Государственное санитарно-эпидемиологическое нормирование
Российской Федерации

2.6.1. ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ,
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ

Методические указания
МУ 2.6.1.2117—06

Издание официальное

Москва • 2006

gost.e-ecolog.ru

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека

2.6.1. ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ,
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ

Методические указания
МУ 2.6.1.2117—06

ББК 51.26
Г46

Г46 **Гигиенические** требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ: Методические указания.—М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006.—43 с.

ISBN 5—7508—0647—2

1. Разработаны авторским коллективом в составе: А. Н. Барковский, Ю. П. Добренякин, Б. Ф. Воробьев (ФГУН НИИРГ им. проф. П. В. Рамзаева), Г. С. Перминова, О. В. Липатова (Роспотребнадзор).

2. Рекомендованы к утверждению Комиссией по государственному санитарно-эпидемиологическому нормированию Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (протокол № 2 от 11.07.06).

3. Утверждены Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г. Г. Онищенко 14 августа 2006 г.

4. Введены в действие с 1 октября 2006 г.

ББК 51.26

© Роспотребнадзор, 2006
© Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006

Содержание

1. Область применения 4
2. Нормативные ссылки 5
3. Основные понятия и определения 5
4. Общие положения 7
5. Требования к размещению ускорителей 11
6. Требования к эксплуатации ускорителей 17
7. Требования к пуско-наладочным и ремонтно-профилактическим работам 18
8. Радиационный контроль 19
9. Предупреждение аварий и ликвидация их последствий 21
Приложение 1. Образование радионуклидов при работе ускорителей электронов 23
Приложение 2. Допустимые концентрации токсичных веществ 26
Приложение 3. Расчет радиационной защиты ускорителя 27
Приложение 4. Вентиляция помещений ускорителя 36

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель Федеральной службы
по надзору в сфере защиты прав
потребителей и благополучия человека,
Главный государственный санитарный
врач Российской Федерации
Г. Г. Онищенко
14 августа 2006 г.
Дата введения: 1 октября 2006 г.

2.6.1. ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ,
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ

Методические указания
МУ 2.6.1.2117—06

1. Область применения

1.1. Настоящие методические указания (МУ) регламентируют требования к обеспечению радиационной безопасности населения и персонала при использовании ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ.

1.2. МУ разработаны с учетом требований «Основных санитарных правил обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99)» и «Норм радиационной безопасности (НРБ-99)», а также «Санитарных правил размещения и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ» № 1858—78.

1.3. МУ распространяются на все типы ускорителей электронов с энергией от 0,1 до 100 МэВ, используемых в радиационной технологии, промышленной дефектоскопии, стерилизации, лучевой терапии и для других целей.

1.4. МУ не распространяются на рентгеновские установки любого типа, установки для досмотра транспортных средств и крупногабаритных грузов, электронные микроскопы, электронные установки для нагрева, плавки и сварки металлов, электровакуумные приборы и установки, являющиеся источниками неиспользуемого рентгеновского излучения.

1.5. Требованиями настоящих МУ следует руководствоваться всем юридическим лицам, осуществляющим проектирование, конструирование, производство, размещение, эксплуатацию, ремонт и обслуживание ускорителей электронов.

2. Нормативные ссылки

2.1. Федеральный закон «О радиационной безопасности населения» № 3-ФЗ от 09.01.96.

2.2. Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» № 52-ФЗ от 30.03.99.

2.3. Федеральный закон «Об использовании атомной энергии» № 170-ФЗ от 21.11.95.

2.4. Постановление Правительства Российской Федерации от 25 февраля 2004 г. № 107 «Об утверждении положения о лицензировании деятельности в области использования источников ионизирующего излучения».

2.5. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99) СП 2.6.1.758—99.

2.6. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99) СП 2.6.1.799—99.

3. Основные понятия и определения

В рамках настоящего документа кроме терминов, приведенных в НРБ-99, дополнительно используются следующие термины:

Ускоритель электронов (ускоритель) – электрофизическое устройство, генерирующее поток электронов с энергией выше 0,1 МэВ.

Радиационная установка с ускорителем электронов (РУУЭЛ) – электрофизическая радиационная установка, предназначенная для облучения различных объектов, источником ионизирующего излучения в которой является ускоритель электронов.

Стационарная РУУЭЛ – РУУЭЛ, для размещения которой требуются специально оборудованные помещения.

Передвижная РУУЭЛ – РУУЭЛ, смонтированная и используемая на самоходных или несамоходных транспортных средствах (автомашина, вагон и т. п.).

РУУЭЛ с индивидуальной защитой – РУУЭЛ, в которой радиационная защита является элементом ее конструкции и непосредственно прилегает к источнику излучения и основным конструктивным узлам установки.

Система блокировки РУУЭЛ (ускорителя) – функциональная часть РУУЭЛ (ускорителя), обеспечивающая аварийное выключение ускорителя с целью обеспечения безопасности персонала.

Система сигнализации РУУЭЛ (ускорителя) – функциональная часть РУУЭЛ (ускорителя), информирующая о проведении радиационного процесса, превышении заданного уровня мощности дозы в радиационно опасной зоне (на рабочих местах), о состоянии отдельных функциональных частей РУУЭЛ (ускорителя).

