

**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

РАДИОМЕТРИЯ И ДОЗИМЕТРИЯ. ЗАЩИТА ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
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
БГСХА
2011**

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

РАДИОМЕТРИЯ И ДОЗИМЕТРИЯ. ЗАЩИТА ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
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
БГСХА
2011

УДК 613.648:004.056.5
ББК 28.080.1
Б 90

*Рекомендовано научно-методическим советом БГСХА 27.04.2011г.
(протокол №8)
и методической комиссией агроэкологического факультета
28.03.2011г. (протокол №7)*

Авторы:
старший преподаватель *Ю.Н. Бушуев*;
ассистент *Ю.В. Азаренко*

Рецензенты:
заведующий лабораторией радиометрии и спектрометрии
Могилевского филиала РНИУП «Институт радиологии»,
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *А.В. Щур*;
заведующий кафедрой «Механика материалов и детали машин»
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», кандидат технических наук, доцент *В.Н. Основин*

Радиометрия и дозиметрия. Защита от ионизирующих из-
лучений: практикум / Ю.Н. Бушуев, Ю.В. Азаренко. – Горки:
Б90 БГСХА, 2011. – 88 с.: ил. – ISBN 978-985-47-67-349-3.

Приведены краткая теория и методические указания по выполнению лабораторных и практических работ по защите от ионизирующих излучений, контрольные задания и рекомендуемая литература.

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

Табл. 31. Ил. 38. Библиогр.19. Прил. 8.

УДК 613.648:004.056.5
ББК 28.080.1

ISBN 978-985-47-67-349-3

© БГСХА, 2011

ВВЕДЕНИЕ

Радиоактивностью в той или иной степени обладает все, что нас окружает, даже сам человек. Ионизирующие излучения присутствовали в космосе задолго до возникновения нашей планеты, и радиоактивные вещества входят в ее состав с момента возникновения. Радиоактивность можно считать естественной средой обитания человека, если она не превышает определенных уровней.

Развитие науки, особенно в области энергетики, космических и ядерных технологий способствует созданию новых, техногенных источников радиоактивного излучения, которые могут содержать радиоактивные вещества, полученные специально в ядерных реакторах или являющиеся побочными продуктами ядерных реакций. Искусственно получаемые радиоактивные изотопы воздействуют на живую ткань посредством испускаемых ими при распаде альфа-, бета- и гамма-лучей и нейтронов. Наибольшей проникающей способностью обладают гамма-лучи, представляющие собой поток фотонов, и нейтронное излучение. Рентгеновское излучение по своим физическим свойствам аналогично гамма-излучению, но отличается по способу генерации. Это электромагнитное излучение образуется в специальной вакуумной трубке при торможении (ударе о мишень) быстрых электронов.

Вопросы защиты от проникающей радиации приходится решать при проектировании любых медицинских учреждений: кабинетов рентгенографии, томографии, стоматологических кабинетов с наличием рентгеновского оборудования. Кроме того, ионизирующее излучение является частым спутником современных исследовательских и испытательных центров, производственных цехов, многих технологических процессов и лабораторий, а также источником дополнительного облучения населения в результате радиационных аварий.

В связи с этим создание безопасных условий работы с источниками ионизирующих излучений и радиоактивными веществами является основной задачей радиационной безопасности.

Радиационная безопасность – это комплекс научно обоснованных мероприятий по обеспечению защиты от воздействия ионизирующих излучений. Ее целью является предотвращение вредных нестохастических эффектов и ограничение вероятности возникновения стохастиче-

ских эффектов до уровней, считающихся приемлемыми. Разработка критериев для оценки опасности различных видов ионизирующих излучений является одной из основных задач радиационной безопасности.

Работа с любыми источниками ионизирующих излучений предполагает для работающего персонала и населения применение необходимых мер защиты от их воздействия.

Учеными разработаны мероприятия по защите от ионизирующих излучений, а также методы расчета и изготовления физических (биологических) защит от всех их видов.

1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ЗАЩИТЫ ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Радиационная защита – это система регламентации воздействия ионизирующих излучений, направленная на защиту населения и профессиональных работников, а также изыскание способов ослабления поражающего действия ионизирующих излучений.

Функциональными задачами системы радиационной безопасности являются:

1) снижение уровня облучения персонала и населения до регламентируемых пределов на основе комплекса проектных, технических, медико-санитарных и организационных мероприятий;

2) создание эффективной системы радиационного контроля, позволяющей оперативно регистрировать повышение уровня облучения персонала и загрязнения объектов окружающей среды, принимать меры по нормализации радиационной обстановки.

Радиационная защита включает в себя организационные, гигиенические, технические и лечебно-профилактические мероприятия и подразделяется на:

- профессиональную защиту от радиации (защита персонала);
- медицинскую защиту от радиации (защита пациентов);
- общественную защиту от радиации (защита населения).

Организационные мероприятия включают в себя:

- мероприятия по устройству помещения;
- мероприятия по очистке радиоактивного загрязнения;
- мероприятия по удалению радиоактивных отходов;
- мероприятия по использованию средств индивидуальной защиты.

К организационным мероприятиям относится, в первую очередь, обеспечение при работе в условиях повышенного уровня ионизирующих излучений режима труда, исключающего облучение персонала и населения выше допустимых пределов. Комплекс мероприятий, направленных на снижение уровня облучения, зависит от типа и назначения радиационной или атомно-энергетической установки, характера

технологического процесса по переработке или получению радиоактивных веществ. При работе с закрытыми радиоактивными источниками достаточно ограничиться созданием защиты только от внешних потоков излучения. В других случаях, например на радиохимических производствах, при переработке радиоактивных отходов необходимо предусмотреть меры по исключению распространения радиоактивных веществ в окружающую среду и попадания их в организм работающих. Весьма существенна оптимизация комплекса средств, направленных на решение обеих функциональных задач, поскольку при их недостаточности может быть нанесен ущерб здоровью персонала и населения, а их избыток приведет к нерациональным финансовым затратам.

Медико-санитарные (гигиенические) мероприятия включают установление санитарно-защитных зон, организацию принудительного санитарно-пропускного режима, установление перечня средств индивидуальной и групповой защиты, осуществление контроля за состоянием здоровья персонала с учетом характера радиационного воздействия.

К техническим мероприятиям относятся: создание передвижных или стационарных защитных ограждений, автоматизация и механизация технологических процессов, очистка воздуха от радиоактивных веществ на выбросе и т.д.

Основными способами защиты от ионизирующих излучений являются:

- защита расстоянием: увеличение расстояния между оператором и источником для исключения влияния излучения на состояние здоровья работника, а также применение дистанционного управления; использование манипуляторов и роботов, полная автоматизация технологического процесса;

- защита временем: сокращение продолжительности работы в поле ионизирующего излучения;

- защита экранированием (физическая защита),

- использование средств индивидуальной защиты;

- постоянный контроль за уровнем излучения и за дозами облучения персонала;

- химический метод (радиопротекторы);

- химические средства дезактивации оборудования и техники,

- защита от внутреннего облучения, заключающаяся в устранении непосредственного контакта работающих с радиоактивными веществами и предотвращении попадания их в воздух рабочей зоны;

- радиационная защита помещений с помощью магнезиально-баритовых строительных материалов.

Комплекс защитных мер при работе с открытыми источниками должен обеспечивать защиту людей не только от внешнего, но и от внутреннего облучения, предотвращать радиоактивное загрязнение воздуха и поверхностей рабочих помещений, кожных покровов и оде-

жды персонала, а также объектов внешней среды – воздуха, воды, почвы, растительности и др.

К числу основных профилактических мероприятий относится: правильный выбор планировки помещений, оборудования, отделки помещений, технологических режимов, рациональная организация рабочих мест и соблюдение мер личной гигиены работающими, рациональные системы вентиляции, средства защиты от внутреннего и внешнего облучений, сбор и удаление радиоактивных отходов.

В помещениях, где проводятся работы с радиоактивными веществами в открытом виде, должна быть установлена контрольная дозиметрическая аппаратура для измерения возможных загрязнений кожных покровов и одежды работников. Во время проведения работ с радиоактивными веществами эта аппаратура должна находиться в рабочем состоянии.

При работе с радиоактивными веществами в учреждении должно быть выделено помещение или место для хранения средств ликвидации радиоактивных загрязнений (защитной спецодежды, дезактивирующих растворов, инвентаря для уборки помещений др.).

При работе с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений необходимо руководствоваться нормами радиационной безопасности (НРБ–2000) и основными санитарными правилами (ОСП–2002), в которых приведены категории облучаемых лиц, дозовые пределы и мероприятия по защите от излучений. Эти документы регламентируют размещение помещений и установок, место работ, порядок получения, учета и хранения источников излучения, требования к вентиляции, пылегазоочистке, обезвреживанию радиоактивных отходов и другие.

Медицинская защита пациентов от радиации оговорена в главе 23 ОСП–2002.

Пункт 231. Радиационная безопасность пациентов и населения должна быть обеспечена при всех видах медицинского облучения (профилактического, диагностического, лечебного, исследовательского) путем достижения максимальной пользы от рентгенорадиологических процедур и всесторонней минимизации радиационного ущерба при безусловном превосходстве пользы для облучаемых над вредом.

Пункт 232. Медицинское облучение пациентов с целью получения диагностической информации или терапевтического эффекта проводится только по назначению врача и с согласия пациента. Окончательное решение о проведении соответствующей процедуры принимает врач-рентгенолог или врач-радиолог.

Пункт 233. Медицинское диагностическое облучение осуществляется по медицинским показаниям в тех случаях, когда или отсутствуют, или нельзя применить, или недостаточно информативны другие альтернативные методы диагностики.

Требования по обеспечению радиационной безопасности населения

распространяются на регулируемые природные источники излучения: изотопы радона и продукты их распада в воздухе помещений, гамма-излучение природных радионуклидов, содержащихся в строительных материалах и изделиях, природные радионуклиды в питьевой воде, удобрениях и полезных ископаемых – приведены в главе 25 ОСП–2002.

Пункт 258. Местные исполнительные и распорядительные органы обязаны планировать и проводить работы по оценке и снижению уровней облучения населения природными источниками излучения. Относительную степень радиационной безопасности населения характеризуют следующие значения эффективных доз от природных источников излучения:

менее 2 мЗв/год – облучение не превышает средних значений доз для населения страны от природных источников излучения;

от 2 до 5 мЗв/год – повышенное облучение;

более 5 мЗв/год – высокое облучение.

Мероприятия по снижению высоких уровней облучения должны осуществляться в первоочередном порядке.

Пункт 259. При выборе участков территорий под строительство жилых домов и зданий социально-бытового назначения предпочтительны участки с уровнем мощности дозы гамма-излучения, не превышающим 0,3 мкГр/ч и плотностью потока радона с поверхности грунта не более 80 мБк/(м² с). При отводе для строительства здания участка с плотностью потока радона более 80 мБк/(м² с) в проекте здания должна быть предусмотрена система защиты от радона (монокристаллическая бетонная подушка, улучшенная изоляция перекрытия подвального помещения и другие).

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Материалы, ограждающие людей от вредного воздействия гамма-излучения и нейтронного излучения, призваны снижать их уровень до допустимых значений. Эти материалы должны обладать высокой плотностью, поскольку именно от нее главным образом зависит длина пробега радиоактивных частиц в среде распространения.

Наиболее широко распространенными материалами физической защиты являются:

– от альфа-излучения – бумага, резиновые хирургические перчатки, одежда, респиратор;

– от бета-излучения – плексиглас, тонкий слой алюминия, стекло, текстолит, эбонит, одежда, противогаз;

– от гамма-излучения – тяжелые металлы (вольфрам, свинец, сталь, чугун, бетон и другие);

– от нейтронов – вода, полиэтилен, графит, парафин, полимеры, бетон.

При выборе материалов защиты определяющими факторами являются защитные и механические свойства материалов, их стоимость, масса и объем. Под защитными свойствами материалов понимают их замедляющую и поглощающую способность к активации под действием ионизирующих излучений (ИИ); под механическими – механическую прочность, способность сохранять размеры; под химическими – стойкость к ионизирующему излучению, химическим реагентам, огнестойкость, нетоксичность.

Для защиты от гамма-излучения наиболее распространенными материалами являются свинец, железо, бетон, железобетон, вода, свинцовое стекло, реже применяется обедненный уран, висмут, тантал и другие тяжелые вещества.

Для замедления быстрых нейтронов до тепловых применяют вещества с малым атомным номером Z . Наиболее эффективными материалами являются водородосодержащие вещества: вода, тяжелая вода, бетон, парафин, полиэтилен, различные пластмассы. После того как быстрые нейтроны замедлились, они могут быть поглощены. Для этой цели применяют материалы с большим сечением поглощения – бор и материалы с добавками бора: борные стали, бораль, борный графит, карбид бора, борированную воду и бетон. Поглощение нейтронов может сопровождаться захватным гамма-излучением, поэтому при выборе материала для поглощения тепловых нейтронов надо отдавать предпочтение таким, которые дают наименьшее захватное излучение.

Приведем краткую характеристику отдельных защитных материалов. Вода – наиболее распространенный и допустимый материал, который используется для замедления быстрых нейтронов и как защитный материал. На атомах водорода нейтроны эффективно замедляются и превращаются в тепловые. При поглощении тепловых нейтронов в воде возникает захватное гамма-излучение с энергией $E_{\gamma} = 2,23$ МэВ. Применение борированной воды резко снижает захватное гамма-излучение, так как в ней атомы бора легко поглощают тепловые нейтроны, а захватное гамма-излучение обладает меньшей энергией ($E_{\gamma} = 0,5$ МэВ).

Бетон является хорошим замедлителем и поглотителем быстрых нейтронов, интенсивно поглощает гамма-излучение. В его состав входят цемент, песок и гравий. Цемент состоит в основном из окислов различных элементов (Ca, Si, Al, Fe), содержит легкие элементы. Для получения бетона с наибольшей плотностью в него добавляют наполнители: лимонитовые, боритовые руды, железный скрап. Концентрация бетонной защиты может быть монолитной (для больших реакторов) и состоять из отдельных блоков. Как правило, бетон применяют в стационарных защитных устройствах.

Свинец является одним из наиболее распространенных материалов для защиты от гамма-излучения. Его используют в качестве защитного

материала при изготовлении контейнеров, блочных защитных экранов, коллиматоров и защитных устройств, когда необходима их компактность и малая масса. К недостаткам свинца как защитного материала следует отнести его малую механическую прочность и низкую температуру плавления ($t_{пл} = 327\text{ }^\circ\text{C}$).

Железо, сталь различных сортов являются основными материалами для изготовления корпусов реакторов, различных коммуникаций, арматуры для защиты из других материалов. Как защита от нейтронного излучения сталь более эффективна, чем свинец. К недостаткам железа следует отнести его способность активизироваться под действием тепловых нейтронов с образованием радионуклида Fe-59, излучающего гамма-кванты с энергиями 1,1 и 1,29 МэВ. При поглощении тепловых нейтронов образуется захватное гамма-излучение с энергией гамма-квантов 7,5 МэВ. Для снижения захватного излучения в сталь вводят добавки бора (борные стали). Для снижения наведенной гамма-активности при проектировании защиты используют сталь с наименьшим содержанием в ней марганца, тантала, кобальта и других примесей, способных легко активизироваться под действием тепловых нейтронов. Из стали изготавливаются боксы, укрытия, шкафы, контейнеры и другое оборудование для защиты от гамма-излучения.

Кадмий хорошо поглощает нейтроны с энергией меньше 0,5 МэВ, но при этом возникает захватное гамма-излучение с энергией гамма-квантов до 7,5 МэВ. Несмотря на то, что листовая кадмий толщиной 0,1 см снижает плотность потока тепловых нейтронов примерно в 109 раз, это делает его малопригодным для защиты от тепловых нейтронов. Кадмий не обладает достаточно хорошими механическими свойствами. Температура его плавления $t_{пл} = 32\text{ }^\circ\text{C}$, что также ограничивает применение. Чаще применяется сплав кадмия со свинцом, обладающий лучшими механическими свойствами и неплохими защитными свойствами от нейтронного и гамма-излучений.

Органические соединения – парафин, полиэтилен, пластмасса, фторопласты – содержат в своем составе большое количество водорода и поэтому хорошо замедляют быстрые нейтроны. Органические материалы легко обрабатываются механически. Защитные устройства из них можно отливать любой формы. В качестве защитных материалов органические материалы можно использовать в условиях сравнительно невысоких температур, так как при высоких температурах они размягчаются и изменяют свои размеры. Для полиэтилена температура размягчения составляет около $115\text{ }^\circ\text{C}$. Для уменьшения захватного гамма-излучения в органические материалы добавляют различные соединения бора (карбид бора, борную кислоту и т. п.).

Хорошей защитой от радиоактивных излучений являются экраны из тяжелых металлов, в частности свинца и свинцовых материалов, однако они являются достаточно вредными для здоровья человека.

Использование специальных радиационно-защитных бетонов и штукатурок в строительных конструкциях позволяет заменять обшивку свинцовыми листами.

Баритовые рентгенозащитные растворы применяют вместо рольного свинца для изоляции стен, потолков и полов рентгеновских кабинетов и других помещений с источниками излучения. Это тяжелые растворы плотностью свыше 2200 кг/м^3 . В качестве вяжущих употребляются портландцемент или шлакопортландцемент и специальные тяжелые заполнители – барит, железные руды (магнезит, лимонит и т. п.) в виде песка и пыли крупностью не более 1,25 мм. Барит включается в состав бетонных смесей (баритобетонов, баритовой штукатурки) в силу его способности поглощать рентгеновское излучение. При использовании баритобетонной штукатурки на портландцементе для обеспечения должной радиационной безопасности помещений требуется весьма значительная толщина радиационнозащитного слоя. К тому же баритовая штукатурка на цементном вяжущем основании в процессе эксплуатации осыпается, растрескивается и потому сама нуждается в дополнительном защитном покрытии толщиной 1–1,5 мм. Существенно снизить толщину поглощающего слоя и значительно улучшить его технологические и эксплуатационные характеристики позволяет использование магнезиально-баритовой штукатурки вместо баритобетонных составов.

Перспективным направлением в области решения задач по обеспечению радиационной безопасности населения является применение композиционных строительных материалов на основе магнезиальных бетонов с добавками шунгита и барита. Специалистами компании «АЛЬФАПОЛ» разработаны современные строительные материалы, эффективно защищающие от сверхнормативного воздействия ионизирующих излучений всех видов источников и сохраняющие при этом основные преимущества строительных материалов на основе магнезиального вяжущего, такие, как высокая прочность, повышенная адгезия к любым минеральным основаниям, беспыльность, трещиностойкость, безусадочность, высокая технологичность и др. Баритовые составы «АЛЬФАПОЛ ШТ - БАРИТ» и «АЛЬФАПОЛ М - БАРИТ» относятся к отделочным строительным материалам, предназначенным для защиты технических средств и человека в медицинских, производственных, научных, административных и жилых помещениях от воздействия ионизирующих излучений, изготовления контейнеров для хранения и транспортировки радиоактивных материалов и отходов, отвердения жидких радиоактивных отходов.

Сравнение толщины защиты «АЛЬФАПОЛ ШТ-БАРИТ», «АЛЬФАПОЛ М-БАРИТ» и штукатурки на портландцементе показывает, что рекомендуемая толщина слоя магнезиально-баритовых штукатурок

рок примерно в два раза меньше, чем цементно-баритовых. Это дает существенный выигрыш в стоимости, сроках проведения работ и весе строительной конструкции в целом. На указанные материалы имеется санитарно-эпидемиологическое заключение для применения их в качестве защитного материала от гамма-излучений.

3. ХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД ЗАЩИТЫ

В Республике Беларусь проблема биологического действия ионизирующей радиации, особенно малых доз, и защита от нее продолжает, по-прежнему, оставаться одной из фундаментальных проблем в комплексе медико-биологических наук. И в настоящее время эта проблема чрезвычайно актуальна в связи с катастрофой на Чернобыльской АЭС, признанной самой значительной по своему техногенному воздействию катастрофой в мире, следствием которой явилось загрязнение значительных территорий нескольких государств.

На сегодняшний день можно с полной уверенностью утверждать, что уже ни у кого не вызывает сомнений факт высокой значимости использования комплексной защиты, которая, в свою очередь, наряду с методами физической защиты, в частности – экранированием, предполагает применение радиопротекторов.

