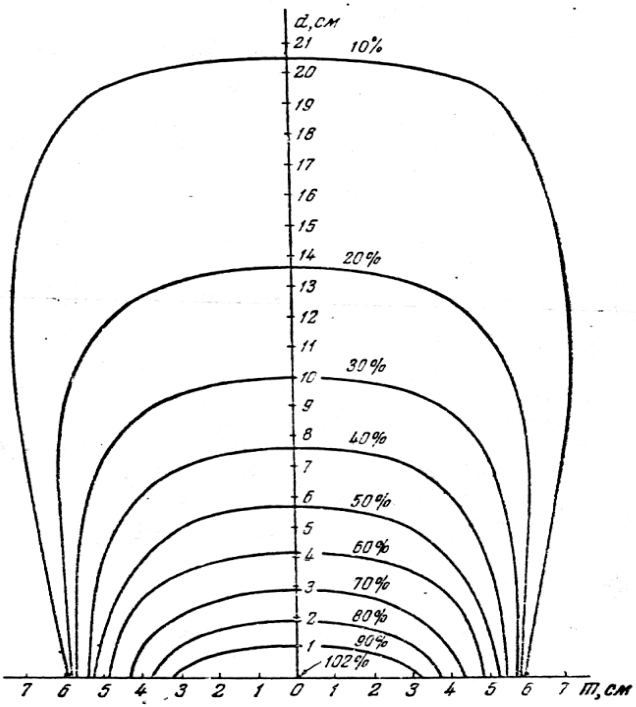
Окончание

1	2	3
Внутренние поверхности служебных, общественных, производственных помещений и наружные поверхности установленного в них оборудования	Не нормируется	20
Наружные поверхности строений	Не нормируется	20
Транспортные средства	Не нормируется	20
Кровля строений	Не нормируется	40

* Рабочее место постоянного пребывания – место пребывания работающих для выполнения производственных функций не менее 50% в течение рабочего времени. Отнесение рабочих мест к категориям постоянного или временного пребывания осуществляется администрацией организации.

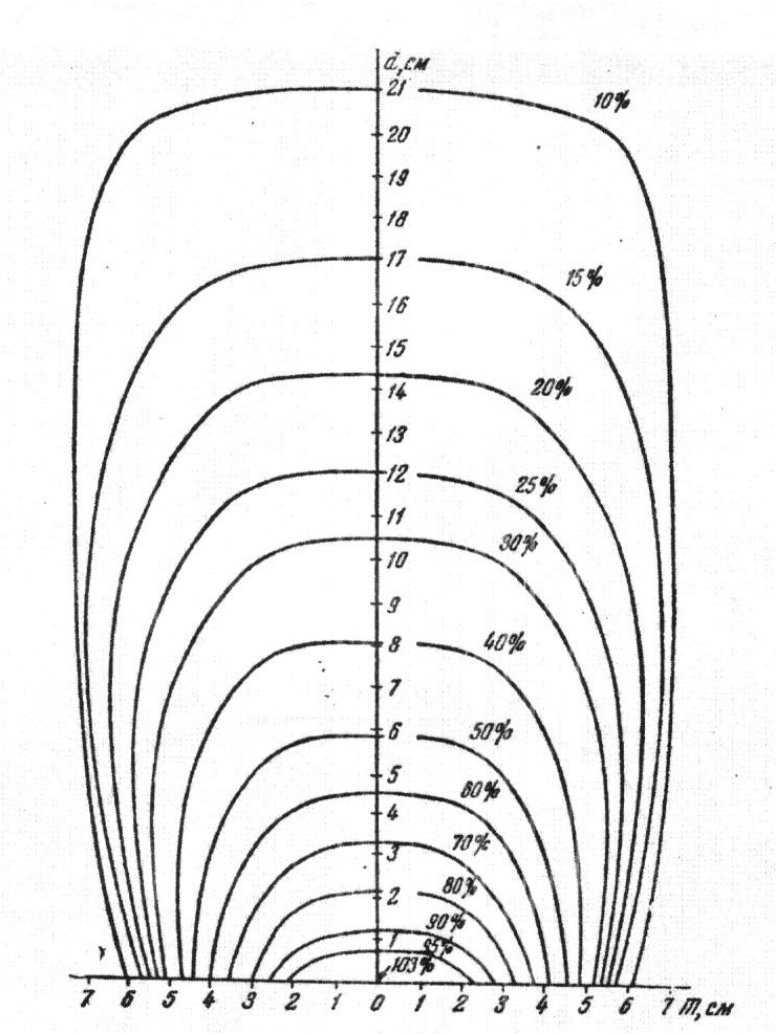
Приложение 5

Изодозные кривые в воде для γ-лучей точечного источника Co-60, поле круглое, s = 50см^2; F=16,5 см



Приложение 6

Изодозные кривые в воде для γ-лучей точечного источника Co^{60}, поле круглое, s = 100см^2; F=16,5 см



Приложение 7

Процентные глубинные дозы вдоль центральной оси пучка для точечного источника Co^{60} при различных полях облучения для фокусных расстояний F= 35 и 60 см