Защитные каналы РУУЭЛ (ускорителя) – конструктивная часть радиационной защиты РУУЭЛ (ускорителя) в форме каналов и лабиринтов (криволинейные, многоколенчатые и др.), предназначенных для прокладки в рабочую камеру различных коммуникаций, доступа в нее персонала и обеспечивающих снижение интенсивности отраженного излучения до допустимых пределов.

Рабочая камера РУУЭЛ (ускорителя) – конструктивная часть РУУЭЛ (ускорителя), ограничивающая рабочую зону, в которой осуществляется непосредственное воздействие ионизирующего излучения на объекты облучения.

Пультовая – помещение постоянного пребывания персонала группы А, в котором расположен пульт управления и контроля за работой РУУЭЛ (ускорителя).

Радиационно опасная зона – зона, в пределах которой мощность дозы ионизирующего излучения может превышать 1,0 мкЗв/ч.

Запретный период – минимальное время между окончанием облучения и разрешением на вход в рабочую камеру, необходимое для уменьшения в ней концентрации токсичных веществ до заданных величин за счет ее вентилирования, а также снижения уровня излучения от наведенной активности конструкционных и других материалов в рабочей камере до допустимых величин.

Источники неиспользуемого рентгеновского излучения – электровакуумные устройства, работающие при ускоряющих напряжениях выше 5 кВ, при работе которых рентгеновское излучение образуется за счет торможения ускоренных электронов на внутренних деталях этих устройств (выпрямители, генераторные и модуляторные лампы, тиратроны, клистроны, плазменные установки, электронно-лучевые трубки и др.).

4. Общие положения

4.1. При работе ускорителя основными факторами радиационной опасности являются:

- выведенный из ускорителя пучок ускоренных электронов;
- тормозное излучение, возникающее при взаимодействии ускоренных электронов с окружающей средой;
- фотонейтроны, возникающие при взаимодействии высокоэнергетического тормозного излучения с ядрами веществ окружающей среды;
- другие виды ионизирующего излучения, возникающего при взаимодействии электронов и тормозного излучения с ядрами веществ окружающей среды;
- снимаемое радиоактивное загрязнение окружающей среды в рабочей камере ускорителя (помещении ускорителя), возникающее в результате активации пыли, металлов, испарения активированных материалов мишени и других узлов ускорителя под действием пучка электронов, проведения радиационных процессов и т. д. (сведения об образовании при работе ускорителя электронов некоторых радионуклидов с периодом полураспада более 5 мин приведены в прилож. 1);
- радиоактивные газы и аэрозоли, образующиеся при облучении компонентов воздуха и веществ, поступающих в него из облучаемых объектов, а также из активируемой воды, охлаждающей узлы ускорителя;
- неиспользуемое рентгеновское излучение от высоковольтной электронной аппаратуры ускорителя.

4.2. При работе ускорителя возникают и нерадиационные факторы опасности:

- тепловыделение от оборудования и коммуникаций;
- озон и окислы азота, образующиеся в результате радиолиза воздуха под действием ионизирующего излучения ускорителя (допустимые концентрации некоторых газообразных токсичных веществ, образование которых возможно при работе ускорителей электронов, приведены в прилож. 2);
- электромагнитные поля высоких и сверхвысоких частот, создаваемые системами питания ускорителей;
- шум, создаваемый аппаратурой ускорителей;
- токсичные вещества, выделяющиеся при облучении различных веществ;
- высокое напряжение;
- постоянные электрические и магнитные поля.

4.3. В зависимости от параметров пучка излучения и степени важности различных факторов опасности, перечисленных в п.п. 4.1 и 4.2, ускорители электронов подразделяются на две группы:

I группа – ускорители с максимальной энергией ускоренных электронов не более 10 МэВ. При такой энергии электронов фотоядерные реакции возможны лишь с отдельными изотопами (см. прилож. 1), и наведенная активность окружающей среды практически не представляет опасности для здоровья людей.

II группа – ускорители с максимальной энергией ускоренных электронов более 10 МэВ, но не более 100 МэВ. В этом случае фотоядерные реакции возможны с большинством изотопов, и неизбежна активация веществ окружающей среды, в том числе и воздуха, в рабочей камере ускорителя при его работе.

4.4. Техническая документация на ускоритель (технические условия, техническое описание, инструкция по монтажу, пуско-наладочным работам, эксплуатации и т. п.), а также проект его размещения в выделенных помещениях должны иметь санитарно-эпидемиологические заключения органов, осуществляющих государственный санитарно-эпидемиологический надзор. В технической документации должна быть определена категория потенциальной радиационной опасности ускорителя. При необходимости, проектом размещения ускорителя должна быть предусмотрена санитарно-защитная зона. Категория потенциальной радиационной опасности ускорителя и размеры его санитарно-защитной зоны (при необходимости) согласовываются санитарно-эпидемиологическим заключением на проект размещения ускорителя.