Все противолучевые средства принято разделять на два класса – радиопротекторы и средства лечения лучевых поражений. Радиопротекторы – это препараты (главным образом синтетические), которые имеют наибольший эффект при введении за некоторое время перед облучением. Они присутствуют в радиочувствительных органах (нередко в максимально переносимых и субтоксических дозах) и переводят организм в состояние повышенной радиорезистентности. Средства лечения лучевых поражений применяются после облучения и проявления основных синдромов лучевого поражения. Они направлены на их преодоление за счет заместительной и стимулирующей терапии.

В настоящем времени радиопротекторы найдены среди широкого круга различных по происхождению веществ, поэтому классификация их по фармакологическому действию сильно затруднена. В связи с этим в радиобиологии утвердилось разделение защитных средств в зависимости от длительности их действия и сроков развития радиозащитного эффекта. Итак, все радиопротекторы разделены на две основные группы: кратковременного и пролонгированного действия.

К кратковременным радиопротекторам относятся препараты, защитное действие которых проявляется на протяжении 0,5–4 часа после введения. Они наиболее эффективны при облучении организма максимально переносимыми дозами. В качестве средств индивидуальной защиты эти препараты могут быть использованы при защите от поражения ядерным оружием и перед радиотерапевтическим облучением в медицине, а также в космонавтике при длительных полетах для защи-

ты от солнечных вспышек. К средствам длительной защиты относят препараты, обладающие радиозащитой от одних суток до нескольких недель. При импульсном воздействии ионизирующего излучения они обычно проявляют меньший эффект чем средства кратковременной защиты. Таким образом, для каждого конкретного случая может быть подобран соответствующий класс радиопротекторов. Но вместе с тем существуют определенные правила, к которым он должен быть максимально приближен.

1. Препарат должен обладать достаточной эффективностью и не вызывать побочных реакций.

2. Должен действовать быстро (в пределах первых 30 мин) и сравнительно продолжительно (не менее 2 ч).

3. Должен быть нетоксичным с терапевтическим коэффициентом не менее 3.

4. Не должен оказывать кратковременного отрицательного влияния на трудоспособность человека или ослаблять приобретенные навыки.

5. Иметь удобную лекарственную форму.

6. Не должен снижать резистентность организма к другим неблагоприятным факторам среды.

7. Не должен оказывать вредного воздействия при повторном введении или обладать коммулятивными свойствами.

8. Препарат должен быть устойчив при хранении, сохраняя свои защитные и фармакологические свойства не менее трех лет.

Препараты кратковременного действия в зависимости от структуры и механизма защитного эффекта подразделяются на следующие группы:

а) серосодержащие соединения – меркаптоэтиламин (МЭА), цистамин, L-цистеин, гаммафос, цистофос и др.;

б) биологически активные амины: серотонин, 5-метокситриптамин, адреналин;

в) препараты, нарушающие в организме транспорт кислорода (метгемоглобинообразователи) или его утилизацию клетками (цианиды, нитриты);

г) производные имидазола: арилалкиламины, индолилалкиламины и другие радиопротекторы.

Серосодержащие радиопротекторы на современном этапе развития науки признаны самыми эффективными. Большинство соединений этой группы являются производными одного из первых изученных противолучевых препаратов меркаптоэтиламина. Противолучевая активность серосодержащих радиопротекторов связывается с наличием свободной или легко освобождающейся SH-группы. К более благоприятным фармакологическим препаратам относятся производные тиофосфорной кислоты – тиофосфаты. У них SH-группа «прикрыта» ос-

татком фосфорной кислоты, что определяет их малый гипотензивный эффект и меньшую токсичность.

Индолилалкиламины (серотонин, триптамин, 5-метокситриптамин) уступают серосодержащим радиопротекторам только при облучении нейтронами и оказывают защитное действие на меньших промежутках времени. К явным преимуществам аминов относят быстрое развитие защитного эффекта и большую эффективность в малых дозах. Следует отметить, что изучение производных индолилалкиламинов проводилось главным образом советскими учеными.

Цианиды способны блокировать активность железосодержащих дыхательных ферментов, таких, как цитохромоксидаза, которая обеспечивает перенос электронов от цитохрома к кислороду.

Радиопротекторы пролонгированного действия. Недостатки существующих в настоящее время химических радиопротекторов (главным образом побочные токсические эффекты и ограниченная продолжительность действия) послужили основанием для исследования радиозащитных свойств малотоксичных веществ биологического происхождения. В этом направлении ведется поиск средств, которые бы повышали общую устойчивость организма и сопротивляемость инфекциям, а также стимулировали активность кровяной системы.

В настоящее время к обнаруженным веществам с такими свойствами относятся, например, металлокомплексы порфиринов. Изучено огромное количество веществ природного происхождения в качестве возможных противолучевых средств. Наиболее часто исследовались различные вытяжки из растений, микроорганизмов и другие биологические объекты без выделения активных веществ, а порой и без контроля за чистотой препаратов. Для радиопрофилактики применялись сильнодействующие и биологически активные вещества в малых концентрациях: яд змеи, пчелиный яд, бактериальные эндотоксины, гормоны-эстрогены. Выраженным и статистически достоверным радиопрофилактическим действием как при кратковременном, так и при пролонгированном облучении (с малой мощностью дозы – 0,1 Гр/мин) обладает мелиттин (полипептид из пчелиного яда, состоящий из 26 аминокислотных остатков, M-2840). Бактериальный эндотоксин, выделенный из *Salmonella typhi*, смягчал пострадиационное поражение и в том случае вводился через 30 мин после окончания облучения. Защитное действие было обнаружено у полисахарида зимозана, выделенного из дрожжевых клеток и полисахаридов, выделенных из бактерий *Salmonella paratyphi* и *Proteus vulgaris*. Наибольший статистически значимый эффект отмечен у эстрадиола по сравнению с метилтестостероном, диэтилстильбэктолом, дипропионатэстрадиолом. В качестве противолучевых средств и препаратов, применяемых в комбинациях с эффективными радиопротекторами, часто используются продукты метаболизма: нуклеиновые кислоты, витамины, коферменты, углеводы,

липоиды, флавоноиды, аминокислоты, промежуточные продукты обмена. Неспецифическое радиозащитное действие оказывает внутрибрюшинное введение 1,5 мл кипяченого коровьего молока за 1–2 сут до тотального рентгеновского облучения. В других работах было выявлено радиопротективное действие парентерального введения цельной цитратной крови, экстракта крови солкосерила, бензолного экстракта клеток крови человека. Применение сывороточных глобулинов с нормальными аутоантителами перед облучением (или в лечебном варианте после него) повышало выживаемость мышей, морских свинок, крыс, кроликов, подвергнутых летальному γ -облучению в дозах ЛД_{80-100/30}. К числу противолучевых препаратов пролонгированного действия относятся также природные адаптогены. В отличие от радиопротекторов они обладают неспецифическим действием, повышая общую сопротивляемость организма к различным неблагоприятным факторам. Адаптогены проявляют радиозащитную способность, если их вводить многократно за много дней до облучения в дозах, ниже летальных. Они эффективны при остром, но дают наибольший эффект при пролонгированном или фракционированном облучении. Отмечается также отсутствие побочных эффектов при использовании радиозащитных доз адаптогенов. Наиболее эффективными препаратами этой группы являются экстракты женьшеня, элеутерококка, китайского лимонника. Явное снижение чувствительности лабораторных животных обнаружено при введении перорально сухого экстракта гречихи, а также при блокаде ритикулоэндотелиальной системы с помощью частиц угля, полистирола, латекса или гликогена. Однако в целом механизм радиозащитного действия адаптогенов на организм пока не выяснен. Некоторые авторы к адаптогенам причисляют АТФ и АДФ, аденин нуклеотиды, что связано с их нормализующим действием на энергетический и генетический аппараты клеток. Было замечено также, что на радиорезистентность клеток благотворное влияние оказывает рациональное питание, что открывает перспективы эффективной длительной защиты организма от летального воздействия ионизирующего излучения.

Наиболее эффективными природными радиопротекторами и антиоксидантами, входящими в рацион питания населения, являются витамины групп А, С, Е и химический элемент селен, которые в большом количестве содержатся в продуктах питания растительного происхождения, не прошедших термической обработки.

4. ТЕХНИКА И ОБОРУДОВАНИЕ ПРИ РАБОТЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ И ИСТОЧНИКАМИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

4.1. Боксы защитные, шкафы вытяжные, фильтры и перчатки к ним

Перчаточный бокс разработан для защиты продуктов или оператора, а также для работ с источниками ионизирующего излучения. Благодаря своей конструкции бокс находит применение в области диагностики, терапии и при выполнении научно-исследовательских работ.

Перчаточный бокс состоит из следующих компонентов: стола-подставки, внутренней камеры, наружной обшивки и дополнительного оборудования. Бокс обслуживается с одной стороны, передняя часть выполнена с наклоном назад (рис.1).



Рис.1. Перчаточный бокс

Боксы защитные с перчатками из оргстекла 6БП1-0С, 7БП1-0С

Боксы защитные предназначены для работы под разряжением с радиоактивными веществами (кроме органических растворителей) в по-

мещениях с незональной планировкой, оборудованных системой вытяжной вентиляции. Они обеспечивают защиту оператора от альфа- и бета-излучения, а также помещений от загрязнения радиоактивными аэрозолями. Технические характеристики защитных боксов 6БП1-0С, 7БП1-0С приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1 . Технические характеристики защитных боксов 6БП1-0С, 7БП1-0С

Параметр	6БП1-0С	7БП1-0С
Внутренний объем, м ³	0,15	0,06
Площадь столешницы, м ²	0,35	0,2
Разряжение в боксе, мм вод.ст.	20	20
Производительность фильтра, м ³ /ч	5	5
Допустимая температура в боксе, °С	50	50
Габариты, мм	1140×558×690	500×500×400
Масса, кг	26	20

Шкаф вытяжной радиохимический на два рабочих места ШВ-2РА

Шкаф вытяжной ШВ-2РА предназначен для работ, связанных с использованием химически активных, токсичных и радиоактивных материалов.

Шкаф состоит из двух основных узлов: корпуса из коррозионно-стойкой стали и опоры из углеродистой стали (рис. 2).

Наружная поверхность корпуса, а у опоры наружная и внутренняя поверхность покрыты химически стойкими эмалями.



Рис. 2. Шкаф вытяжной радиохимический ШВ-2РА

Технические характеристики вытяжного шкафа ШВ-2РА приведены в табл. 2.

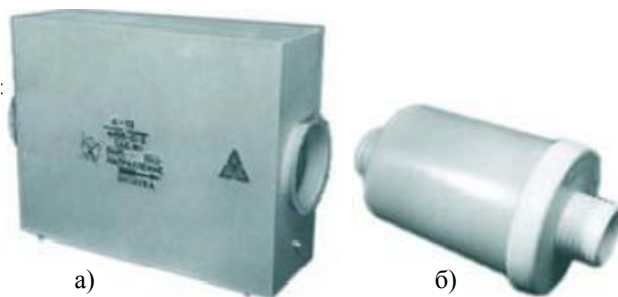
Таблица 2. Технические характеристики вытяжного шкафа ШВ-2РА

Внутренний объем камеры, м ³	1,08
Площадь столешницы, м ²	1,26
Рабочий проем при открытой шторке, мм	750×450
Освещенность столешницы, лк	300
Максимально допустимая температура внутри шкафа, °С	60
Количество розеток с заземленным контуром	4
Напряжение в розетках, В	220(50Гц)
Габариты, мм	1920×794×2100
Масса, кг	330
Материал рабочей камеры	Нержавеющая сталь

Фильтры для боксов и шкафов

Фильтры предназначены для тонкой очистки воздуха (газов) от дисперсных примесей, в том числе от тонкодисперсных радиоактивных аэрозолей (рис. 3).

Благодаря высокой эффективности очистки (99–99,5%), незначительному аэродинамическому сопротивлению, а также небольшим габаритам фильтры широко применяют в вентиляционных системах боксов (тип В) и вытяжных шкафов (тип Д), использующихся при работах с химически активными, токсичными и радиоактивными материалами.



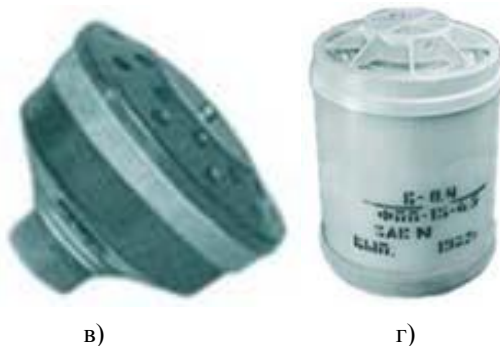


Рис. 3. Фильтры для боксов: а) ФВ-0,05; б) ФВ-0,1; в) ФВ-0,4; г) ФТОВ(Д-13)
 Технические характеристики фильтров даны в табл. 3.

Таблица 3. Технические характеристики фильтров

Тип фильтра	Площадь фильтрующей поверхности, м ²	Габариты, мм	Масса, кг
ФВ-0,05 - для боксов	0,05	Ø96×180	0,3
ФВ-0,1 - для боксов	0,1	Ø150×112	0,5
ФВ-0,4 - для боксов	0,4	Ø150×198	1,17
ФВ-0,5 - для боксов	0,5	224×180×254	2,5
ФТОВ (Д-13) - для шкафов	13,0	268×900×640	19

4.2. Сборники отходов, контейнеры, сейфы, пластикат

Сейф СН-12 состоит из двух поставленных друг на друга шкафов (рис. 4). Каждый шкаф имеет 6 секций с дверцами и одну общую дверь с замком и устройством для опломбирования. Вредные аэрозоли удаляются из сейфа через вытяжной воздуховод, подключаемый к системе вентиляции.

Материал – углеродистая сталь толщиной 3 мм. Размер секции 250×250×300 мм.

Габариты сейфа 790×550×1316 мм.

Масса 220 кг.



Рис. 4. Сейф СН-12

Сборник отходов твердых радиоактивных СТО-1-10-ОС предназначен для сбора твердых α -, β - радиоактивных отходов и их временного хранения (рис. 5).



Рис. 5. Сборник твердых радиоактивных отходов СТО-1-10-ОС

Сборник из органического стекла имеет крышку с резиновым уплотнительным кольцом и тремя запорными усами. Емкость сборника составляет 10 л, габариты – 212×380 мм, масса – 3,1 кг.

Температура в контейнере допускается до +50 °С.

Сейф для хранения радиофармпрепаратов (РФП)

Сейф с защитой от гамма-излучения (освинцованный) предназначен для хранения радиоизотопов I-123, Ga-67 и образцовых источников Sr-90, Y-90.

Сейф изготавливается на 6 или на 9 ячеек. Размер каждой ячейки составляет 300×200×300 мм.

Каждая ячейка запирается на замок.

5. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ПРИ РАБОТЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

Наборы (комплекты) просвинцованной одежды предназначены для защиты персонала при проведении работ:

- по дефектоскопии, при перезарядке источников излучения;
- в случаях аварийного выпадения радиоактивных веществ и других аварийных ситуаций.

В комплект входит:

- фартук закрытый просвинцованный, $P_v = 0,35/0,25$;
- шапочка, $P_v = 0,25$;
- очки с просвинцованными стеклами, $P_v = 0,5$;
- перчатки радиационно-защитные, $P_v = 0,25$ (эластичные);
- ручной захват (клещи), длина 1,0 м.

Комплект одежды от гамма-излучения КЗО-1

Комплект состоит из жилета с поясом для гонад ЖЗИ-02-ГИ и куртки пластиковой (рис. 6), что обеспечивает кратность ослабления эффективной дозы гамма-излучения в 1,5 раза при E_γ 0,66 МэВ. Предназначен для защиты персонала, работающего в перчаточных боксах и камерах, от гамма-излучения америция-241. Фартук обеспечивает защиту тела человека (от основания шеи до линии бедер, плечи и руки до локтя) и имеет коэффициент защиты (K_3) не менее 3, по необходимости K_3 может быть увеличен до 15 (рис. 6).

Была разработана новая технология получения радиационно-защитного слоя фартука путем нанесения латексной радиационно-защитной смеси (в качестве ее наполнителя, снижающего гамма-излучение, используется вольфрам) на тканевую основу в виде выкроенной детали изделия.



Рис. 6. Фартук радиационнозащитный марки РЗФ-1

Нужное количество слоев определялось заданным коэффициентом защиты. Данный вариант технологии одновременного изготовления материала и детали изделия позволяет реализовать безотходное производство.

Радиационно-защитный слой фартука помещают в съемный чехол, выполненный из легкого дезактивируемого материала, представляющего собой полиэтиленовую пленку, армированную нетканым полипропиленовым полотном. Были разработаны две модели фартуков.

Модель 1 представляет собой радиационно-защитный материал на тканевой основе, наполненный вольфрамом и помещенный в защитный съемный чехол из полиэтиленовой пленки, армированной нетканым полипропиленовым полотном. Передняя часть фартука по ширине равна 55 см. Вес фартука 1,6 кг.

Модель 2 отличается от модели 1 тем, что ширина передней части составляет 70 см, а вес фартука –1,9 кг.

Изолирующий костюм КЗ-М

Костюм изолирующий КЗ-М (рис. 7) защищает от радиоактивных веществ и растворов (при угрозе облива) при ожидаемых уровнях загрязнения до 1000 допустимых загрязнений (ДЗ), а также от внешнего бета-излучения при плотности потока бета-частиц до 10 ДПП_{перс.}



Рис. 7. Внешний вид костюма КЗ-М (модель 4) – вид спереди (а); изолирующий костюм КЗ-М (модель 5) снабжен гермомолнией (б)

Технические характеристики изолирующего костюма КЗ-М приведены в табл. 4.

Таблица 4. Технические характеристики изолирующего костюма КЗ-М

Наименование показателей	Значение
Разрывная нагрузка, Н, не менее: по основе по утку	300 150
Сопrotивление раздиру, Н, не менее	20
Поверхностная плотность, г/м ² , не менее	260
Жесткость, Н, не более	0,20
Водопроницаемость, ч, не менее	6,0
Герметичность материала, ч, не менее	6,0
Дезактивируемость: коэффициент дезактивации после 4 циклов загрязнения – дезактивация, не менее	10
Коэффициент защиты от радиоактивных аэрозолей, не менее	1000
Диапазон температур, °С	-40...+40

Допустимое время применения защитных костюмов КЗ-М указано в табл. 5.

Таблица 5. Допустимое время применения защитных костюмов КЗ-М при воздействии агрессивных сред или после облива

Агрессивная среда	Концентрация, %	Предельно-допустимое время применения костюмов КЗ-М, мин
Серная кислота	93	300
Азотная кислота	58	300
Соляная кислота	35	300
Плавиковая кислота	50	300
Раствор гидроксида калия	40	300
Уксусная кислота	100	300
Ацетон	100	300
Гептан	100	12
Жидкий хлор	100	2
Жидкий аммиак	100	15
Газообразный хлор	100	15
Газообразный аммиак	100	15
Безводный фтористый водород	100	10
Олеум	106	15

Изолирующий костюм КЗ-М изготавливают в четырех вариантах конструкции:

модель 1 состоит из куртки с резиновыми обтюраторами на поясе и рукавах и полукombineзона с приклеенными бахилами;

модель 2 – из куртки с резиновыми обтюраторами на поясе и рукавах и полукombineзона без приклеенных бахил;

модель 3 – из куртки с рукавными кольцами и резиновым обтюратором на поясе и полукombineзона с приклеенными бахилами;

модель 4 – из комбинезона с приклеенными бахилами, рукавными кольцами и лазом для надевания костюма.

Модель 2 защитного костюма КЗ-М по сравнению с моделью 1 имеет меньшую герметичность по газам и парам, а модель 3 – большую герметичность, чем модели 1 и 2. Наибольшую герметичность имеет защитный костюм КЗ-М модели 4.

Изолирующий костюм КЗ-П

Костюм КЗ-П предназначен для использования в условиях загрязнения воздуха и поверхностей радиоактивными веществами. Изготовлен из полиэтиленовой пленки, армированной нетканым полипропиленовым полотном (рис. 8). Лицевая часть, выполненная из прозрачной эластичной полимерной пленки, обеспечивает хороший обзор, а также возможность применения очков любого типа.

Костюм КЗ-П применяется в комплекте с автономным источником воздухообеспечения типа НИВА-2М, обеспечивающим подачу очищенного воздуха до 150 л/мин. Возможно применение противоаэрозольных и противогазоаэрозольных фильтров. Продолжительность непрерывной работы – не менее 6 часов.