	Глубинная доза, %		
Расстоя-	S = 20 см^2	S = 50 см^2	S = 100 см^2

ние d, см	F = 35 см	F=60 см	F= 35 см	F=60 см	F=35 см	F=60 см
0	101	102	102	103	103	104
1	98	97	90	98	101	100
2	87,5	91,5	89	93	92	96
3	82	88,4	83	89,5	86	92,7
4	76,3	85,4	77,5	86,8	78,7	89,5
5	69,5	78	71,5	80,3	73,5	82,5
6	63,4	72,3	66,2	75,5	68,3	77,7
7	57,7	67,3	62	72	63,4	74
8	52	61,3	57	67,5	58,5	6,9
9	47,5	56,7	53	62,8	54,5	64
10	44	53	48	58	49,5	50
11	40	50	43,2	54	45,5	
12	37,6	46,7	41	50,7	42,5	52,8
13	34	43,6	36,6	46,8	39,2	50
14	31,5	40,7	34,1	44	35,8	46
15	28,6	37,6	31,3	41,2	34	44,7
16	25,5	33,8	29,1	38,6	31	41
17	23	31,6	26	36,5	28	38
18	21	28,6	24,8	33,8	25,6	3,51
19	19,5	27	23,4	32,4	23,4	32,4
20	—	—	19,8	27,5	—	—

Приложение 8

Процентные глубинные дозы в воде вдоль центральной оси пучка при различных полях облучения для точечных источников Co^{60} и Cs^{137}

Расстояние от поверхности фантома d, см	Глубинная доза, %					
	Co^{60} F=16,5 см			Cs^{137} F=30 см		
	S=20 см^2	S=50 см^2	S= 100 см^2	S =20 см^2	S=50 см^2	S =100 см^2
1	2	3	4	5	6	7
0	101	102	103	104	107	И3
1	89	90	92	95	100	105
2	77,5	79	81,5	86	92	95
3	69	70	72,5	77	83,5	87
4	61	62	64	68	75	78
5	53,5	55	56,5	61	67	71
6	47	49	50,5	54	61	64
7	41	44	45	48	54	57
8	35,5	39	40	42	48	51
9	31,5	35	35,5	37	43	46
10	28	30,5	31,5	33	37	41
11	25	27	28,5	29	34	36
12	22,5	24,5	25,5	26	30	33
13	20	21,5	23	23	27	29

Окончание

1	2	3	4	5	6	7
14	18	19,5	20,5	21	24	27
15	16	17,5	19	18	22	24
16	14	16	17	16	19	22

17	12,5	14,5	15	14	17	19
18	11	13	13,5	13	15	17
19	10	12	12	12	14	16
20	—	10	11	10	12	14

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексахин, Р.М. Основы сельскохозяйственной радиологии /Р.М. Алексахин, Минск: Ураджай, 1988.

2. Белов, А.Р. Радиобиология / А.Р. Белов. М.: Колос, 1999.

3. Голубев, Б.П. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений: учеб. пособие для вузов / Б.П. Голубев. 2-е изд. М.: Атомиздат, 1970.

4. Доклад 33 МКРЕ. Радиационные величины и единицы: пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1985.

5. Защитное оборудование: каталог. М.: Атомиздат, 1964.

6. Иванов, В.И. Курс дозиметрии: учебник для вузов / В.И. Иванов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Атомиздат, 1978.

7. Иванов, В.И. Сборник задач по дозиметрии и защите от ионизирующих излучений / В.И. Иванов, В.П. Машкович. М.: Атомиздат, 1973.

8. Кузин, А.М. Прикладная радиобиология / А.М. Кузин, Д.А. Каушанский. М.: Энергоатомиздат, 1981.

9. Кутьков, В.А. Основные положения и требования нормативных документов в практике обеспечения радиационной безопасности атомных станций / В.А. Кутьков [и др.]; под общ. ред. В.А. Кутькова и Б.А.Безрукова. М., 2002.

10. Машкович, В.П. Защита от ионизирующих излучений: справочник / В.П. Машкович. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1982.

11. Нормы радиационной безопасности (НРБ–2000). Минск: УП «Диэкос», 2001.

12. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности. Минск, РЦГЭ МЗ РБ, 2002.

13. Пристер, Б.С. Основы сельскохозяйственной радиологии / Б.С. Пристер. Минск: Ураджай, 1987.

14. Радиационная безопасность: рекомендации Международной комиссии по радиологической защите (1990 г). // Пределы годового поступления радионуклидов в организм работающих. М.:Энергоатомиздат, 1994.

15. Радиационная безопасность: рекомендации Международной комиссии по радиологической защите (1990 г). М.: Энергоатомиздат, 1994.

16. Радиационная защита: рекомендации МКРЗ. М.: Атомиздат, 1978.

17. Радиация. Дозы, эффект, риск. М.: Мир, 1990.

18. Саламатов, И.И. Применение мощных источников гамма-излучения в народном хозяйстве Белоруссии /И.И. Саламатов. Минск: Наука и техника, 1980.

19. Санитарные правила устройства и эксплуатации радиоизотопных приборов. М.: Атомиздат, 1980.

20. Чернуха, Г.А. Радиационная безопасность: учеб. пособие / Г.А.Чернуха, Н.В. Лазаревич, Т.В. Лаломова. Минск: ИВЦ Минфина, 2006.