Бахилы выполнены в виде чулка. На бахилы надевается сапог, перекрываемый сверху дополнительной брючиной.

Материал костюма мало сорбирует радиоактивные вещества, отличается высокой химической стойкостью, низкой проницаемостью по отношению к кислотам и щелочам. Ввиду отсутствия галогеносодержащих материалов костюм может быть утилизирован методом сжигания.

Наличие рукавных колец обеспечивает надежное и герметичное крепление перчаток с венчиком.



Рис. 8. Костюм КЗ-П

Технические характеристики костюма КЗ-П приведены в табл. 6.

Т а б л и ц а 6. Технические характеристики костюма КЗ-П

Наименование показателей	Значение показателей
Минимальное содержание свободного кислорода в атмосфере, объемных процентов, не менее	18
Коэффициент защиты по газам, парам и аэрозолям, не менее	1000
Коэффициент проникания, %, не более	0,1
Температура окружающего воздуха, °С	-20 ... +50
Производительность блока нагнетания воздуха, л/мин	до 150
Масса изолирующего костюма, кг, не более	3,5

Изолирующий костюм КЗ-У

Костюм КЗ-У предназначен для проведения ремонтных и аварийно-восстановительных работ в условиях загрязнения воздуха и поверхности помещений радиоактивными и опасными химическими веществами. Изготовлен из легкодезактивируемого поливинилхлоридного пластика (рис. 9, 10).



Рис. 9. Костюм КЗ-У – вариант с резиновыми сапогами и под костюмом виден жилет с аккумуляторной батареей (а); костюм КЗ-У – под костюмом виден жилет с автономным источником воздуходобывания (б)



Рис.10. Костюм КЗ-УЛ снабжен гермомолнией и изготовлен из облегченного материала (а); костюм КЗ-УЛ (вариант) с передвижной воздушной (б)

В табл.7. приведены технические характеристики костюма КЗ-У.

Таблица 7. Технические характеристики костюма КЗ-У

Наименование показателей	Значение показателей
Минимальное содержание свободного кислорода в атмосфере, объемных процентов, не менее	18
Коэффициент защиты по газам, парам и аэрозолям, не менее	1000
Коэффициент проникания, %, не более	0,1
Температура окружающего воздуха, °С	-10 ... +50
Производительность блока нагнетания воздуха, л/мин	До 150
Время непрерывной работы без подзарядки аккумуляторной батареи, ч, не менее	6
Масса защитного костюма КЗ-У с приваренными сапогами, кг, не более	4,0
Масса защитного костюма КЗ-У без сапог, кг, не более	2,4
Масса защитного костюма КЗ-УЛ, кг, не более	0,96

Пневмокостюмы типа ЛГ

Пневмокостюмы типа ЛГ предназначены для защиты органов дыхания и кожного покрова от воздействия радиоактивных и химически агрессивных веществ: кислот, щелочей, окислителей и т. п. Они обес-

печивают защиту от радиоактивных веществ и растворов при угрозе облива, при ожидаемых уровнях загрязнения свыше 1000 ДЗ. Шланговые изолирующие средства защиты используются при выполнении ремонтных, аварийных и дезактивационных работ в условиях высокой загрязненности воздуха, оборудования и поверхностей рабочих помещений. Надеваются поверх спецодежды.

Модификация костюмов этого типа (ЛГ-4, ЛГ-5, ЛГ-У) представляют собой шланговые изолирующие костюмы с принудительной подачей чистого воздуха для дыхания и вентиляции подкостюмного пространства. Они состоят из двух основных частей: защитной оболочки и системы вентиляции подкостюмного пространства.

Защитная оболочка состоит из комбинезона с приваренным к нему шлемом. Спереди комбинезона имеется лаз для входа в костюм и выхода из него. Рукава комбинезона оканчиваются кольцами. Шлем снабжен сферическим смотровым стеклом.

Воздух подается через штуцер, соединяющий изделие со шлангом приспособления подачи воздуха (в комплект поставки не входит). Благодаря применяемым конструктивным решениям происходит вентиляция всего внутреннего пространства, после чего воздух выходит в окружающую среду.

Избыточное давление в подкостюмном пространстве изделий и постоянное вентилирование обеспечивают одновременно высокую степень изоляции работающего от воздействия внешней среды и условия, необходимые для газо-, тепло- и влагообмена организма с окружающей средой.

Изделия изготавливаются из легкодезактивируемого поливинилхлоридного материала путем сварки деталей током высокой частоты либо из прорезиненной ткани клеевым способом (ЛГ-У). Пневмокостюмы типа ЛГ изготавливают трех размеров: 1-й (48/3) – малый; 2-й (52/4) – средний; 3-й (56/6) – большой. Масса их составляет не более 3 кг.

В табл. 8 представлены технические характеристики костюма типа ЛГ.

Таблица 8. Технические характеристики костюма типа ЛГ

Наименование показателей	ЛГ-4	ЛГ-5	ЛГ-У
Коэффициент защиты органов дыхания по аэрозолям при расходе воздуха 250 л/мин	4×10^6	4×10^6	4×10^6
Масса изделия, кг	2,0	3,0	3,0
Время работы, ч	4-6	4-6	4-6
Диапазон температур, °С	-10...+45	-10...+45	-30...+50
Материал костюма	ПВХ пленка марки РЗ	ПВХ пленка марки РЗ	Прорезиненная ткань

Пневмокуртка ПК-1

Пневмокуртка ПК-1 представляет собой куртку (рубашку) со шлемом и поясом, затяжка которого обеспечивает поддержку избыточного давления (рис. 11).

Пневмокуртки изготавливают трех размеров: 1-й (48/3), 2-й (52/4), 3-й (56/5). Они выпускаются двух типов: ПК-1А – смотровое стекло съемное; ПК-1Б – смотровое стекло приварено к шлему.



Рис. 11. Пневмокуртка ПК-1: а) вид спереди; б) вид сзади

Технические характеристики пневмокуртки ПК-1 приведены в табл. 9.

Таблица 9. Технические характеристики пневмокуртки ПК-1

Наименование показателей	Значение показателя
Коэффициент защиты органов дыхания по аэрозолям, не менее	100 000
Масса, кг, не более	1,5

Пневмомаска ЛИЗ-5

Пневмомаска ЛИЗ-5 обеспечивает защиту от радиоактивных аэрозолей и паров. Представляет собой маску со смотровым стеклом и оголовьем, которое обеспечивает подгонку пневмомаски по размеру головы. Смотровое стекло сферической формы (рис. 12).



Рис. 12. Пневмомаска ЛИЗ-5

Технические характеристики пневмомаски ЛИЗ-5 приведены в табл. 10.

Таблица 10. Технические характеристики пневмомаски ЛИЗ-5

Наименование показателей	Значение показателей
Коэффициент защиты по аэрозолям при расходе воздуха 200 л/мин	1×10^4
Сопротивление дыханию на входе	Отсутствует
Количество подаваемого воздуха, л/мин	160 – 200
Длина шланга	Не ограничена
Масса, кг	Не более 0,55
Выпускается одного размера	

Пневмошлем ЛИЗ-4

Пневмошлем обеспечивает защиту от радиоактивного загрязнения воздуха.

Представляет собой шлем с мягким воздуховодом и эллипсоидным смотровым стеклом (рис. 13). К шлему приварены спинка и перед с завязками.



Рис. 13. Пневмошлем ЛИЗ-4: а) вид спереди; б) вид сзади

Технические характеристики пневмошлема ЛИЗ-4 приведены в табл. 11.

Таблица 11. Технические характеристики пневмошлема ЛИЗ-4

Наименование показателей	Значение показателей
Коэффициент защиты по аэрозолю при расходе воздуха 200 л/мин	1×10^4
Сопrotивление дыханию на вдохе	Отсутствует
Количество подаваемого воздуха, л/мин	200 – 350
Длина шланга	Не ограничена
Масса пневмошлема, кг	Не более 0,75

Пневмошлем выпускается одного среднего размера и поставляется без шланга и вентилятора.

Дополнительная одежда из ПВХ

Отличительной особенностью спецодежды из ПВХ является высокая дезактивируемость специального ПВХ-пластиката.

Полухалат. Защищает грудь, живот и предплечья работающего. Низы рукавов стягивает эластичная тесьма. На спине имеются завязки. Воротник плотно облегает шею (рис. 14, а). Размеры: 1-й (48/3), 2-й (52/4), 3-й (56/5).

Полукомбинезон. Защищает переднюю часть тела и ноги работающего. Состоит как одно целое из брюк и нагрудника с лямками. В нижнюю часть брюк, пояс и лямки вдега эластичная тесьма (рис. 14, б). Размеры: 1-й (48/3), 2-й (52/4), 3-й (56/5).

Фартук. Защищает грудь и живот работающего. Имеет шейные и боковые завязки.

Нарукавники. Защищают предплечья работающего. Верхние и нижние края стягиваются эластичной тесьмой на руке (рис. 15, а).

Куртка специальная пластиковая. Защищает голову, туловище и руки работающего. Выполнена она с капюшоном, по периметру которого продета завязка. В низки рукавов заварена эластичная тесьма. Ниже талии продета завязка (рис. 15, б). Размеры: 1-й (50–52), 2-й (54–56).



Рис. 14. Одежда из ПВХ: а) полухалат; б) полукомбинезон



Рис. 15. Одежда из ПВХ: а) фартук и нарукавники; б) куртка специальная пластиковая

В табл. 12. приведены технические характеристики комплекта одежды из ПВХ.

Таблица 12. Технические характеристики комплекта одежды из ПВХ

Параметр	Значение
Диапазон температур, °С	От -20 до +50
Время непрерывного пользования, ч	2-3

Респиратор «Волга-Е»

Респиратор «Волга-Е» предназначен для индивидуальной защиты органов дыхания от аэрозолей и кислых газов (HF, HCl, SO₂). Не рекомендуется использовать респиратор в условиях недостатка (менее 18 %) кислорода в воздухе (например, в емкостях, цистернах, колодцах и других изолированных помещениях такого типа).

Респиратор «Волга-Е» состоит из корпуса с клапаном выдоха и пластиной для фиксации на переносице, резиновых лент оголовья (рис. 16).



Рис. 16. Респиратор «Волга-Е»

Технические характеристики респиратора «Волга-Е» приведены в табл. 13.

Таблица 13. Технические характеристики респиратора «Волга-Е»

Наименование показателей	Значение показателей
Коэффициент проникания через фильтрующую полумаску, %, не более	8–11
Кратность превышения допустимых концентраций газа (HF, HCl, SO ₂), ПДК, не более	5

Респиратор «Лепесток-200»

Респиратор «Лепесток-200» применяется при концентрации аэрозолей в воздухе не более 100 мг/м³. В нерабочем состоянии он имеет вид круга. Его плотное прилегание к лицу в рабочем состоянии достигается с помощью резинового шнура, прорезанного по периметру круга, и носового зажима (рис. 17). Может быть подогнан с учетом любых антропометрических особенностей лица. Изготавливается из высокоэффективных фильтрующих материалов. Отличается от аналогов наличием фильтрующего материала по полосе обтюрации, что обеспечивает высокую защитную эффективность по сравнению со всеми другими легкими респираторами.

Респиратор «Лепесток-200 кл» состоит из корпуса с обтюратором и клапаном выдоха, резинового шнура с пластинкой (внутри обтюратора), распорки и лент (рис. 18).



Рис. 17. Респиратор «Лепесток-200»



Рис. 18. Респиратор «Лепесток-200 кл»

Технические характеристики респиратора «Лепесток-200 кл» приведены в табл. 14.

Таблица 14. Технические характеристики респиратора «Лепесток-200 кл»

Наименование показателей	Значение показателей
Сопротивление постоянному потоку воздуха при объемном расходе 30 дм ³ /мин, Па, не более	42
Коэффициент проницаемости по масляному туману, %, не более	0,4
Масса без клапана, г, не более	12
Гарантийный срок хранения, лет, не менее	4

Респиратор «Лепесток-А»

Респиратор «Лепесток-А» предназначен для защиты органов дыхания от вредных аэрозолей и одновременно от органических газов и паров с температурой кипения выше 65 °С. Запрещается использовать респиратор в условиях недостатка (менее 18 %) кислорода в воздухе (например, в емкостях, цистернах, колодцах и других изолированных помещениях такого типа).

Защита органов дыхания осуществляется с помощью противоаэрозольного и противогазового элементов конструкции респиратора. Противоаэрозольный элемент изготовлен из материала ФПП, а противогазовый элемент – из специального материала, сорбирующего газообразные вещества.

Респиратор «Лепесток-А» состоит из корпуса с обтюратором, резинового шнура с пластинкой (внутри обтюратора), распорки, лент (рис. 19).



Рис. 19. Респиратор «Лепесток-А»

Технические характеристики респиратора «Лепесток-А» приведены в табл. 15.

Таблица 15. Технические характеристики респиратора «Лепесток-А»

Наименование показателей	Значение показателей
Коэффициент проникания через фильтрующую полумаску, %, не более	2–5
Кратность превышения допустимых концентраций паров органических веществ, ПДК, не более	10

Респиратор «Лепесток-В»

Противогазопылезащитный респиратор «Лепесток-В» обеспечивает защиту от радиоактивных аэрозолей, паров гексафторида урана и продуктов его гидролиза, а также от фтористого водорода (до 5 ПДК) и других кислых газов. Применяется при температуре выше 0 °С и работе легкой и средней степени тяжести (рис. 20).

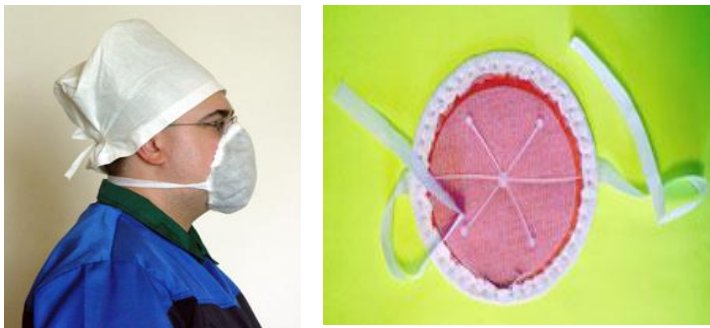


Рис. 20. Противогазопылезащитный респиратор «Лепесток-В»

Технические характеристики респираторов марки «Лепесток-В» приведены в табл. 16.

Таблица 16. Технические характеристики респираторов марки «Лепесток-В»

Модель респиратора	Кратность превышения ПДК в воздухе рабочей зоны, не более		
	по аэрозолям с размером частиц, мкм		по «кислым» газам
	0,28–0,34	свыше 2	HF, HCl, SO ₂
Лепесток 40-1В	40	100	5
Лепесток 40-2В	40	100	10
Лепесток 100-1В	100	100	5
Лепесток 100-2В	100	100	10

Респиратор «Лотос» марок В и АВ

Респираторы противогазоаэрозольные «Лотос» марок В (рис. 21) и АВ защищают от радиоактивных аэрозолей, а также «кислых» газов, в том числе фтористого водорода (до 5 ПДК). Респиратор марки АВ кроме того защищает и от паров органических веществ. Применяется при температуре окружающего воздуха выше 0 °С и работе легкой и средней степени тяжести.



Рис. 21. Противогазоаэрозольный респиратор «Лотос» марки В

Технические характеристики противогазоаэрозольного респиратора «Лотос» марки В приведены в табл. 17.

Таблица 17. Технические характеристики противогазоаэрозольного респиратора «Лотос» марки В

Наименование показателей	Значение показателей
Кратность превышения допустимых концентраций аэрозолей в окружающем воздухе при размере частиц, мкм:	
от 0,28 до 0,34	40
свыше 2,0	100
Кратность превышения предельно допустимых концентраций, не более	
по фтористому водороду	5
по хлористому водороду	5
по диоксиду серы	5

Спецобувь из ПВХ-пластиката

Спецобувь из ПВХ-пластиката предназначена для защиты ног и основной обуви работающего от радиоактивных и химически агрессивных веществ: кислот, щелочей средней концентрации, окислителей и т.п.

Обувь изготавливается из легко дезактивируемого поливинилхлоридного материала. Соединение деталей осуществляется высокочастотной сваркой.

Бахилы. Применяются при продолжительных работах на участках с большим уровнем загрязнения. Бахилы закрывают ногу до колена. Подошва имеет рифление. Крепятся на ноге при помощи завязок или эластичных лент (рис. 22, а). Размеры: 270, 285 и 300.

Чулки. Закрывают ногу выше колена. Верхний край голенища стягивается резинкой. Применяются при выполнении кратковременных работ на участках с большим уровнем загрязнения (рис. 22, б). Размеры: 270, 285 и 300.

Чехлы. Применяют при выполнении продолжительных работ на участках со значительным загрязнением поверхностей. Высота чехла 20 см. Подошва имеет рифление. Верхний край голенища стягивается резинкой (рис. 23, а). Размеры: 270, 285 и 300.

Следы. Представляют собой мягкие чехлы, закрывающие низ обуви на 5–6 см. Применяются для предотвращения загрязнения подошвы основной обуви при кратковременных посещениях участков, где проводятся работы с вредными веществами (рис. 23, б). Размеры: 270, 285, 300 и 315.



а)



б)

Рис. 22. Спецобувь: а) бахилы; б) чулки



а)



б)

Рис. 23. Спецобувь: а) чехлы; б) следы

Технические характеристики спецобуви из ПВХ и пластика приведены в табл. 18.

Таблица 18. Технические характеристики спецобуви из ПВХ-пластиката

Параметр	Значение
Диапазон температур, °С	-20 ... +50
Время непрерывного пользования, ч	2
Коэффициент дезактивации после 45 циклов «загрязнение – дезактивация»	80–100

Щиток-экран для защиты от бета-излучения

Щиток-экран предназначен для защиты лица работающего от прямого воздействия твердых частиц веществ, брызг жидкостей, пыли и от β -излучения при работе с радиоактивными веществами.

Состоит из монолитного смотрового сферического стекла, удерживаемого на голове эластичной лентой с пряжками для подгонки.

В табл. 19 приведены технические характеристики щитка-экрана.

Таблица 19. Технические характеристики щитка-экрана

Наименование показателей	Значение показателей
Высота защитного экрана, мм	150±0,2
Длина лобной полосы, мм	240±0,5
Толщина защитного экрана, мм	3,6±0,8
Рабочий интервал температур окружающего воздуха	Не выше +50 °С при относительной влажности до 80 %.
Масса щитка-экрана, г, не более	250,0
Кратность ослабления при средней энергии бета-частиц, МэВ, не менее:	
1,18	500
1,50	100
2,00	20
2,49	10
3,04	6
3,50	4

Автономный источник воздухообеспечения (шланговый противогаз) АИВ-ГИК

Автономный источник воздухообеспечения предназначен для защиты при работе в замкнутых объемах, емкостях, колодцах и т.п. Он осуществляет принудительную подачу воздуха в подмасочное пространство из чистой зоны по шлангу длиной до 50 м (рис. 24). Автономный источник воздухообеспечения АИВ-ГИК содержит только фильтр грубой очистки воздуха.

Создаваемое избыточное давление воздуха обеспечивает отсутствие сопротивления вдоху, исключает попадание загрязненного воздуха в подмасочное пространство и запотевание стекол лицевой части. В зависимости от условий работы применяются различные лицевые части.

Для удобства эксплуатации комплект АИВ смонтирован на тележке. Установлены два нагнетателя воздуха – основной и аварийный, аэрозольный фильтр грубой очистки, две аккумуляторные батареи – основная и резервная. Стационарно установленный барабан вмещает 25 м химабразивостойкого облегченного шланга. При необходимости поставляется дополнительный барабан со шлангом (25 м).

Также в комплект включаются: лицевая часть – маска панорамная ППМ-88, спасательный пояс из лавсана, веревка сигнально-спасательная.



Рис. 24. Автономный источник воздуходобывания: а) АИВ-ГИК; б) АИВ-ГИК (универсал)

Технические характеристики автономного источника воздуходобывания даны в табл. 20.

Таблица 20. Технические характеристики автономного источника воздуходобывания

Наименование показателей	Значение показателей
Номинальная объемная производительность, л/мин	150
Время непрерывной работы, ч, не менее:	
на основном аккумуляторе	20
на резервном аккумуляторе	6

Наплечники-вкладыши камерные марки РЗКНВ

Камерные наплечники-вкладыши марки РЗКНВ предназначены для защиты рук персонала от гамма-излучения америция-241, проходящего через камерные озоностойкие перчатки, установленные в перчаточных проемах технологических камер, а также от воздействия разбавленных кислот и щелочей.

Наплечники-вкладыши изготавливаются из смеси на основе натурального латекса. В качестве наполнителя, ослабляющего гамма-излучение, использован вольфрам. Широкая сторона радиационно-защитного камерного наплечника-вкладыша имеет венчик, необходимый для герметичного крепления на перчаточном проеме камеры. В зависимости от коэффициента защиты (далее – К_з) РЗКНВ выпускаются двух типов: тип 1 – К_з не менее 3, масса от 0,7 кг до 1,1 кг; тип 2 – К_з не менее 7, масса от 1,1 кг до 1,6 кг.

Защитный комплект НИВА-2-12 (СГЗ-5)

Защитный комплект предназначен для стационарной установки в кабинах автомобилей, кранов, экскаваторов, буровых установок, тракторов и других механизмов, на рабочем месте маляра, сварщика, а также в служебных помещениях и обеспечивает защиту органов дыхания и лица человека от воздействия вредных газов, паров, пыли, дыма и тумана, присутствующих в воздухе при концентрации вредных веществ до 50 ПДК (рис. 25).



Рис. 25. Защитный комплект Нива-2-12

Технические характеристики защитного комплекта Нива-2-12 приведены в табл. 21.

Т а б л и ц а 21. Технические характеристики защитного комплекта Нива-2-12

Наименование показателей	Значение показателей
Производительность защитного комплекта без фильтров (плавная регулировка), л/мин	От 70 до 300
Напряжение питания (постоянного тока), В - исполнение 5	12
Источник питания	Бортовая сеть
Масса турбонагнетателя без ФПК соединительного шланга и лицевой части, кг	1,23
Время непрерывной работы	Не ограничено

В комплект входят: 1 – нагнетатель воздуха; 2 – фильтрующе-поглощающие коробки; 3 – трубка соединительная (воздуховод); 4 – лицевая часть; 5 – комплект монтажный; 6 – руководство по эксплуатации.

Нагнетатель воздуха имеет два резьбовых отверстия для присоединения ФПК.

Защитный комплект НИВА-2-220 (СГЗ-5) (исполнение 7)

Данный защитный комплект предназначен для стационарной установки на рабочем месте (например, маляра, сварщика), а также в служебных помещениях и обеспечивает защиту органов дыхания и лица человека от воздействия вредных газов, паров, пыли, дыма и тумана, присутствующих в воздухе при концентрации вредных веществ до 50 ПДК (рис. 26).

В табл. 22 даны технические характеристики защитного комплекта НИВА-2-220.

Т а б л и ц а 22. Технические характеристики защитного комплекта НИВА-2-220

Наименование показателей	Значение показателей
Производительность защитного комплекта без фильтров (плавная регулировка), л/мин	От 70 до 300
Напряжение питания (постоянного тока), В	24
Источник питания	Сеть ~220 В через блок питания
Масса турбонагнетателя без ФПК соединительного шланга и лицевой части, кг	1,23
Время непрерывной работы	Не ограничено



Рис. 26. Нива-2-220 (исполнение 7)

Стандартные защитные коробки вворачиваются в два резьбовых отверстия.

В комплект входят: 1 – нагнетатель воздуха; 2 – фильтрующе-поглощающие коробки; 3 – трубка соединительная (воздуховод); 4 – лицевая часть; 5 – комплект монтажный; 6 – руководство по эксплуатации.

Нагнетатель воздуха имеет два резьбовых отверстия для присоединения ФПК.

Защитный комплект НИВА-2М (исполнение 1)

Данный защитный комплект предназначен для защиты органов дыхания, глаз и лица от воздействия вредных газов, паров и аэрозолей, присутствующих в воздухе рабочей зоны (рис. 27).



Рис. 27. Защитный комплект Нива-2М (исполнение 1)

Технические характеристики защитного комплекта Нива-2М приведены в табл. 23.

Таблица 23. Технические характеристики защитного комплекта Нива-2М

Наименование показателей	Значение показателей
Производительность защитного комплекта без фильтров (две ступени), л/мин	75/150
Напряжение питания, В	3,6
Время непрерывной работы без подзарядки, ч	4
Масса турбонагнетателя без ФПК и аккумуляторной батареи, кг	0,6
Масса аккумуляторной батареи, кг	0,4

В комплект входят: 1 – нагнетатель воздуха; 2 – блок питания; 3 – зарядное устройство УЗА-3,6; 4 – фильтрующе-поглощающие коробки; 5 – трубка соединительная (воздуховод); 6 – ремень поясной; 7 – жилет (по отдельному заказу); 8 – руководство по эксплуатации.

В приемной крышке нагнетателя имеется два резьбовых отверстия с резьбой 40 по СТ СЭВ 3293 с резиновыми прокладками для присоединения стандартных защитных коробок.

Перчатки камерные типа Т-1 и Т-2 и озоностойкие

Перчатки камерные предназначены для защиты воздуха рабочих помещений и рук работающего от высокотоксичных и радиоактивных веществ при работе в перчаточных камерах и боксах. Они герметично крепятся в перчаточных проемах камер и боксов на весь срок своей эксплуатации и являются частью оборудования.

По форме камерные перчатки длинные, с широкой крагой, заканчивающейся венчиком, предназначенным для фиксирования и крепления перчаток на месте их установки, соответствуют объемной модели руки с полусогнутыми пальцами. Изготавливаются из различных материалов (рис. 28).



Рис. 28. Перчатки камерные

Выпускаются перчатки трех типов: тип 1 – крага в виде усеченного конуса с венчиком, выполненным путем закатки краги; тип 2 – крага в виде усеченного конуса с венчиком, отформованным в пресс-форме и приклеенным к краге; тип 3 – крага в виде цилиндра с венчиком, выполненным путем закатки краги. Технические характеристики перчаток камерных приведены в табл. 24.

Таблица 24. Технические характеристики перчаток камерных

Параметр	Значение
Условная прочность при растяжении, МПа, не менее	12
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	700
Относительное остаточное удлинение, %, не более	25
Сопrotивление раздиру, кН/м, не менее	25

Перчатки камерные озоностойкие предназначены для защиты воздуха рабочих помещений и рук работающего от высокотоксичных и радиоактивных веществ при работе в перчаточных камерах и боксах. Камерные перчатки герметично крепятся в перчаточных проемах камер и боксов на весь срок своей эксплуатации и являются частью оборудования. По форме камерные перчатки длинные, с широкой крагой, заканчивающейся венчиком, предназначенным для фиксирования и крепления перчаток на месте их установки, соответствуют объемной модели руки с полусогнутыми пальцами. Изготавливаются из каландрованной резины на основе натурального каучука с добавкой антиозонантов (рис. 29).



Рис. 29. Перчатки камерные озоностойкие

Выпускаются перчатки трех типов: тип 1 – крага в виде усеченного конуса с венчиком, выполненным путем закатки краги; тип 2 – крага в виде усеченного конуса с венчиком, отформованным в пресс-форме и приклеенным к краге; тип 3 – крага в виде цилиндра с венчиком, выполненным путем закатки краги.

Технические характеристики перчаток камерных озоностойких приведены в табл. 25.

Таблица 25. Технические характеристики перчаток камерных озоностойких

Параметр	Значение
Условная прочность при растяжении, МПа, не менее	13
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	800
Относительное остаточное удлинение, %, не более	26
Соппротивление раздиру, кН/м, не менее	26

Перчатки рентгенозащитные

Данные перчатки предназначены для защиты рук от воздействия рентгеновских лучей, генерируемых при напряжении до 100 кВ. Защитные свойства стенок перчатки по ослаблению рентгеновского излучения эквивалентны свинцу толщиной не менее 0,3 мм (рис. 30).



Рис. 30. Перчатки рентгенозащитные

Технические характеристики перчаток рентгенозащитных приведены в табл. 26.

Таблица 26. Технические характеристики перчаток рентгенозащитных

Параметр	Значение
Длина, мм	345±15
Ширина краги, мм	155±5
Толщина перчатки, мм	1,55±0,15
Масса пары перчаток, г	1350±150

6. ДЕЗАКТИВАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

6.1. Пылеподавляющие неснимаемые защитные полимерные покрытия марок «АК» и «СКС»

Составы марок представляют собой:

«АК» – водная дисперсия силоксан-акрилатного связующего, комплексообразователей и ПАВ.

«СКС» – водная дисперсия латексной смеси, пластификаторов и комплексообразователей.

Используется при проведении работ по пылеподавлению альфа- и бета-излучающих нуклидов в условиях локальной зоны, т.е. зоны, примыкающей к объекту.

«АК» – локализация, изоляция и пылеподавление различных поверхностей (как наружных, так и внутренних), дорожных покрытий и почв без растительного покрова.

«СКС» – пылеподавление различных поверхностей (как наружных, так и внутренних), дорожных покрытий и почв с наличием растительного покрова и без него.

Характеристики составов и рекомендации по их выбору и применению в зависимости от назначения и условий эксплуатации приведены в ОСТ 95 10562–2001.

Покрытия на основе перечисленных составов обладают высокой атмосферостойкостью, достаточной морозостойкостью, высокими локализирующими свойствами по отношению к радиоактивным загрязнениям. При нанесении на сыпучие материалы (песок, гравий и т.д.) толщина пропитки верхнего слоя может составлять 1–10 см (в зависимости от расхода состава на 1 м²), что в дальнейшем допускает свободное передвижение по защищенной поверхности пешеходов и любых транспортных средств, в том числе гусеничных.

На загрязненную поверхность наносят полимерный состав методами пневматического или безвоздушного распыления, наливом или кистью. Перед применением, в зависимости от метода нанесения, составы разбавляют при необходимости водой. Нанесенный состав через некоторое время высыхает и затвердевает, превращаясь в эластичную пленку, которая фиксирует и локализует загрязнение, препятствуя распространению по воздуху и поверхности.

Этот способ применяют также для предварительной защиты чистых поверхностей оборудования и помещений перед проведением операций, при которых возможно их радиоактивное загрязнение.

При проведении масштабных работ допускается использование специальной техники, например, авторазливочных станций АРС-14, поливочных машин, вертолетной техники.

Выпускаются в полиэтиленовых емкостях объемом от 1,0 литра (рис. 31). Транспортируются всеми видами транспорта при температу-

ре не ниже +5 °С. Хранятся в упакованном виде в крытых складских помещениях при температуре не ниже +5 °С, избегая перегрева упаковки. Срок годности не менее 6 месяцев со дня изготовления.



Рис. 31. Пылеподавляющие неснимаемые защитные полимерные покрытия марок «АК» и «СКС»

Технические характеристики пылеподавляющих неснимаемых защитных полимерных покрытий марок «АК» и «СКС» приведены в табл. 27.

Таблица 27. Технические характеристики пылеподавляющих неснимаемых защитных полимерных покрытий марок «АК» и «СКС»

Показатель	АК	СКС
Время защитного действия пленки, месяцев, не менее	α и β – 6	α – 24, β – 12
Температура составов и окружающего воздуха при проведении работ, °С	От +5 до + 30	
Расход на один слой, г/м ²	500	
Время высыхания пленок при температуре 25 ±10 °С (ГОСТ 19007–73), ч, не более	10 – 24	
Толщина пленки, мкм, не менее	200	
Радиационная стойкость пленок с сохранением значенной адгезии (ГОСТ 25645.331–91), Гр, не менее	1 × 10 ⁵	
Стойкость пленки к воздействию агрессивных сред (ГОСТ 9.403–80), сут, не менее	Пылеподавление: 180 Локализация: 120	
Температура самовоспламенения составов (ГОСТ 12.1.044–89), °С	395	
Прочность при ударе (ГОСТ 4765–73), см	От 40 до 50	
Твердость (ГОСТ 5233–89), усл. ед.	Пылеподавление: не менее 0,2 Локализация: от 0,1 до 0,4	
Износ от массы образца до истирания (ГОСТ 20811–75), %, не более	50	

6.2. Дезактивирующие снимаемые защитные полимерные покрытия марки «ВА»

Составы представляют собой водные растворы поливинилового спирта, ПАВ, комплексообразователей, кислот и пластификаторов. Они предназначены для сухой полимерной дезактивации и защиты различных поверхностей при проектировании, строительстве и эксплуатации атомных станций и других объектов отрасли, а также при проведении ремонтных и аварийных работ в зонах свободного, строгого режима (необслуживаемые, периодически обслуживаемые, обслуживаемые помещения) и на прилегающих территориях (промышленная площадка, санитарно-защитная зона, зона наблюдения). На сложных поверхностях рекомендуется армирование.

Характеристики составов и рекомендации по их выбору и применению в зависимости от назначения и условий эксплуатации приведены в ОСТ 95 10562–2001.

«ВА-501» используется в основном в условиях атомных станций от альфа- и бета-излучающих нуклидов.

«ВА-502» и «ВА-503» применяются в условиях комбинатов от бета-излучающих нуклидов.

«ВА-504» отличается более высокими прочностными характеристиками одновременно с дезактивирующей способностью, обладает достаточно высоким показателем времени защитного действия и может быть рекомендован как дезактивирующий состав с локализирующим, аккумулирующим (сорбирует, накапливает и удерживает поверхностью радиоактивные аэрозоли) и изолирующим эффектом от альфа- и бета-излучающих нуклидов.

Составы относятся к группе трудногорючих веществ, а покрытия – к группе горючих материалов со средней воспламеняемостью. Индекс распространения пламени равен нулю. На поверхности не должно быть проливов воды, растворов и других жидкостей.

На загрязненную поверхность наносят полимерный состав методами пневматического или безвоздушного распыления, наливом или кистью. Нанесенный состав через некоторое время высыхает и затвердевает, превращаясь в эластичную пленку, легко удаляемую вместе с загрязнением без нарушения очищаемой поверхности. Дезактивация достигается вследствие взаимодействия с радиоактивным загрязнением химических компонентов полимерного раствора с последующим включением загрязнения в твердую пленку, которая фиксирует и локализует загрязнение, предотвращает его распространение по поверхности и усиливает эффект дезактивации.

Этот способ применяют также для предварительной защиты чистых поверхностей оборудования и помещений перед проведением операций, при которых возможно их радиоактивное загрязнение.

Достоинства данного способа дезактивации:

- высокая эффективность дезактивационных работ;
- фиксация и локализация радиоактивных загрязнений;
- отсутствие жидких радиоактивных отходов (ЖРО);
- небольшой объем твердых радиоактивных отходов (ТРО) и простота их утилизации.

Так, количество ТРО примерно в 1000–2000 раз меньше, чем при жидкостной дезактивации. Образующиеся ТРО легко хранить и транспортировать, а обращение с ними не требует строительства специализированных коммуникаций и цехов. Таким образом, по сравнению с технологией жидкостной дезактивации сухая полимерная дезактивация является малоотходной.

Утилизируются ТРО в соответствии с требованиями санитарных правил обращения с радиоактивными отходами (СПОРО–2005).

Выпускаются в полиэтиленовых емкостях объемом от 1,0 литра. Транспортируются всеми видами транспорта при температуре не ниже + 5 °С (ВА-503 – не ниже минус 20 °С).

Хранятся в упакованном виде в крытых складских помещениях при температуре не ниже + 5 °С (ВА-503 – не ниже минус 20°С), избегая перегрева упаковки (рис. 32).

Срок годности не менее 12 месяцев со дня изготовления.



Рис. 32. Дезактивирующие снимаемые защитные полимерные покрытия марки «ВА»

В табл. 28 приведены технические характеристики дезактивирующих снимаемых защитных полимерных покрытий марки «ВА».

Таблица 28. Технические характеристики дезактивирующих снимаемых защитных полимерных покрытий марки «ВА»

Показатель	ВА-501	ВА-502	ВА-503	ВА-504
Коэффициент дезактивации по ГОСТ Р 50773–95	$\alpha - 1 \times 10^3$ $\beta - 1 \times 10^2$			
Температура окружающего воздуха при использовании составов, °С, не ниже	+5	– 20		+5
Рабочая температура составов, °С	От +5 до +30	От минус 10 до +30		От +5 до +30
Расход на один слой, г/м ²	200 ± 50			
Время высыхания пленок при температуре 20 ± 2 °С (ГОСТ 19007–73), ч, не более	10 – 24	2 – 3		10 – 24
Толщина пленки, мкм, не менее	Одного слоя:– 30 – 50 Рабочая:– 120			
Время защитного действия пленок, сут, не менее	Пылеподавление: 180		Локализация, изоляция: 120 Аккумуляция: 30	
Температура самовоспламенения составов (ГОСТ 12.1.044–89), °С	395			

6.3. Аэрозольное дезактивирующее средство Радез-Д

Средство представляет собой ароматизированный раствор ПАВ в смеси этанол-вода, комплексообразователей, органических кислот и пропеллента – хладона 12 (или другой аналогичный эвакуирующий агент) (рис. 33).

Предназначено для дезактивации кожных покровов человека. Используется в интервале температур окружающей среды от +10 °С до + 40 °С. Средство выпускается в аэрозольных металлических баллонах. Номинальная вместимость 750 см³ или 500 см³.

Способ применения: баллон встряхнуть, снять колпачок и присоединить трубку к клапану. Перевернуть баллон дном вверх и нажать на рычаг трубки. Выход пены регулируется силой нажатия на рычаг. Нанести пену в количестве 5–10 г на загрязненные участки кожи, через 1–2 минуты промокнуть тканью или фильтровальной бумагой или смыть струей воды.



Рис. 33. Аэрозольное дезинфицирующее средство Радdez-Д

6.4. Аэрозольное дезинфицирующее средство Радdez-П

Средство представляет собой ароматизированный раствор ПАВ в смеси этанол-вода, комплексообразователей, органических кислот и пропеллента – хладона 12 (или другой аналогичный эвакуирующий агент).

Предназначено для дезинфекции локальных участков поверхностей оборудования, помещений, металлических конструкций и т.д. Средство выпускается в аэрозольных металлических баллонах. Номинальная вместимость 750 см³ или 500 см³ (рис. 34).

Способ применения: баллон встряхнуть, снять колпачок и присоединить трубку к клапану. Перевернуть баллон дном вверх и нажать на рычаг трубки. Выход пены регулируется силой нажатия на рычаг. Нанести пену в количестве 10–30 г/м² на загрязненные участки поверхности, через 5–10 минут промокнуть тканью или фильтровальной бумагой или смыть струей воды.



Рис. 34. Аэрозольное дезактивирующее средство Радdez-II

Коэффициент дезактивации ГОСТ 27708–88 составляет 1×10^3 .

6.5. Аэрозольные пенные автономные дезактивирующие средства марки «Фон»

Средства представляют собой водно-спиртовой раствор ПАВ, комплексообразователей и органических кислот. В качестве носителя – инертные газы.

Предназначены для защиты от альфа- и бета-излучающих нуклидов:

«Фон-Э» (ТУ 6900-001-73039369–2005) – для дезактивации электрооборудования и приборов в сборе, без демонтажа. Не имеет аналогов, обладает высокой испаряемостью и проникаемостью в труднодоступные места;

«Фон-П» (ТУ 6900-002-73039369–2005) – для дезактивации различных поверхностей помещений, оборудования, инструментов и т.п.;

«Фон-К» (ТУ 6900-003-73039369–2005) – для дезактивации кожных покровов.

Средство в виде пены наносят на загрязненную поверхность. Чем выше жизнеспособность пены, тем лучше эффективность дезактивации. Через указанный промежуток времени поверхность промакивают тканью, фильтровальной бумагой и утилизируют как ТРО в соответствии с требованиями санитарных правил обращения с радиоактивными отходами (СПОРО–2005).

Применение аэрозольной упаковки позволяет оперативно проводить дезактивацию, не требует подводки электроэнергии, воздуха и т.д. Мелкодисперсная пена, образующаяся на выходе состава из баллона при дезактивации различных поверхностей, обладает высокой проникающей способностью, что особенно важно при дезактивации кожных покровов. Количество образующихся отходов при использовании аэрозольных средств минимально.

Выпускаются в аэрозольных алюминиевых баллонах объемом 0,3 и 0,65 л (рис. 35). Транспортируются всеми видами транспорта при температуре от –30 до +50 °С.

Хранятся в крытых складских помещениях при температуре от –30 до +50 °С, избегая перегрева. Срок хранения изделия не менее 12 месяцев со дня изготовления. Срок годности состава неограничен.



Рис.35. Аэрозольные пенные автономные дезактивирующие средства марки «Фон»

Технические характеристики аэрозольных пенных автономных дезактивирующих средств марки «Фон» приведены в табл. 29.

Таблица 29. Технические характеристики аэрозольных пенных автономных дезактивирующих средств марки «Фон»

Показатель	Фон-Э	Фон-П	Фон-К
Коэффициент дезактивации по ГОСТ 27708–88	50–100	1×10^5	880
Время действия, мин	От 10 мин до 1 сут	5–10	1–2
Рабочая температура средства и окружающего воздуха, °С	От –20 до +50	От +5 до +50	
Расход, г/м ²	0,5	10–30	5–15
Горючесть (ГОСТ 12.1.044–89), Токсичность (ГОСТ 12.1.005–88), Коррозионная агрессивность (РД 95 10366–89)	Безопасны		

6.6. Дезактивирующие рецептуры марки «ДЕЗ» (концентраты)

Средства представляют собой сухую порошкообразную смесь ПАВ и набор комплексобразующих добавок и органических кислот. Применяются в виде 1–2%-ного водного моющего раствора, т.е. приготавливаются непосредственно на месте применения.

Предназначены для дезактивации поверхностей:

«ДЕЗ-1» – окрашенных химически нестойкими эмалями от бета-излучающих нуклидов в виде дисперсионных аэрозолей с твердой дисперсной фазой (пылевидные загрязнения);

«ДЕЗ-2» – окрашенных щелочестойкими эмалями от бета-излучающих нуклидов в виде дисперсионных аэрозолей с твердой дисперсной фазой (пылевидные загрязнения);

«ДЕЗ-3» – окрашенных кислотостойкими эмалями от бета-излучающих нуклидов в виде дисперсионных аэрозолей с твердой дисперсной фазой (пылевидные загрязнения);

«ДЕЗ-4» – строительных и металлоконструкций от альфа- и бета-излучающих нуклидов в виде дисперсионных аэрозолей с жидкой (туман) и твердой (пылевидные загрязнения) дисперсными фазами;

«ДЕЗ-5» – окрашенных и неокрашенных из углеродистой стали с наличием коррозии (ржавчины) от альфа- и бета-излучающих нуклидов в виде дисперсионных аэрозолей с жидкой (туман) и твердой (пылевидные загрязнения) дисперсными фазами.

Раствором обрабатывают загрязненную поверхность механизированным распылением, обливанием, окунанием, кистью, моющей тканью и т.п.

Утилизируют как ЖРО в соответствии с требованиями санитарных правил обращения с радиоактивными отходами (СПОРО–2005).

Выпускаются в герметичных упаковках объемом от 100 г (рис. 36).

Транспортируются всеми видами транспорта при температуре от – 40 до +40 °С. Хранятся в крытых складских помещениях при температуре от – 40 до +40 °С, избегая перегрева и контакта с влагой.



Рис.36. Дезактивирующая комплексобразующая рецептура

Технические характеристики дезактивирующей рецептуры марки «ДЕЗ» приведены в табл. 30.

Таблица 30. Технические характеристики дезактивирующей рецептуры марки «ДЕЗ»

Показатель	ДЕЗ-1	ДЕЗ-2	ДЕЗ-3	ДЕЗ-4	ДЕЗ-5
Моющий раствор	Нейтральный	Щелочной	Кислотный	Окислительный	Травильный
Коэффициент дезактивации по ГОСТ 27708–88	45	50	250	$\alpha - 50$ $\beta - 1 \times 10^4$	$\alpha - 30$ $\beta - 250$
Рабочая температура раствора (РД 95 10366–89), °С	От +5 до +30				
Расход, г/м ²	125 ±25				
Пожаровзрывобезопасность (ГОСТ 12.1.044–89)	Безопасны				
Токсичность летучих компонентов (ГОСТ 12.1.005–88)	IV класс	II класс			
Коррозионная агрессивность, балл	По РД 95 10366–89 отсутствует			По ГОСТ 9.904–82 и ГОСТ 9.908–85	
				Не более 4	Отсутствует

7. РАСЧЕТ ЗАЩИТЫ ОТ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

7.1. Общие сведения

Воздействие на человека ионизирующего излучения может быть внешним, внутренним или смешанным (внешним и внутренним), поэтому меры защиты в зависимости от интенсивности и вида могут быть различны. Во всех случаях комплекс защитных мероприятий должен обеспечить снижение суммарной дозы от всех источников до уровня, не превышающего предельно допустимой дозы или предела дозы для соответствующей категории людей.

Технический персонал службы дозиметрии и радиационной безопасности предприятий (учреждений), как правило, не должен заниматься расчетом и конструированием основных технических средств защиты, но иногда все же приходится оперативно решать вопросы обеспечения безопасных условий работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений.

Защитой называют любую среду (материал), располагаемую между источником радиации и зоной размещения персонала или оборудования для ослабления потоков ионизирующих излучений. Защиту принято классифицировать по следующим признакам: назначению; типу; компоновке; форме; геометрии.

При выборе материалов защиты определяющими факторами являются защитные, механические и химические свойства материалов, их стоимость, масса и объем. Под защитными свойствами материалов понимают их замедляющую и поглощающую способность к активации под действием ионизирующих излучений; под механическими – механическую прочность, способность сохранять размеры; под химическими – стойкость к ионизирующим излучениям, к химическим реагентам, огнестойкость, нетоксичность.

В данном разделе рассмотрены упрощенные методы расчета защиты от ионизирующих излучений, нашедшие применение в деятельности служб дозиметрии и радиационной безопасности.

7.2. Защита от альфа-излучения

Защита от внешнего α -излучения не является проблемой, так как пробег даже самых высокоэнергетических α -частиц незначителен (в воздухе не превышает 10 см).

Установлен ряд эмпирических соотношений между пробегом α -частиц (см) в воздухе и их энергией (МэВ). Так, для расчетов в воздухе применяют формулу Гейгера (при $t = 15^\circ\text{C}$ и давлении 760 мм рт. ст.):

$$R_\alpha \approx 0,31 \cdot E_\alpha^{2/3},$$

а для любого вещества с атомной массой A формулу Брэгга:

$$R_{\alpha} \approx 10^{-4} \sqrt{AE_{\alpha}^3 / \rho},$$

где R_{α} – максимальный пробег, см;
 ρ – плотность вещества, г/см³;
 E_{α} – энергия α -частиц, МэВ.

Пробег α , β -частиц в воздухе и мягкой биологической ткани приведен в табл. 31. Реальную опасность α -частицы представляют при попадании их внутрь организма, где происходит непосредственный контакт излучения с тканью. Чтобы не допустить этого, необходимо выполнять комплекс санитарно-гигиенических и технических мероприятий, о которых сообщено в предыдущем материале практикума.

Таблица 31. Экстраполированные пробеги R , см, α и β -частиц в воздухе и мягкой биологической ткани

Энергия частиц, МэВ	α - частицы		β - частицы	
	R_{α}	R_T	R_{β}	R_T
0,05	0,06	—	2,7	0,00341
0,1	0,10	—	9,33	0,0118
0,6	0,38	—	148	0,168
1,0	1,52	$7,2 \cdot 10^{-4}$	292	0,335
1,5	1,74	$1,1 \cdot 10^{-3}$	476	0,555
2,0	1,01	$1,4 \cdot 10^{-3}$	659	0,776
3,0	1,67	$2,2 \cdot 10^{-3}$	1020	1,24
5,0	3,52	$4,4 \cdot 10^{-3}$	1690	2Д1
6,0	4,67	$5,5 \cdot 10^{-3}$	2050	2,56
8,0	7,36	$8,6 \cdot 10^{-3}$	2710	3,45
10,0	10,50	$1,2 \cdot 10^{-2}$	3350	4,29

7.3. Защита от бета-излучения

Для защиты персонала от внешнего β -излучения все операции с β -радионуклидами ведутся за экраном или в защитных шкафах. Расчет толщины защитного экрана не представляет сложной задачи, но необходимо иметь в виду, что при прохождении β -частиц через вещество возникает тормозное излучение, которое может существенно увеличить дозу излучения. При этом чем больше атомный номер вещества экрана, тем больше интенсивность тормозного излучения. Следовательно, для выбора экрана необходимо брать вещество с малым атомным номером Z .

Наиболее подходящими для этой цели являются оргстекло, различные пластические массы, алюминий, а при малой энергии β -частиц применяют железо и медь. На практике чаще всего толщина защитного экрана берется равной максимальному пробегу β -частиц.

Пробег β -частиц в воздухе зависит от их энергии и составляет от десятков до нескольких сот сантиметров. Для определения максимального пробега β -частиц в веществе в зависимости от их энергии предложены различные эмпирические формулы.

Максимальный пробег β -частиц в алюминии R_{Al} рассчитывают по формулам:

$$R_{Al} = 0,407 E_{\beta}^{1,38}, \text{ г/см}^2 \quad (0,15 \leq E_{\beta} \leq 0,8 \text{ МэВ}),$$

$$R_{Al} = 0,542 E_{\beta} - 0,133, \text{ г/см}^2 \quad (0,8 \leq E_{\beta} \leq 3 \text{ МэВ}),$$

где E_{β} – максимальная энергия β -спектра, МэВ.

По пробегу β -частиц в алюминии (R_{Al}) рассчитывают их массовый пробег R_{χ} в любом веществе:

$$R_{\chi} = R_{Al} (Z/A)_{Al} / (Z/A)_{\chi}, \text{ г/см}^2.$$

Линейный пробег β -частиц

$$R = R_{\beta} / \rho.$$

Пробег β -частиц в любой среде приблизительно во столько раз меньше или больше их пробега в воздухе, во сколько раз плотность данной среды больше или меньше плотности воздуха:

$$R_{\text{среды}} / R_{\text{возд.}} = \rho_{\text{возд.}} / \rho_{\text{среды}}.$$

Для приблизительной оценки линейных пробегов β -частиц в воздухе пользуются формулой

$$R_{\text{возд.}} \approx 400 E_{\beta}, \text{ см.}$$

Ослабление плотности потока β -частиц со сплошным спектром происходит по экспоненциальному закону:

$$\varphi = \varphi_0 \exp(-\mu_m d),$$

где φ_0 – плотность потока β -частиц, падающих на экран, $\text{част/см}^2 \text{ с}$;
 φ – плотность потока β -частиц за слоем поглотителя, $\text{част/см}^2 \text{ с}$;
 μ_m – массовый коэффициент ослабления, $\text{см}^2/\text{г}$;
 d – толщина защиты, г/см^2 .

Выведем формулу слоя половинного ослабления $\Delta_{1/2}$, которое уменьшает плотность потока β -частиц вдвое:

$$\varphi_2 / 2 = \varphi_0 \exp(-\mu_m \Delta_{1/2}),$$

откуда $\exp(-\mu_m \Delta_{1/2}) = 2^{-1}$; $\mu_m \Delta_{1/2} = \ln 2$.

Следовательно,

$$\Delta_{1/2} = \ln 2 / \mu_m = 0,693 / \mu_m, \text{ г/см}^2.$$

Массовый коэффициент ослабления β -частиц в алюминии определяется из эмпирической формулы

$$\mu_m = 22 / E_{\text{макс}}^{1,33}, \text{ см}^2/\text{г} \quad (0,5 \leq E_\beta \leq 6 \text{ МэВ}).$$

Тогда выражение для слоя половинного ослабления β -частиц в алюминии в зависимости от их энергии будет иметь следующий вид:

$$\Delta_{1/2} = 0,032 E_\beta^{1,33}, \text{ г/см}^2.$$

7.4. Защита от гамма-излучения

Защита от воздействия гамма-излучения может быть осуществлена временем, расстоянием и поглощающими экранами.

При расчете защиты будем пользоваться формулами для точечных источников гамма-излучения, т. е. источников, размеры которых малы по сравнению с расстоянием от них до облучаемого объекта. Закон ослабления нерассеянных гамма-квантов в защите («узкий пучок») описывается экспоненциальной зависимостью:

$$I_d = I_0 \times e^{-d/\lambda},$$

где I_d и I_0 – интенсивности излучения за защитой (толщиной d) и без нее;

λ – толщина материала, ослабляющая излучение в e раз (длина релаксации), зависящая от энергии излучения и защитного материала.

Для расчета интенсивности с учетом нерассеянного и рассеянного в защите излучений («широкий пучок») в формулу вводится множитель, называемый фактором накопления (отношение суммарных интенсивностей нерассеянного и рассеянного излучений к нерассеянному) и зависящий от энергии излучения, геометрии и углового распределения излучения источника, компоновки, состава и размеров защиты, взаимной ориентации источника, облучаемых объектов и защиты. Его величина может достигать нескольких десятков.

Связь между коэффициентом линейного ослабления μ и слоем половинного ослабления $d_{1/2}$ имеет вид: $\mu = 0,693 / d_{1/2}$. Тогда закон ослабления гамма-квантов в защите примет следующий вид (рис. 37):

$$I_d = I_0 \times e^{\frac{-0,693 \times d}{d_{1/2}}},$$

где d – полная толщина физической защиты.

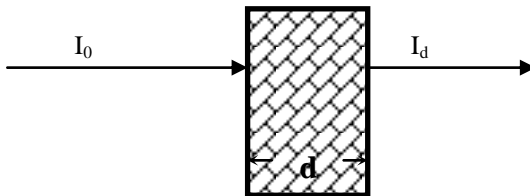


Рис. 37. К понятию закона ослабления гамма-излучения в защите

7.4.1. Расчет защиты от гамма-излучения при отсутствии защитных экранов

Экспозиционная доза $D_{\text{эксп}}$ (Р) и мощность экспозиционной дозы $P_{\text{эксп}}$ (Р/ч) на расстоянии R сантиметров от точечного источника в отсутствии защитного экрана вычисляется по следующим формулам:

$$\begin{aligned} D_{\text{эксп}} &= A \cdot \Gamma t / R^2 \text{ (Р)}; \\ D_{\text{эксп}} &= M \cdot 8,4 t / R^2 \text{ (Р)}; \\ P_{\text{эксп}} &= A \cdot \Gamma / R^2 \text{ (Р/ч)}; \\ P_{\text{эксп}} &= M \cdot 8,4 / R^2 \text{ (Р/ч)}. \end{aligned}$$

где A – активность нуклида в источнике, мКи;

Γ – гамма постоянная нуклида, $\text{Р} \cdot \text{см}^2 / (\text{ч} \cdot \text{мКи})$;

t – время работы, ч;

R – расстояние от источника до объекта облучения, см;

M – гамма-эквивалент нуклида, мг-экв Ra ;

8,4 – гамма-постоянная $Ra-226$, находящегося в равновесии с основными дочерними продуктами распада за платиновым фильтром толщиной 0,5 мм, $\text{Р} \cdot \text{см}^2 / (\text{ч} \cdot \text{мКи})$.

В случае, когда задана интенсивность гамма-излучения, она должна быть предварительно переведена в мощность физической дозы, поскольку для широкого пучка излучения законы ослабления мощности физической дозы и интенсивности не совпадают. Если N_γ – поток гамма-квантов, пересекающий площадь в 1 см^2 за 1 сек., а h_γ – энергия гамма-квантов в МэВ, то связь между мощностью физической дозы P_γ и интенсивностью выражается формулой

$$P_\gamma = \frac{N_\gamma \cdot h_\gamma \cdot \gamma \cdot 1,6 \cdot 10^6}{0,11} \text{ р/с} = 14,5 \cdot N_\gamma \cdot h_\gamma \cdot \gamma, \text{ мкР/с},$$

где γ – линейный коэффициент электронного преобразования γ -лучей в воздухе, численные значения которого приведены в приложении 8.

Эти формулы справедливы и для рентгеновского излучения точечных источников в непоглощающей и нерассеивающей среде.

При проектировании защиты принимается мощность эквивалентной дозы согласно НРБ–2000 при постоянном пребывании персонала в помещении (6 часов рабочий день и 36 часов рабочая неделя, рабочий год 1700 часов), которая равна 20 мЗв/год.

Из приведенных формул следует:

- доза излучения, полученная персоналом, прямо пропорциональна времени облучения, поэтому все операции с источниками ИИ необходимо предельно быстро;

- доза облучения прямо пропорциональна активности радионуклида, поэтому необходимо работать с минимально возможным количеством радионуклида;

- доза и мощность дозы убывают при удалении от точечного источника обратно пропорционально квадрату расстояния, поэтому все опе-

рации с радионуклидами необходимо проделывать по возможности на большом расстоянии от источника ИИ.

Защита временем, уменьшением количества радионуклида и защита расстоянием не всегда позволяют снизить дозу до предельно допустимого уровня, так как в производственных условиях нельзя безгранично уменьшать активность радиоактивных веществ, требующихся для работы, продолжительность работы или расстояние до источника. В этих случаях для защиты работающих используют специальные защитные экраны (защитные стенки, боксы, укрытия, сейфы, контейнеры и т. п.).

Для приближенных расчетов защиты временем, активностью или расстоянием часто пользуются номограммами (рис. 38).

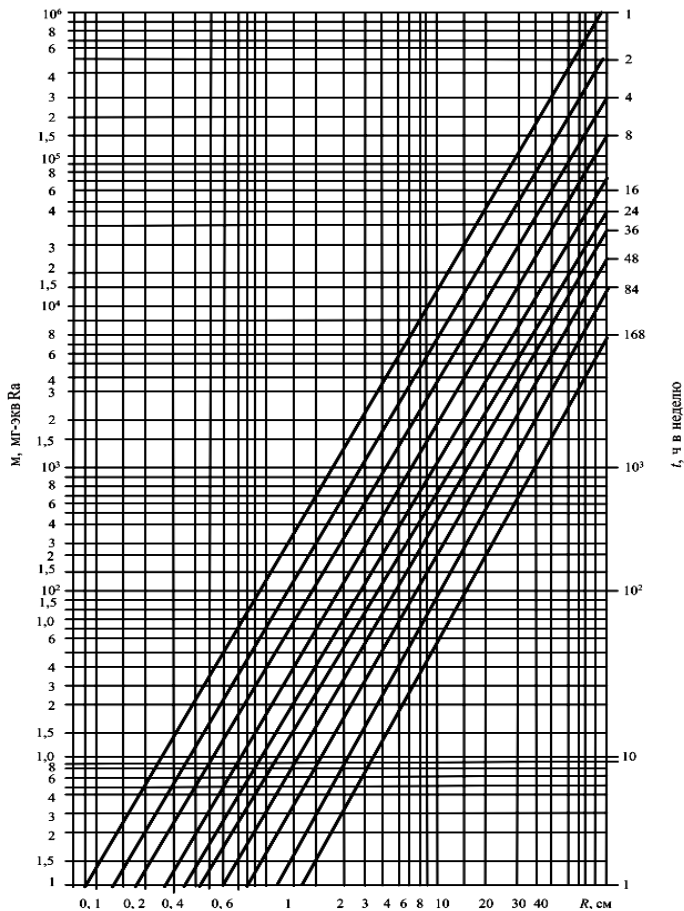


Рис. 38. Номограмма 3-го типа. Защита временем, активностью и расстоянием

7.4.2. Приближенный расчет защиты по слоям половинного ослабления

В практических расчетах для приближенного быстрого определения толщины защиты от гамма-излучающих источников конкретных радионуклидов можно использовать значения слоя половинного ослабления гамма-квантов в геометрии широкого пучка. Например, для $^{60}_{27}\text{Co}$ и $^{226}_{88}\text{Ra}$ значения $\Delta_{1/2}$ можно принять равными: для свинца – 1,3 см, железа – 2,4, бетона – 6,9 см (экспериментальные данные).

Кратность ослабления гамма-излучения определяется из соотношений:

$$K = D/D_{\text{дд}} \text{ или } K = P/P_{\text{дмд}},$$

где n – число слоев половинного ослабления.

Для обеспечения требуемой кратности ослабления n определяют из следующей приближенной зависимости:

K...	2	4	8	16	32	64	125	250	500	1000
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Соотношение между кратностью ослабления K и числом слоев половинного ослабления n в общем виде можно представить следующей формулой:

$$K = 2^n,$$

откуда $n = \lg K / \lg 2$.

При отсутствии экспериментальных данных слой половинного ослабления можно определить, пользуясь универсальными таблицами (приложения 3–6), рассчитанными для бесконечной геометрии защиты. В случае барьерной защиты при пользовании таблицами необходимо учитывать границы среды при помощи поправочных коэффициентов.

7.5. Защита от нейтронов

Все источники нейтронного излучения испускают быстрые нейтроны, которые, взаимодействуя с ядрами поглощающей среды, испытывают упругое и неупругое рассеяние. Вероятность того или иного процесса различна и зависит от энергии нейтронов и вещества, через которое проходят нейтроны.

Наиболее значимый вид взаимодействия быстрых нейтронов с энергией выше 0,5 МэВ – упругое столкновение с ядрами, при этом на более легких ядрах нейтроны теряют большую энергию. К таким материалам относятся водородосодержащие вещества (вода, тяжелая вода, парафин, полиэтилен, пластмассы и др.).

Наряду с упругим рассеянием нейтроны с энергией свыше 0,5 МэВ испытывают и неупругое рассеяние, причем для быстрых нейтронов с энергией выше 10 МэВ неупругое рассеяние становится столь же вероятным, как и упругое.

При неупругих столкновениях ядра поглотителя переходят в возбужденное состояние и, возвращаясь в основное состояние, испускают гамма-кванты или β -частицы.

В результате упругого и неупругого рассеяния быстрые нейтроны замедляются до тепловых. Тепловые нейтроны диффундируют через поглотитель, пока не выйдут за его пределы или не будут захвачены ядрами поглотителя по реакции (n, γ) . Поэтому защита от нейтронов одновременно должна обеспечить и защиту от гамма-излучения. Значит, защита от нейтронов должна быть многокомпонентной.

Под действием нейтронного излучения многие материалы активизируются и становятся радиоактивными. Поэтому при выборе защитных материалов предпочтительно следует отдавать материалам с малым сечением активации.

8. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ЗАЩИТЫ ОТ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Задание 1. Рассчитать активность радионуклида, с которым может работать сотрудник радиоизотопной лаборатории без защитного экрана на расстоянии R (приложение 2, табл. 1).

Задание 2. Рассчитать расстояние, на котором можно работать персоналу полную рабочую неделю без защитного экрана с источником активностью M (приложение 2, табл. 2).

Задание 3. Рассчитать время, в течение которого можно работать персоналу на расстоянии R от источника при полной рабочей неделе без защиты, если активность радионуклида на рабочем месте равна M (приложение 2, табл. 3).

Задание 4. Рассчитать дозу облучения при полной рабочей неделе для персонала, работающего на расстоянии R от источника с активностью M (приложение 2, табл. 4). Превышает ли она предел дозы?

Задание 5. Рассчитать экспозиционную дозу, создаваемую препаратом с активностью M на расстоянии R за время t (приложение 2, табл. 5). Превышает ли она предел дозы для персонала при полной рабочей неделе?

Задание 6. Рассчитать дозу излучения, полученную персоналом за год, если плотность потока гамма-излучения равна N_γ , а энергия гамма-квантов – E (приложение 2, табл. 6). Превышает ли она предел дозы за год?

Задание 7. Скорость образования ионов в малом замкнутом объеме воздуха при нормальных условиях оказалась равной n . Имеет ли место

электронное равновесие, если мощность экспозиционной дозы равна $P_{\text{эксп}}$ (приложение 2, табл. 7)?

Задание 8. Поглощенная доза гамма-излучения, измеренная в малом замкнутом объеме воздуха, при нормальных условиях оказалась равной $D_{\text{погл}}$. Имеет ли место электронное равновесие при экспозиционной дозе, равной $D_{\text{эксп}}$ (приложение 2, табл. 8)?

Задание 9. Мощность дозы гамма-излучения Cs-137 на поверхности источника равна P (приложение 2, табл. 9). Чему равно безопасное расстояние для населения?

Задание 10. Мощность дозы гамма-излучения Cs-137 на поверхности источника равна P (приложение 2, табл. 10). Чему равно безопасное расстояние для персонала?

Задание 11. На поверхности озера вследствие равномерного загрязнения радиоактивными продуктами деления измеренная мощность экспозиционной дозы равна P (приложение 2, табл. 11). Какое время можно работать при ликвидации аварии?

Задание 12. Требуется ли создание специальной защиты, если на рабочем месте персонала от источника ионизирующих излучений мощность дозы составляет P (приложение 2, табл. 12)? Доза излучения распределена в году равномерно.

Задание 13. Экспериментатор находится в центральном реакторном зале. Мощность поглощенной дозы гамма-излучения в биоткани равна P (приложение 2, табл. 13). Определите эквивалентную дозу за неделю. Превышает ли эта доза предел дозы для персонала?

Задание 14. При градуировке дозиметра используется Co-60. Сколько часов в день можно работать при шестидневной рабочей неделе, если расстояние от источника до рабочего места равно R ? Мощность дозы на поверхности источника равна P (приложение 2, табл. 14).

Задание 15. Доза облучения распределена в году равномерно. Мощность дозы на расстоянии R_1 равна P . Работник находится на расстоянии R_2 (приложение 2, табл. 15). Сколько часов в день можно работать без защиты?

Задание 16. Мощность дозы на рабочем месте равна P . Чему равна доза при кратности ослабления K раз (приложение 2, табл. 16)? Превышает ли она предел дозы за год для персонала?

Задание 17. Источник транспортируется двое суток. Расстояние между свинцовым контейнером и экспедитором составляет 2 м. Превышает ли доза облучения норму при мощности дозы на поверхности контейнера P (приложение 2, табл. 17)? Во сколько раз необходимо увеличить расстояние, если это необходимо, для полной рабочей недели?

Задание 18. Вблизи поверхности Земли на уровне моря за счет космических лучей образуется около N пар ионов в 1 см^3 воздуха за 1 с (приложение 2, табл. 18). Чему равна мощность экспозиционной и эквивалентной доз?

Задание 19. Уровень загрязнения поверхности спецобуви бета-излучающими радионуклидами (снимаемая активность) равен A_m , коэффициент снятия мазка равен K (приложение 2, табл. 19). Необходима ли дезактивация?

Задание 20. Уровень загрязнения поверхности помещений постоянного пребывания бета-излучающими радионуклидами (снимаемая активность) равен A_m , коэффициент снятия мазка равен K (приложение 2, табл. 20). Необходима ли дезактивация?

Задание 21. Мощность дозы гамма-излучения перед защитой равна P . Линейный коэффициент ослабления материала защиты равен μ (приложение 2, табл. 21). Чему равен слой полуослабления для данного материала?

Задание 22. Доза гамма-излучения перед защитой равна D . Линейный коэффициент ослабления материала защиты равен μ (приложение 2, табл. 22). Чему равен слой полуослабления для данного материала?

Задание 23. Доза излучения на рабочем месте за 6 ч составляет D (приложение 2, табл. 23). Сколько слоев полуослабления защиты необходимо для полной рабочей недели?

Задание 24. Мощность дозы гамма-излучения на рабочем месте составляет P (приложение 2, табл. 24). Сколько слоев полуослабления необходимо для полной рабочей недели?

Задание 25. Мощность дозы гамма-излучения, измеренная дозиметром, от открытого источника с энергией гамма-кванта, равной E_γ , составляет P (приложение 2, табл. 25). Определить толщину свинцовой защиты для полной рабочей недели (персонал).

Задание 26. Мощность дозы гамма-излучения, измеренная дозиметром, от открытого источника с энергией гамма-кванта, равной E_γ , составляет P (приложение 2, табл. 26). Определить толщину бетонной защиты для полной рабочей недели (персонал).

Задание 27. Мощность дозы гамма-излучения, измеренная дозиметром, от открытого источника с энергией гамма-кванта, равной E_γ , составляет P (приложение 2, табл. 27). Определить толщину защиты из железа для полной рабочей недели (персонал).

Задание 28. Мощность дозы гамма-излучения, измеренная дозиметром, от открытого источника с энергией гамма-кванта, равной E_γ , составляет P (приложение 2, табл. 28). Определить толщину защиты из воды для полной рабочей недели (персонал).

Задание 29. Мощность дозы в основном помещении при работе с гамма-источником с энергией гамма-кванта E_γ составляет P . Определить дополнительную защиту из бетона, при которой в смежном помещении смогут находиться люди, не относящиеся к персоналу. Толщина имеющейся защиты составляет ℓ (приложение 2, табл. 29).

Задание 30. Доза гамма-излучения, измеренная дозиметром, от открытого источника с энергией гамма-кванта, равной E_γ , за 6 ч состав-

ляет D (приложение 2, табл. 30). Определить толщину защиты из свинца для полной рабочей недели (персонал).

Задание 31. Доза гамма-излучения, измеренная дозиметром, от открытого источника с энергией гамма-кванта, равной E_γ , за 6 ч составляет D (приложение 2, табл. 31). Определить толщину защиты из бетона для полной рабочей недели (персонал).

Задание 32. Доза гамма-излучения, измеренная дозиметром, от открытого источника с энергией гамма-кванта, равной E_γ , за 6 ч составляет D (приложение 2, табл. 32). Определить толщину защиты из железа для полной рабочей недели (персонал).

Задание 33. Доза гамма-излучения, измеренная дозиметром, от открытого источника с энергией гамма-кванта, равной E_γ , за 6 ч составляет D (приложение 2, табл. 33). Определить толщину защиты из воды для полной рабочей недели (персонал).

Задание 34. Поглощенная энергия в биоткани стандартного состава составила W (приложение 2, табл. 34). Превышает ли эквивалентная доза предел дозы для персонала?

Задание 35. Поглощенная энергия в биоткани стандартного состава составила W (приложение 2, табл. 35). Превышает ли эквивалентная доза предел дозы для персонала?

Задание 36. Гамма-излучение в сухом атмосферном воздухе создало n пар ионов в 1 см^3 (приложение 2, табл. 36). Чему равна поглощенная доза в воздухе и биоткани? Превышает ли эквивалентная доза предел дозы для персонала?

Задание 37. Определить число слоев половинного ослабления N , уменьшающих интенсивность узкого пучка гамма-излучения в k раз (приложение 2, табл. 37).

Задание 38. Под действием космических лучей в воздухе объемом 1 см^3 на уровне моря образуется в среднем n пар ионов за 1 мин (приложение 2, табл. 38). Определить экспозиционную дозу гамма-излучения, действию которого подвергается человек за 1 сут.

Задание 39. На какую глубину необходимо погрузить в воду источник узкого пучка гамма-излучения с энергией E_γ , чтобы интенсивность пучка, выходящего из воды, была уменьшена в k раз (приложение 2, табл. 39).

Задание 40. Воздух при нормальных условиях облучается гамма-излучением. Определить энергию W , поглощаемую воздухом массой m , при экспозиционной дозе излучения X (приложение 2, табл. 40).

Задание 41. Определить для бетона толщину слоя половинного ослабления $d_{1/2}$ пучка гамма-излучения с энергией гамма-кванта E_γ (приложение 2, табл. 41).

Задание 42. Определить для воды толщину слоя половинного ослабления $d_{1/2}$ пучка гамма-излучения с энергией гамма-кванта E_γ (приложение 2, табл. 42).

Задание 43. Узкий пучок гамма-излучения с энергией E_γ проходит через бетонную плиту толщиной ℓ (приложение 2, табл. 43). Какой толщины плита из железа дает такое же ослабление данного пучка гамма-излучения?

Задание 44. Железная плита уменьшает интенсивность пучка гамма-излучения с энергией E_γ в k раз (приложение 2, табл. 44). Во сколько раз уменьшит интенсивность этого пучка свинцовая пластина такой же толщины?

Задание 45. На расстоянии 10 см от источника гамма-излучения мощность экспозиционной дозы равна P (приложение 2, табл. 45). На каком расстоянии экспозиционная доза за рабочий день не превысит предельно допустимую $D_{\text{доп}} = 5,16$ мкКл/кг? Поглощением гамма-излучением в воздухе пренебречь.

Задание 46. Мощность экспозиционной дозы гамма-излучения на расстоянии 40 см от источника равна P . Определить время, в течение которого можно находиться на расстоянии R от источника, если предельно допустимая экспозиционная доза $D_{\text{доп}} = 5,16$ мкКл/кг (приложение 2, табл. 46).

Задание 47. Определить для свинца толщину слоя полуослабления $d_{1/2}$ пучка гамма-излучения с энергией гамма-квантов E_γ (приложение 2, табл. 47).

Задание 48. Интенсивность пучка гамма-излучения после прохождения через слой железа толщиной ℓ уменьшилась в k раз (приложение 2, табл. 48). Определить энергию гамма-квантов и толщину слоя половинного ослабления.

Задание 49. Определить для железа толщину слоя полуослабления $d_{1/2}$ пучка гамма-излучения с энергией гамма-квантов E_γ (приложение 2, табл. 49).

Задание 50. Определить для воды толщину слоя полуослабления $d_{1/2}$ пучка гамма-излучения с энергией гамма-квантов E_γ и толщину слоя воды для кратности ослабления в k раз. (приложение 2, табл. 50).

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексахин, Р. М. Основы сельскохозяйственной радиологии / Р.М. Алексахин, – Минск: Урожай, 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. Куз ин, А. М. Прикладная радиобиология / А.М. Кузин, Д.А. Каушанский. – М.: Энергоатомиздат, 1981.
9. Основные положения и требования нормативных документов в практике обеспечения радиационной безопасности атомных станций / В.А. Кутьков [и др.]; под общей редакцией В.А. Кутькова и Б.А. Безрукова. – М., 2002.
10. М а ш к о в и ч, 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 «Дизкос», 2001.
12. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности. – Минск, РЦГЭ МЗ РБ, 2002.
13. Пристер, Б. С. Основы сельскохозяйственной радиологии / Б.С. Пристер.– Минск: Урожай, 1987.
14. Радиационная безопасность: рекомендации Международной комиссии по радиологической защите (1990 г.) // Пределы годового поступления радионуклидов в организм работающих. – М.: Энергоатомиздат, 1994.
15. Радиационная защита: рекомендации МКРЗ. – М.: Атомиздат, 1978.
16. Радиация. Дозы, эффект, риск. – М.: Мир, 1990.
17. С а л а м а т о в, И. И. Применение мощных источников гамма-излучения в народном хозяйстве Белоруссии / И.И. Саламатов. – Минск: Наука и техника, 1980.
18. Санитарные правила устройства и эксплуатации радиоизотопных приборов. – М.: Атомиздат, 1980.
19. Чернуха, Г. А. Радиационная безопасность: учеб. пособие / Г.А.Чернуха, Н.В. Лазаревич, Т.В. Лаломова. – Минск: ИВЦ Минфина, 2006.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Номера вариантов и заданий

Номер варианта	Номера заданий		Номер варианта	Номера заданий	
	1	2		1	2
01	1, 10, 32, 51, 83, 66, 84, 100		51	6, 16, 44, 68, 51, 83, 100, 91	
02	2, 11, 33, 52, 82, 65, 85, 99		52	7, 17, 45, 69, 52, 82, 99, 92	
03	3, 12, 34, 53, 81, 64, 86, 98		53	8, 18, 46, 70, 53, 81, 98, 93	
04	4, 13, 35, 54, 80, 63, 87, 97		54	9, 19, 47, 71, 54, 80, 97, 86	
05	5, 14, 36, 55, 79, 62, 88, 96		55	1, 20, 48, 72, 55, 79, 96, 87	
06	6, 15, 37, 56, 78, 61, 89, 95		56	2, 21, 49, 73, 56, 77, 95, 88	
07	7, 16, 38, 57, 77, 60, 90, 94		57	3, 22, 50, 74, 57, 60, 94, 89	
08	8, 17, 39, 58, 76, 83, 91, 100		58	4, 23, 32, 75, 58, 51, 93, 83	
09	9, 18, 40, 59, 75, 82, 92, 99		59	5, 24, 33, 76, 59, 83, 92, 88	
10	1, 19, 41, 60, 74, 81, 93, 96		60	6, 25, 34, 77, 60, 82, 91, 100	
11	2, 20, 42, 61, 73, 80, 94, 85		61	7, 26, 35, 78, 51, 81, 90, 98	
12	3, 21, 43, 62, 72, 79, 95, 84		62	8, 27, 36, 79, 52, 63, 89, 99	
13	4, 22, 44, 63, 71, 51, 96, 83		63	9, 28, 37, 80, 53, 62, 88, 97	
14	5, 23, 45, 64, 70, 52, 97, 82		64	1, 29, 38, 81, 54, 61, 87, 96	
15	6, 24, 46, 65, 69, 53, 98, 81		65	2, 30, 39, 82, 55, 66, 86, 95	
16	7, 25, 47, 66, 68, 54, 99, 80		66	3, 31, 40, 83, 56, 70, 85, 94	
17	8, 26, 48, 67, 83, 55, 100, 94		67	4, 10, 41, 51, 57, 83, 84, 89	
18	9, 27, 49, 68, 66, 56, 84, 99		68	5, 11, 42, 52, 83, 70, 84, 100	
19	1, 28, 50, 69, 65, 83, 85, 100		69	6, 12, 43, 53, 82, 71, 99, 86	
20	2, 29, 32, 70, 64, 82, 86, 98		70	7, 13, 44, 54, 81, 72, 98, 85	
21	3, 30, 33, 71, 63, 81, 87, 97		71	8, 14, 45, 55, 80, 73, 97, 84	
22	4, 31, 34, 72, 62, 80, 88, 96		72	9, 15, 46, 56, 69, 83, 96, 87	
23	5, 10, 35, 73, 61, 79, 89, 95		73	1, 16, 47, 57, 68, 82, 95, 86	
24	6, 11, 36, 74, 60, 51, 90, 84		74	2, 17, 48, 58, 67, 81, 94, 85	
25	7, 12, 37, 75, 59, 52, 91, 85		75	3, 18, 49, 59, 66, 80, 94, 86	
26	8, 13, 38, 76, 58, 83, 92, 86		76	4, 19, 50, 60, 83, 51, 92, 89	
27	9, 14, 39, 77, 57, 82, 93, 87		77	5, 20, 32, 61, 82, 52, 94, 100	
28	1, 15, 40, 78, 56, 51, 94, 88		78	6, 21, 33, 62, 81, 53, 89, 86	
29	2, 16, 41, 79, 55, 83, 95, 91		79	7, 22, 34, 63, 80, 54, 88, 100	
30	3, 17, 42, 80, 54, 62, 96, 84		80	8, 23, 35, 64, 79, 55, 87, 99	
31	4, 18, 43, 81, 54, 71, 97, 88		81	9, 24, 36, 65, 78, 56, 86, 98	
32	5, 19, 44, 82, 52, 72, 98, 100		82	1, 25, 37, 66, 77, 57, 85, 97	
33	6, 20, 45, 83, 51, 73, 99, 88		83	2, 26, 38, 67, 76, 58, 84, 96	
34	7, 21, 46, 51, 83, 74, 100, 87		84	3, 27, 39, 68, 51, 83, 90, 95	
35	8, 22, 47, 52, 82, 75, 84, 92		85	4, 28, 40, 69, 52, 82, 91, 100	
36	9, 23, 48, 53, 81, 76, 85, 93		86	5, 29, 41, 70, 54, 81, 92, 99	
37	1, 24, 49, 54, 80, 77, 86, 94		87	6, 30, 42, 71, 54, 80, 93, 98	
38	2, 25, 50, 55, 79, 62, 87, 95		88	7, 31, 43, 72, 55, 79, 94, 97	
39	3, 26, 32, 56, 78, 83, 88, 96		89	8, 10, 44, 73, 56, 78, 95, 84	
40	4, 27, 33, 57, 77, 82, 84, 97		90	9, 11, 45, 74, 57, 61, 96, 85	

1	2	1	2
41	5, 28, 34, 58, 76, 81, 90, 98	91	1, 12, 46, 75, 58, 83, 97, 86
42	6, 29, 35, 59, 75, 80, 91, 99	92	2, 13, 47, 76, 59, 82, 98, 87
43	7, 30, 36, 60, 74, 83, 92, 100	93	3, 14, 48, 77, 60, 81, 99, 88
44	8, 31, 37, 61, 73, 82, 93, 99	94	4, 15, 49, 78, 61, 80, 100, 77
45	9, 10, 38, 62, 72, 80, 94, 98	95	5, 16, 50, 79, 62, 51, 84, 97
46	1, 11, 39, 63, 71, 51, 95, 83	96	6, 17, 51, 80, 63, 52, 85, 96
47	2, 12, 40, 64, 70, 52, 96, 82	97	7, 18, 52, 81, 64, 53, 86, 95
48	3, 13, 41, 65, 69, 53, 97, 80	98	8, 19, 53, 82, 65, 54, 87, 100
49	4, 14, 42, 66, 68, 54, 98, 81	99	9, 20, 54, 83, 66, 55, 88, 99
50	5, 15, 43, 67, 78, 55, 99, 88	100	1, 21, 55, 51, 67, 83, 89, 98

Приложение 2

Таблица 1. Исходные данные

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R, м	0,1	0,3	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0

Таблица 2. Исходные данные

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
M, мг-экв. радия	0,3	0,7	1,0	1,2	1,4	1,8	2,0	2,5	3,0	4,0

Таблица 3. Исходные данные

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
M, мг-экв. радия	0,5	0,8	0,1	1,2	1,4	1,8	2,0	2,5	3,0	3,5
R, м	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,2	0,3	0,5	0,2

Таблица 4. Исходные данные

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
M, мг-экв. радия	0,3	0,5	0,9	2,0	1,4	1,8	2,0	2,4	3,0	4,0
R, м	0,5	0,6	0,8	1,5	1,0	1,5	2,0	1,5	3,0	4,0

Таблица 5. Исходные данные

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
M, мг-экв. радия	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4	2,0	2,5	3,0	0,5	1,6
R, м	0,9	0,5	1,5	0,9	1,0	1,2	2,0	2,5	0,6	3,0
t, ч	20	50	10	100	1700	400	200	800	70	300

Т а б л и ц а 6. Исходные данные

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$N\gamma$, квант/см ² ·с	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Е, МэВ	0,1	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0

Т а б л и ц а 7. Исходные данные

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
n, пар ионов/ см ³ ·10 ⁹	3,08	2,08	2,08	1,00	2,08	4,08	5,08	6,08	7,08	8,08
$R_{\text{экс.}}^{\text{эрг/см}^3}$	0,10	0,20	0,09	0,114	0,114	0,214	0,330	0,409	0,521	0,732

Т а б л и ц а 8. Исходные данные

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$D_{\text{экс.}}^{\text{Р}}$	0,8	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
$D_{\text{погл.}}^{\text{мГр}}$	91	114	183	272	341	480	568	810	795	909

Т а б л и ц а 9. Исходные данные

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Р, мкР/ч	25	30	40	50	60	70	80	90	100	200

Т а б л и ц а 10. Исходные данные

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Р, мР/ч	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0

Т а б л и ц а 11. Исходные данные

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Р, мкР/ч	400	600	800	1000	1400	1600	900	1500	1200	2000

Т а б л и ц а 12. Исходные данные

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Р, мкГр/ч	8	10	6	12	15	20	4	30	25	5

Т а б л и ц а 13. Исходные данные

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Р, мрад/ч	0,6	1,2	2,4	0,2	1,0	0,8	3,0	2,8	0,4	1,5

Таблица 14. Исходные данные

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R, см	4	6	8	10	15	20	30	40	50	70
P, мрад/ч	16	20	40	30	10	50	60	35	25	70

Таблица 15. Исходные данные

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R ₁ , м	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
R ₂ , м	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0
P, мГр/ч	0,2	0,4	0,01	0,6	2,8	0,8	0,5	1,0	3,0	4,0

Таблица 16. Исходные данные

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P, мБэр/ч	40	50	60	80	100	120	150	200	300	400
K, раз	4	6	8	10	5	6	8	10	20	12

Таблица 17. Исходные данные

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P ₀ , мрад/ч	2,4	4,8	3,6	6,0	1,2	3,0	1,8	8,0	4,0	2,0

Таблица 18. Исходные данные

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N, ионов/см ³ ·с	$2,08 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^6$	$0,1 \cdot 10^8$	$0,2 \cdot 10^8$	$0,3 \cdot 10^6$	$0,4 \cdot 10^7$	$0,5 \cdot 10^7$	$0,6 \cdot 10^7$	$0,7 \cdot 10^7$	$0,8 \cdot 10^7$

Таблица 19. Исходные данные

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A _м , част/см ² ·мин	500	1000	800	900	3000	1500	1700	1800	1900	2000
K	0,5	0,9	0,8	0,7	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,3

Таблица 20. Исходные данные

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A _м , част/см ² ·мин	1000	500	800	900	200	300	400	3000	4000	1500
K	0,1	0,5	0,6	0,9	0,4	0,3	0,8	0,7	0,2	0,4

Т а б л и ц а 21. **Исходные данные**

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P, \text{ мЗв/ч}$	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60
$\mu, \text{ см}^{-1}$	0,1	0,2	0,3	0,01	0,05	0,6	0,7	0,9	0,03	0,4

Т а б л и ц а 22. **Исходные данные**

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$D, \text{ мЗв}$	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900
$\mu, \text{ см}^{-1}$	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5

Т а б л и ц а 23. **Исходные данные**

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$D, \text{ мГр}$	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60

Т а б л и ц а 24. **Исходные данные**

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P, \text{ мБэр/ч}$	12	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Т а б л и ц а 25. **Исходные данные**

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$E_{\gamma}, \text{ МэВ}$	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
$P, \text{ мГр/ч}$	20	30	40	50	60	70	80	90	100	200

Т а б л и ц а 26. **Исходные данные**

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$E_{\gamma}, \text{ МэВ}$	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
$P, \text{ мР/ч}$	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80

Т а б л и ц а 27. **Исходные данные**

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$E_{\gamma}, \text{ МэВ}$	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
$P, \text{ мкЗв/ч}$	20	30	40	50	60	70	80	90	100	200

Т а б л и ц а 28. **Исходные данные**

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$E_{\gamma}, \text{ МэВ}$	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
$P, \text{ мБэр/ч}$	12	13	14	15	16	17	18	19	10	20

Таблица 29. Исходные данные

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E_{γ} , МэВ	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
P , мбэр/ч	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
ℓ , см	1,0	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0

Таблица 30. Исходные данные

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E_{γ} , МэВ	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
D , мР	110	120	130	140	150	160	170	180	290	400

Таблица 31. Исходные данные

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E_{γ} , МэВ	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
D , мкЗв	180	1000	150	2000	3000	1400	1500	1600	1700	800

Таблица 32. Исходные данные

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E_{γ} , МэВ	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
D , мкЗв	100	180	220	320	400	500	600	700	800	190

Таблица 33. Исходные данные

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E_{γ} , МэВ	0,2	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0
D , мкГр	120	130	140	150	160	170	180	190	200	110

Таблица 34. Исходные данные

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
W , эрг/ч	50	100	150	200	250	300	350	400	25	10

Таблица 35. Исходные данные

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
W , мДж/кг	10	20	15	5	25	30	35	40	45	50

Таблица 36. Исходные данные

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$n \times 10^9$, пар ионов/см ³	0,5	1,0	1,5	1,8	2,08	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0

Т а б л и ц а 37. **Исходные данные**

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
к, раз	50	100	150	200	250	300	350	400	500	600

Т а б л и ц а 38. **Исходные данные**

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
n, пар ионов/см ²	90	80	30	40	50	60	100	110	120	140

Т а б л и ц а 39. **Исходные данные**

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E _γ , МэВ	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
к, раз	100	200	300	400	500	700	1000	900	2000	3000

Т а б л и ц а 40. **Исходные данные**

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
m, г	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X, мкКл/кг	80	100	120	150	180	200	220	250	300	400

Т а б л и ц а 41. **Исходные данные**

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E _γ , МэВ	0,3	0,5	0,7	0,9	1,25	1,5	2,0	3,0	6,0	8,0

Т а б л и ц а 42. **Исходные данные**

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E _γ , МэВ	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,25	1,5	2,0	3,0	4,0

Т а б л и ц а 43. **Исходные данные**

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E _γ , МэВ	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0	2,2	3,0	4,0	6,0	8,0
ℓ, м	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,6	1,8

Т а б л и ц а 44. **Исходные данные**

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E _γ , МэВ	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0	2,2	3,0	4,0	6,0	8,0
к, раз	5	10	20	30	40	80	100	200	500	1000

Т а б л и ц а 45. **Исходные данные**

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P , мкА/кг	0,93	0,63	0,70	0,86	1,05	1,39	0,50	2,10	1,90	2,48

Т а б л и ц а 46. **Исходные данные**

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P , мкА/кг	2,6	3,1	3,9	4,3	4,7	5,3	6,0	7,0	7,5	8,0
R , м	7,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	3,0	2,5	7,0

Т а б л и ц а 47. **Исходные данные**

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E_{γ} , МэВ	0,5	1,0	1,25	1,5	2,0	2,2	3,0	4,0	6,0	8,0

Т а б л и ц а 48. **Исходные данные**

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ℓ , см	6,3	12,1	16,3	15,1	11,2	43,2	20,7	13,0	27,4	10,4
k , раз	10	60	80	30	8	5000	10000	20	200	8

Т а б л и ц а 49. **Исходные данные**

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E_{γ} , МэВ	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	2,2	6,0	8,0	10,0

Т а б л и ц а 50. **Исходные данные**

Показатели	Последняя цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E_{γ} , МэВ	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0	2,2	3,0	4,0	6,0	8,0
k , раз	5	10	20	30	40	80	100	200	500	1000

**Универсальные таблицы расчета толщины защиты в зависимости от кратности ослабления и энергии
гамма-квантов (широкий пучок).
Толщина защиты из свинца, см ($\rho = 11,34 \text{ г/см}^3$)**

80

Кратность ослабления k	Энергия гамма-излучения, МэВ																								
	0,1	0,14	0,2	0,28	0,3	0,4	0,41	0,5	0,6	0,66	0,7	0,8	0,9	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,2	2,75	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
1,5	0,05	0,07	0,1	0,14	0,15	0,2	0,2	0,2	0,3	0,36	0,4	0,6	0,7	0,85	0,95	1,1	1,2	1,2	1,27	1,27	1,3	1,2	1,0	0,9	0,9
2	0,1	0,14	0,2	0,28	0,3	0,4	0,41	0,5	0,7	0,76	0,8	1,0	1,15	1,3	1,5	1,7	1,85	2,0	2,0	2,07	2,1	2,0	1,6	1,5	1,35
5	0,2	0,30	0,4	0,56	0,6	0,9	0,92	1,1	1,5	1,74	1,9	2,2	2,5	2,8	3,4	3,8	4,1	4,3	4,4	4,54	4,6	4,5	3,8	3,3	3,0
8	0,2	0,3	0,5	0,64	0,8	1,1	1,15	1,5	1,95	2,20	2,35	2,85	3,2	3,5	4,2	4,8	5,25	5,5	5,7	5,8	5,9	5,8	5,0	4,3	3,8
10	0,3	0,4	0,55	0,8	0,9	1,3	1,34	1,6	2,1	2,4	2,6	3,05	3,5	3,8	4,5	5,1	5,6	5,9	6,1	6,4	6,5	6,4	5,5	4,9	4,2
20	0,3	0,4	0,6	1,0	1,1	1,5	1,6	2,0	2,6	3,0	3,25	3,85	4,4	4,9	5,8	6,6	7,2	7,6	7,8	8,1	8,3	8,2	7,1	6,3	5,6
30	0,35	0,5	0,7	1,0	1,15	1,7	1,8	2,3	3,0	3,4	3,65	4,3	4,95	5,5	6,5	7,3	8,0	8,5	8,8	9,1	9,3	9,2	8,0	7,2	6,3
40	0,4	0,6	0,8	1,20	1,3	1,8	1,9	2,4	3,1	3,5	3,8	4,5	5,2	5,8	6,85	7,8	8,6	9,1	9,4	9,8	10,0	9,9	8,7	7,8	6,8
50	0,4	0,6	0,85	1,28	1,4	1,95	2,0	2,6	3,25	3,7	3,7	4,6	5,3	6,0	7,2	8,2	9,0	9,6	10,0	10,4	10,6	10,5	9,2	8,3	7,3
60	0,45	0,6	0,9	1,3	1,45	2,05	2,1	2,7	3,45	3,9	4,2	4,95	5,6	6,3	7,5	8,6	9,5	10,1	10,4	10,8	11,0	10,9	9,7	8,7	7,7
80	0,45	0,7	1,0	1,4	1,55	2,15	2,2	2,8	3,7	4,2	4,5	5,3	6,0	6,7	8,0	9,2	10,1	10,7	11,1	11,5	11,7	11,6	10,4	9,4	8,2
100	0,5	0,7	1,0	1,5	1,6	2,3	2,4	3,0	3,85	4,4	4,7	5,5	6,3	7,0	8,45	9,65	10,6	11,3	11,7	12,0	12,2	12,1	10,9	9,9	8,7
2·10 ²	0,6	0,8	1,25	1,8	1,9	2,6	2,7	3,4	4,4	4,9	5,3	6,3	7,2	8,0	9,65	11,1	12,2	12,9	13,4	13,8	14,0	13,8	12,6	11,4	10,2
5·10 ²	0,65	1,0	1,4	2,0	2,2	3,1	3,2	4,0	5,1	5,7	6,1	7,2	8,2	9,2	11,3	12,9	14,2	15,0	15,4	15,9	16,3	16,1	14,9	13,3	11,9
10 ³	0,7	1,0	1,5	2,2	2,4	3,3	3,4	4,4	5,7	6,5	6,95	8,1	9,2	10,2	12,3	14,1	15,5	16,5	17,0	17,7	18,0	17,8	16,5	15,1	13,3
2·10 ³	0,85	1,2	1,7	2,5	2,7	3,8	3,9	5,0	6,3	7,1	7,6	8,8	10,0	11,1	13,5	15,4	16,8	17,9	18,5	19,3	19,7	19,5	18,1	16,6	14,8
5·10 ³	0,9	1,3	1,9	2,8	3,0	4,2	4,4	5,5	7,0	7,9	8,5	9,9	11,2	12,4	14,9	17,0	18,6	19,8	20,5	21,5	21,9	21,7	20,3	18,5	16,6
10 ⁴	1,05	1,5	2,1	3,0	3,3	4,55	5,7	5,9	7,5	8,5	9,1	10,6	12,0	13,3	16,1	18,3	20,1	21,3	22,1	23,1	23,5	23,4	22,0	20,1	18,0
2·10 ⁴	1,1	1,6	2,2	3,2	3,5	4,85	5,0	6,3	8,0	9,0	9,7	11,3	12,8	14,2	17,2	19,5	21,4	22,7	23,5	24,6	25,1	25,0	23,6	21,7	19,5
5·10 ⁴	1,15	1,65	2,35	3,4	3,7	5,2	5,4	6,9	8,7	9,8	10,5	12,3	14,0	15,6	18,8	21,4	23,3	24,7	25,5	26,7	27,3	27,2	25,8	23,7	21,5
10 ⁵	1,15	1,7	2,4	3,5	3,8	5,4	5,6	7,2	9,2	10,4	11,1	13,0	14,8	16,5	20,1	22,7	24,7	26,2	27,0	28,3	28,9	28,9	27,5	25,3	22,9
2·10 ⁵	1,3	1,85	2,6	3,8	4,1	5,7	5,9	7,6	9,6	10,8	11,6	13,6	15,5	17,4	21,3	24,1	26,1	27,6	28,5	29,9	30,5	30,5	29,2	26,9	24,3
5·10 ⁵	1,4	2,0	2,8	4,1	4,4	6,1	6,3	8,2	10,2	11,5	12,3	14,4	16,5	18,5	22,3	25,4	27,8	29,5	30,4	32,0	32,7	32,7	31,4	28,9	26,3
10 ⁶	1,45	2,1	3,0	4,3	4,7	6,5	6,8	8,7	10,9	12,2	13,1	15,3	17,5	19,5	23,5	26,8	29,2	31,0	32,0	33,6	34,3	34,4	33,0	30,4	27,7
2·10 ⁶	1,55	2,2	3,2	4,6	5,0	7,0	7,2	9,1	11,5	13,0	14,0	16,3	18,5	20,4	24,4	27,8	30,5	32,4	33,5	35,2	36,0	36,1	34,6	32,0	29,2
5·10 ⁶	1,65	2,3	3,3	4,9	5,3	7,3	7,6	9,6	12,1	13,7	14,7	17,2	19,5	21,6	26,2	29,7	32,3	34,3	35,5	37,2	38,1	38,3	36,8	34,0	31,1
10 ⁷	1,7	2,4	3,4	4,5	5,4	7,6	7,9	10,1	12,6	14,2	15,2	17,8	20,3	22,5	27,5	31,2	33,9	35,8	37,0	38,9	39,7	39,9	38,4	35,5	32,5

Толщина защиты из железа, см ($\rho = 7,89 \text{ г/см}^3$)

Кратность ослабления k	Энергия гамма-излучения, МэВ																								
	0,1	0,14	0,2	0,28	0,3	0,4	0,41	0,5	0,6	0,66	0,7	0,8	0,9	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,2	2,75	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
1,5	0,5	0,7	0,9	1,1	1,2	1,4	1,4	1,6	1,7	1,8	1,85	2,0	2,05	2,1	2,15	2,2	2,3	2,4	2,5	2,0	2,7	2,8	2,9	2,4	2,0
2	0,7	0,9	1,2	1,6	1,7	2,2	2,2	2,5	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	3,3	3,45	3,6	3,8	3,9	4,1	4,3	4,4	4,5	4,6	4,0	3,4
5	1,4	1,9	2,5	3,2	3,4	4,1	4,2	4,8	5,1	5,3	5,5	5,7	6,1	6,4	6,9	7,4	7,8	8,1	8,3	8,7	8,9	9,4	9,6	9,0	8,0
8	1,7	2,3	3,1	4,0	4,2	5,1	5,2	5,8	6,3	6,5	6,7	7,1	7,5	7,8	8,5	9,1	9,6	10,1	10,3	10,9	11,2	11,6	12,1	11,2	10,4
10	1,9	2,5	3,5	4,4	4,6	5,6	5,7	6,3	6,8	7,1	7,3	7,7	8,1	8,5	9,3	10,0	10,6	11,0	11,4	11,9	12,2	12,6	13,2	12,4	11,4
20	2,3	3,1	4,3	5,4	5,7	6,8	6,9	7,7	8,3	8,6	8,8	9,4	9,8	10,3	11,3	12,2	13,0	13,6	14,1	14,9	15,3	15,9	16,6	16,0	15,0
30	2,4	3,3	4,5	5,8	6,2	7,5	7,6	8,5	9,2	9,6	9,8	10,4	10,9	11,4	12,6	13,6	14,4	15,1	15,6	16,6	17,0	17,7	18,8	18,0	17,0
40	2,5	3,5	4,8	6,2	6,6	8,0	8,1	9,1	9,8	10,2	10,5	11,1	11,7	12,2	13,3	14,4	15,3	16,1	16,6	17,6	18,2	19,1	20,4	19,4	18,4
50	2,9	3,9	5,2	6,7	7,1	8,4	8,5	9,5	10,3	10,7	11,0	11,6	12,2	12,7	13,9	15,1	16,1	16,9	17,5	18,6	19,1	20,0	21,5	20,6	19,6
60	3,1	4,1	5,6	7,1	7,5	8,8	8,9	9,8	10,7	11,1	11,4	12,1	12,7	13,2	14,5	15,7	16,7	17,6	18,2	19,4	19,9	21,0	22,4	21,4	20,6
80	3,2	4,3	5,9	7,3	7,7	9,2	9,3	10,4	11,2	11,7	12,0	12,7	13,4	14,0	15,5	16,3	17,8	18,7	19,4	20,6	21,2	22,2	24,0	23,0	22,0
100	3,4	4,5	6,1	7,7	8,1	9,6	9,7	10,8	11,7	12,2	12,5	13,2	13,9	14,5	16,1	17,3	18,5	19,5	20,2	21,5	22,1	23,3	25,0	24,0	23,1
2·10 ²	4,2	5,4	7,0	8,7	9,1	10,7	10,9	12,0	13,1	13,6	14,0	14,8	15,6	16,3	18,0	19,6	20,8	22,0	22,8	24,3	25,0	26,6	28,4	27,4	26,6
5·10 ²	4,4	5,8	7,7	9,6	10,1	12,0	12,2	13,7	14,9	15,6	16,0	17,0	17,9	18,7	20,6	22,3	23,7	25,0	25,9	27,9	28,8	30,6	32,7	32,0	31,2
10 ³	4,5	6,1	8,2	10,4	11,0	13,2	13,4	15,0	16,3	17,0	17,5	18,6	19,6	20,5	22,6	24,4	26,1	27,5	28,6	30,7	31,7	33,7	36,0	35,4	34,6
2·10 ³	4,9	6,6	9,0	10,7	11,1	14,4	14,6	16,2	17,7	18,5	19,0	20,2	21,2	22,2	24,5	26,5	28,3	30,0	31,2	33,5	34,6	36,8	39,2	38,7	37,9
5·10 ³	5,6	7,5	10,1	11,9	13,4	15,8	16,0	17,7	19,3	20,1	20,7	22,0	23,2	24,3	27,0	29,4	31,4	33,3	34,3	36,9	38,2	40,7	43,2	43,0	42,2
10 ⁴	6,8	8,8	11,5	13,0	14,7	17,1	17,3	19,0	20,7	21,6	22,3	23,6	24,9	26,0	28,8	31,3	33,6	35,5	36,9	39,6	40,9	43,7	46,5	46,3	45,2
2·10 ⁴	8,0	10,1	12,9	15,3	16,0	18,3	18,5	20,2	21,9	22,8	23,4	24,8	26,3	27,6	30,6	33,2	35,6	37,8	39,2	42,0	43,4	46,5	50,8	49,6	48,6
5·10 ⁴	8,6	10,8	13,8	16,3	17,0	19,6	19,9	21,8	23,6	24,6	25,2	26,9	28,4	29,9	33,0	35,9	38,4	40,8	42,3	45,7	47,2	50,4	55,0	54,0	53,0
10 ⁵	10,0	12,4	15,8	17,7	18,2	20,8	21,1	23,0	24,9	26,0	26,7	28,4	30,0	31,5	34,9	38,0	40,7	43,2	44,7	48,3	50,0	53,4	58,3	57,2	56,1
2·10 ⁵	11,3	13,2	15,9	18,6	19,3	21,8	22,1	24,1	26,1	27,3	28,1	29,9	31,6	33,3	36,8	40,1	43,0	45,4	47,1	50,9	52,6	56,4	61,8	60,8	59,8
5·10 ⁵	12,0	14,1	16,9	19,7	20,4	23,2	23,5	25,6	27,8	29,1	29,9	31,8	33,6	35,4	39,1	42,5	45,5	48,3	49,9	54,5	56,1	60,2	66,0	65,0	64,0
10 ⁶	12,8	14,5	17,9	20,6	21,4	24,2	24,5	26,7	28,9	30,2	31,2	33,3	35,2	37,0	41,1	44,7	47,8	50,6	52,3	56,8	58,8	63,3	69,0	68,3	67,0
2·10 ⁶	13,5	15,8	18,9	21,4	22,1	25,0	25,3	27,7	30,3	31,8	32,7	34,8	36,8	38,7	42,9	46,6	49,9	52,8	54,7	59,1	61,4	66,2	72,3	71,2	70,3
5·10 ⁶	14,5	16,8	19,4	22,4	23,2	26,5	26,8	29,3	32,2	33,7	34,6	36,7	38,8	40,9	45,5	49,4	52,7	55,7	57,7	62,6	64,9	70,3	76,5	75,5	74,8
10 ⁷	15,0	17,2	20,3	23,5	24,3	27,6	27,9	30,5	33,2	34,8	35,8	38,1	40,2	42,4	47,1	51,3	54,8	57,9	60,1	65,1	67,5	73,1	79,4	78,8	78,0

Толщина защиты из бетона, см ($\rho = 2,3 \text{ г/см}^3$)

Кратность ослабления k	Энергия гамма-излучения, МэВ											
	0,1	0,14	0,2	0,28	0,3	0,4	0,41	0,5	0,6	0,66	0,7	0,8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1,5	2,6	3,5	4,7	6,0	6,3	7,5	7,6	8,2	8,2	8,2	8,2	8,3
2	4,7	5,9	7,6	9,4	9,9	11,3	11,4	12,3	12,4	12,4	12,4	12,6
5	5,6	7,9	11,0	14,6	15,5	18,8	19,1	21,1	21,8	22,1	22,3	22,6
8	7,0	9,5	12,9	16,8	17,8	22,0	22,3	24,6	25,6	26,1	26,4	27,2
10	8,2	10,9	14,6	18,6	19,7	23,7	23,9	25,8	26,8	27,3	27,6	28,4
20	8,2	11,2	15,3	20,1	21,4	25,8	26,3	29,9	31,9	32,9	33,6	35,0
30	8,5	11,8	16,4	21,5	22,8	27,7	28,3	32,9	34,8	35,8	36,4	37,8
40	8,5	12,3	17,6	22,8	24,2	29,6	30,1	34,0	36,2	37,2	37,9	39,6
50	9,9	13,2	18,8	23,8	25,1	30,8	31,3	35,0	37,6	38,8	39,4	41,2
60	11,0	14,8	20,0	24,8	26,1	31,7	32,3	36,4	38,5	39,7	40,5	42,5
80	11,5	15,2	20,4	26,2	27,7	33,6	34,2	38,7	41,1	42,3	43,0	44,8
100	11,5	15,9	21,1	27,3	28,9	35,2	35,8	39,9	43,0	44,4	45,3	47,2
$2 \cdot 10^2$	12,7	17,1	23,5	30,5	32,4	39,2	39,8	44,6	47,9	49,5	50,5	52,6
$5 \cdot 10^2$	13,8	18,3	24,6	33,0	35,2	43,9	44,7	50,5	54,5	56,2	57,3	58,8
10^3	15,5	20,8	28,2	36,9	39,2	48,1	48,9	55,2	59,2	61,1	62,5	65,3
$2 \cdot 10^3$	17,6	23,0	30,5	39,8	42,3	52,4	53,3	59,9	64,1	66,1	67,4	70,4
$5 \cdot 10^3$	18,8	24,8	33,1	43,0	45,6	56,4	57,6	65,7	70,0	72,4	74,0	77,0
10^4	18,8	25,7	35,2	45,7	48,5	60,3	61,4	69,3	74,7	77,4	79,1	82,9
$2 \cdot 10^4$	21,1	28,4	38,4	49,1	51,9	63,4	64,5	72,8	78,2	81,2	83,1	87,3
$5 \cdot 10^4$	23,3	31,3	42,3	53,4	56,4	68,6	69,7	78,1	83,4	86,6	88,7	93,4
10^5	30,5	38,9	50,5	61,6	64,6	75,1	76,0	82,8	88,3	91,5	93,5	98,1
$2 \cdot 10^5$	38,3	46,0	56,7	67,9	69,8	79,4	80,3	86,9	92,4	95,8	97,7	102,8
$5 \cdot 10^5$	44,8	51,8	61,5	71,1	73,7	83,7	84,6	91,6	98,1	101,6	103,9	109,5
10^6	49,3	56,5	66,4	77,0	79,8	89,8	90,7	97,4	103,7	107,0	109,2	114,1
$2 \cdot 10^6$	57,6	64,1	73,1	82,1	84,5	93,3	94,2	101,0	107,4	111,2	113,6	119,7
$5 \cdot 10^6$	59,4	67,9	79,7	88,3	91,6	100,6	101,5	108,0	114,1	117,8	120,2	126,0
10^7	64,0	72,8	84,9	93,4	95,7	104,7	105,4	110,3	117,4	121,2	123,6	130,0

Продолжение

Кратность ослабления k	Энергия гамма-излучения, МэВ												
	0,9	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,2	2,75	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
1	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1,5	8,3	8,5	8,6	8,7	8,7	8,8	8,9	9,2	9,4	10,0	11,7	11,7	11,7
2	12,7	12,9	13,3	13,6	13,8	14,1	14,3	15,0	15,3	16,4	18,8	18,8	18,8
5	23,0	23,5	24,6	25,8	27,0	28,2	29,4	31,8	32,9	35,2	38,7	39,3	39,9
8	27,9	28,8	30,5	32,2	33,8	35,2	36,4	38,8	39,9	43,2	48,1	48,7	49,3
10	29,1	29,9	31,9	34,0	35,9	37,7	39,0	42,0	43,4	47,5	51,6	52,8	54,0
20	36,2	37,0	39,9	42,5	44,8	47,0	48,6	52,3	54,0	58,7	64,6	65,7	69,3
30	39,2	40,5	43,7	46,5	49,3	51,6	53,5	57,9	59,9	65,7	71,6	72,8	78,1
40	41,3	42,8	45,3	49,8	52,8	55,2	57,3	61,9	64,0	69,8	77,5	79,2	84,5
50	42,8	44,6	48,5	52,1	55,2	58,1	60,1	64,8	66,9	72,8	81,6	83,9	89,8
60	44,1	45,8	50,1	54,0	57,5	60,5	62,7	67,6	69,8	74,0	85,1	88,0	93,9
80	46,5	48,1	52,4	56,4	59,9	63,4	65,7	71,4	74,0	81,0	90,4	93,9	100,4
100	48,8	50,5	54,5	58,3	62,2	65,7	68,6	74,7	77,5	84,5	95,1	98,0	105,1
2·10 ²	54,6	56,4	60,8	65,3	69,7	74,0	77,2	84,6	88,0	95,7	108,0	112,1	120,9
5·10 ²	62,5	64,6	69,8	74,8	79,8	84,5	88,5	97,1	101,0	110,4	124,4	129,7	139,7
10 ³	67,8	70,4	76,1	81,7	87,6	92,7	97,0	106,6	110,9	120,9	137,9	143,2	155,0
2·10 ³	73,2	75,7	82,2	88,5	94,6	100,4	104,0	115,6	120,9	132,1	150,3	156,1	168,5
5·10 ³	80,2	82,8	90,2	97,4	104,2	110,9	115,5	127,8	132,7	146,8	166,7	173,8	186,7
10 ⁴	86,2	89,2	97,2	104,5	111,5	118,6	124,7	137,4	143,2	156,7	179,0	187,8	201,3
2·10 ⁴	91,1	94,5	102,7	110,8	118,6	126,2	131,7	146,1	152,6	167,3	190,8	201,9	216,0
5·10 ⁴	97,9	102,1	111,5	120,4	128,4	136,2	142,0	159,1	164,9	181,4	206,6	218,4	233,6
10 ⁵	102,5	106,8	116,9	126,6	135,7	144,4	150,7	166,6	173,8	191,4	218,4	231,3	248,9
2·10 ⁵	108,0	112,7	125,1	135,6	145,1	153,8	160,2	171,9	177,3	201,9	231,3	245,4	263,0
5·10 ⁵	114,8	119,7	133,8	142,5	152,6	162,0	169,2	187,6	196,0	214,8	247,1	261,8	281,2
10 ⁶	119,5	124,4	140,2	149,8	160,6	171,4	178,6	193,0	205,4	225,4	260,6	274,7	295,8
2·10 ⁶	125,6	131,5	148,4	157,8	169,2	179,6	187,2	205,4	213,7	237,1	272,4	287,6	308,8
5·10 ⁶	113,7	133,8	154,7	165,8	178,0	189,0	197,8	218,4	227,8	250,1	287,6	302,9	327,5
10 ⁷	136,2	142,0	160,0	170,8	183,6	194,9	203,4	225,8	236,0	259,4	299,4	314,6	340,5

Толщина защиты из воды, см ($\rho = 1,0 \text{ г/см}^3$)

Кратность ослабления k	Энергия гамма-излучения, МэВ																								
	0,1	0,14	0,2	0,27	0,3	0,4	0,41	0,5	0,6	0,66	0,7	0,8	0,9	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,2	2,75	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
1,5	19	21	23	23	23	22	21,9	21	21	20,4	20	20	20	20	19	19	19	20	20	20,7	21	22	23	25	25
2	21	24	27	28	28	28	28	28	27	27	27	27	28	28	28	28	29	30	31	33	34	35	39	41	41
5	25	30	37	42	43	45	45	46	47	17	47	48	49	50	52	54	56	59	61	65	67	71	83	89	93
8	27	33	41	47	49	52	52	54	54	54	54	56	57	58	62	66	68	72	74	79	81	89	105	13	120
10	30	36	45	50	51	54	54	57	57	57	58	60	61	62	66	70	74	78	80	85	88	97	115	24	131
20	33	40	50	58	60	64	64	68	69	70	71	72	74	76	82	87	91	96	99	107	111	125	144	159	170
30	37	44	54	63	65	70	70	73	75	76	77	79	81	83	89	94	100	105	109	118	122	139	162	178	190
40	38	46	57	66	69	74	74	77	80	81	82	84	87	89	95	101	106	112	116	126	131	149	173	192	204
50	39	48	60	69	71	77	77	80	83	84	85	88	90	93	99	106	112	118	122	133	138	156	184	204	217
60	40	49	62	71	74	79	79	83	86	87	88	91	93	96	102	109	116	123	127	139	144	162	191	213	226
80	45	53	65	74	77	83	83	87	90	92	93	96	99	102	110	116	123	130	134	147	153	171	204	225	240
100	46	55	67	77	80	86	86	89	93	95	96	100	103	105	114	120	128	134	139	153	159	180	211	235	251
$2 \cdot 10^2$	48	58	73	84	87	94	95	99	103	105	107	111	115	118	127	135	143	152	157	172	179	204	242	268	285
$5 \cdot 10^2$	52	65	83	94	97	104	105	110	115	118	120	124	129	133	145	155	164	173	180	199	207	236	278	310	330
10^3	58	71	89	102	105	113	114	119	125	129	131	136	141	145	157	168	178	188	195	216	225	257	305	343	366
$2 \cdot 10^3$	63	76	95	108	112	120	121	128	134	138	140	146	152	156	170	182	193	204	212	235	245	280	330	372	398
$5 \cdot 10^3$	68	82	102	117	121	131	132	140	146	150	153	160	165	171	185	199	212	224	234	259	271	308	368	413	443
10^4	74	89	109	125	129	139	140	148	155	159	162	169	177	183	198	213	227	241	251	278	290	330	393	444	477
$2 \cdot 10^4$	80	94	114	131	135	147	148	157	165	169	172	180	187	194	211	227	243	258	270	298	311	354	420	475	511
$5 \cdot 10^4$	82	98	121	139	144	157	158	168	177	182	185	193	201	208	227	244	261	277	290	320	334	383	457	516	556
10^5	88	104	126	145	150	164	165	176	185	190	194	203	211	220	240	259	276	294	306	308	353	404	484	547	590
$2 \cdot 10^5$	90	108	133	152	157	172	173	184	194	199	203	213	221	231	252	272	290	308	322	356	372	426	511	578	622
$5 \cdot 10^5$	97	115	140	160	166	182	181	195	205	212	216	226	236	246	268	289	310	329	343	389	397	454	543	616	665
10^6	102	120	146	166	172	189	191	203	213	220	224	234	245	254	279	302	324	345	360	396	417	478	57	649	701
$2 \cdot 10^6$	110	128	153	173	179	195	197	211	221	228	232	242	252	262	287	310	334	357	363	412	435	498	597	677	733
$5 \cdot 10^6$	120	136	160	181	187	205	207	221	234	242	247	258	270	281	308	333	357	379	397	440	462	528	633	719	778
10^7	129	145	167	187	193	212	214	229	242	250	256	269	280	292	318	345	370	393	411	458	480	549	659	748	810

Коэффициенты ослабления гамма-излучения некоторыми веществами, (см⁻¹).

W, МэВ	Свинец	Вода	Алюминий	Железо	Графит	Воздух
0,10	65,0	0,171	0,455	2,91	0,342	$2,00 \cdot 10^{-4}$
0,15	22,8	0,151	0,371	1,55	0,304	$1,76 \cdot 10^{-4}$
0,20	11,1	0,137	0,328	1,15	0,277	$1,59 \cdot 10^{-4}$
0,30	4,43	0,119	0,280	0,865	0,241	$1,38 \cdot 10^{-4}$
0,40	2,62	0,106	0,249	0,740	0,214	$1,23 \cdot 10^{-4}$
0,50	1,80	0,966	0,227	0,661	0,196	$1,12 \cdot 10^{-4}$
0,80	0,999	0,0786	0,184	0,526	0,159	$9,13 \cdot 10^{-5}$
1,0	0,798	0,0279	0,165	0,471	0,143	$8,21 \cdot 10^{-5}$
1,5	0,591	0,0575	0,135	0,382	0,117	$6,68 \cdot 10^{-5}$
2,0	0,518	0,0493	0,116	0,334	0,0999	$5,74 \cdot 10^{-5}$
3,0	0,475	0,0396	0,0950	0,284	0,0801	$4,63 \cdot 10^{-5}$
4,0	0,472	0,0340	0,0834	0,260	0,0684	$3,98 \cdot 10^{-5}$
5,0	0,480	0,0302	0,0761	0,247	0,0603	$3,54 \cdot 10^{-5}$
8,0	0,519	0,0242	0,0651	0,233	0,0482	$2,87 \cdot 10^{-5}$
10	0,552	0,0220	0,0619	0,233	0,0439	$2,62 \cdot 10^{-5}$
15	0,628	0,0193	0,0584	0,241	0,0380	$2,31 \cdot 10^{-5}$
20	0,694	0,0180	0,0578	0,250	0,0351	$2,19 \cdot 10^{-5}$
30	0,792	0,0170	0,0584	0,269	0,0329	$2,08 \cdot 10^{-5}$
40	0,863	0,0166	0,0603	0,285	0,0320	$2,06 \cdot 10^{-5}$
50	0,915	0,0166	0,0616	0,299	0,0320	$2,08 \cdot 10^{-5}$

Линейный коэффициент электронного преобразования гамма-лучей в воздухе, γ (см⁻¹)

Энергия излучения, hν	γ , см ⁻¹ ·10 ⁻⁵	Энергия излучения, hν	γ , см ⁻¹ ·10 ⁻⁵
0,03	17,9	0,6	3,78
0,04	8,00	0,8	3,75
0,05	4,86	1,0	3,56
0,06	7,70	1,5	3,28
0,08	3,06	2	3,04
0,10	3,00	3	2,72
0,15	3,23	4	2,49
0,2	3,47	5	2,35
0,3	3,72	6	2,23
0,4	3,80	8	2,10
0,5	3,80	10	2,01

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Общие принципы защиты от ионизирующих излучений	4
2. Характеристика защитных материалов	7
3. Химический метод защиты	11
4. Техника и оборудование при работе с радиоактивными веществами и источниками ионизирующего излучения	14
4.1. Боксы защитные, шкафы вытяжные, фильтры и перчатки к ним	14
4.2. Сборники отходов, контейнеры, сейфы, пластикат.....	19
5. Индивидуальные средства защиты при работе с радиоактивными веществами	21
6. Дезактивация оборудования и средств защиты от ионизирующего излучения	50
6.1. Пылеподавляющие неснимаемые защитные полимерные покрытия марок «АК» и «СКС».....	50
6.2. Дезактивирующие снимаемые защитные полимерные покрытия марки «ВА» ..	52
6.3. Аэрозольное дезактивирующее средство Раддез-Д.....	54
6.4. Аэрозольное дезактивирующее средство Раддез-П	55
6.5. Аэрозольные пенные автономные дезактивирующие средства марки «Фон»	56
6.6. Дезактивирующие рецептуры марки «ДЕЗ» (концентраты).....	58
7. Расчет защиты от ионизирующего излучения	60
7.1. Общие сведения	60
7.2. Защита от альфа-излучения.....	60
7.3. Защита от бета-излучения	61
7.4. Защита от гамма-излучения	63
7.4.1. Расчет защиты от гамма-излучения при отсутствии защитных экранов.....	63
7.4.2. Приближенный расчет защиты по слоям половинного ослабления	66
7.5. Защита от нейтронов.....	66
8. Практические задания для расчета защиты от ионизирующего излучения.	67
Литература	71
Приложения	72

Учебное издание

Бушуев Юрий Николаевич
Азаренко Юрий Викторович

РАДИОМЕТРИЯ И ДОЗИМЕТРИЯ
ЗАЩИТА ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Практикум

Редактор *Е.А. Юрченко*
Техн. редактор *Н.Л. Якубовская*
Корректор *Л.С. Разинкевич*

Подписано в печать 19.12.2011.
Формат 60 × 84^{1/16}. Бумага для множительных аппаратов.
Печать ризографическая. Гарнитура “Таймс”.
Усл. печ. л. 5,11. Уч.-изд.л. 4,26.
Тираж 50 экз. Заказ .

Редакционно-издательский отдел БГСХА.
ЛИ №02330/0548504 от 16.06.2009.
213407, г. Горки Могилевской обл., ул. Студенческая, 2.
Отпечатано в отделе издания учебно-методической литературы, ризографии
и художественно-оформительской деятельности БГСХА.
г. Горки, ул. Мичурина, 5.