4.5. Обращение с ускорителями электронов (проектирование, конструирование, производство, размещение, эксплуатация, техническое обслуживание, хранение и утилизация ускорителей электронов, проектирование, конструирование, изготовление и эксплуатация средств радиационной защиты) на территории Российской Федерации разрешается только при наличии лицензии на осуществление соответствующего вида деятельности, связанной с генерирующими источниками ионизирующего излучения. Эксплуатация ускорителей допускается при наличии санитарно-эпидемиологического заключения на ускоритель как продукцию, представляющую потенциальную опасность для человека, и санитарно эпидемиологического заключения территориального органа, осуществляющего государственный санитарно-эпидемиологический надзор, о соответствии условий работы с ускорителем требованиям санитарных правил.

4.6. Медицинское использование ускорителей электронов допускается при наличии лицензии на медицинскую деятельность и регистрационного удостоверения Федеральной службы по надзору в сфере здравоохранения и социального развития на ускоритель, как на изделие медицинской техники.

4.7. Ускоритель и помещения, в которых он размещается, до начала эксплуатации должны быть приняты комиссией в составе представителей заинтересованных организаций и органов государственного надзора за радиационной безопасностью. Комиссия устанавливает соответствие принимаемого объекта (ускорителя, вспомогательного оборудования, помещений, в которых они размещены) технической документации, проекту размещения и требованиям действующих норм и правил, на основе чего принимается решение о возможности эксплуатации объекта. Решение комиссии оформляется актом приемки, в котором дополнительно указывается группа ускорителя, максимальная энергия и максимальный ток ускоряемых электронов, мощность дозы тормозного излучения (электронов) на расстоянии 1 м от мишени, а также разрешенный режим работы ускорителя.

4.8. На основании акта приемки территориальный орган, осуществляющий государственный санитарно-эпидемиологический надзор, оформляет санитарно-эпидемиологическое заключение о соответствии условий работы с ускорителем требованиям санитарных правил.

4.9. До начала эксплуатации ускорителя администрация эксплуатирующей организации обязана на основе настоящих МУ с учетом проводимых на нем работ и требований НРБ-99 и ОСПОРБ-99 разработать детальные инструкции по радиационной безопасности, регламентирующие действия персонала при эксплуатации и обслуживании ускорителя, инструкции по противопожарной безопасности и по действиям персонала в аварийных ситуациях. Эти инструкции утверждаются администрацией учреждения и согласовываются с территориальным органом, осуществляющим государственный санитарно-эпидемиологический надзор и Ростехнадзором.

4.10. До начала эксплуатации ускорителя администрация эксплуатирующей организации приказом утверждает список лиц, допущенных к работе с ним, обеспечивает их необходимое обучение, инструктаж и медицинский осмотр, назначает приказом по организации лиц, ответственных за радиационную безопасность и за производственный радиационный контроль.

Персонал должен знать инструкции, перечисленные в п. 4.9 настоящих МУ, уметь пользоваться защитными приспособлениями и оборудованием, санитарно-техническими устройствами, знать правила личной гигиены с учетом особенностей работы на ускорителе.

4.11. К непосредственной работе на ускорителе допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющие медицинских противопоказаний, отнесенные приказом руководителя учреждения к категории персонала группы А, имеющие разрешение (лицензию) на право ведения работ в области использования ускорителей электронов, прошедшие обучение по правилам работы на ускорителе и по радиационной безопасности и инструктаж и сдавшие зачет комиссии, назначаемой руководителем эксплуатирующей организации из числа наиболее квалифицированных специалистов, имеющих лицензии на право ведения работ в области использования ускорителей электронов. Результаты сдачи зачета оформляются протоколом, утверждаемым руководителем учреждения. Периодическая проверка знаний персоналом должностных инструкций и инструкций по технике безопасности и радиационной безопасности должна проводиться не реже 1 раза в год, руководящего состава – не реже 1 раза в 3 года. Результаты этих проверок должны фиксироваться в специальном журнале.

4.12. Женщины должны освобождаться от работы на ускорителе, связанной с воздействием ионизирующих излучений, на весь период беременности и грудного вскармливания ребенка.

4.13. Допуск к работе лиц, временно привлекаемых к работе на ускорителе, осуществляется в порядке, описанном в п. 4.11. Эти лица должны быть обучены правилам безопасности, личной гигиены, ознакомлены с инструкциями, перечисленными в п. 4.9 настоящих МУ (с регистрацией результатов проверки знаний в специальном журнале). Эти лица обязаны выполнять все правила внутреннего распорядка, действующие на ускорителе (РУУЭЛ).

4.14. На наружной поверхности РУУЭЛ с индивидуальной (местной) защитой, на наружной поверхности защиты, входных дверей и т. п. стационарной установки, на границе радиационно опасной зоны должны иметься знаки радиационной опасности, выполненные в соответствии с требованиями ГОСТ 17925—72 «Знак радиационной опасности», и предупреждающие плакаты (надписи), отчетливо видимые с расстояния не менее 3 метров.

4.15. Доступ лиц, не связанных непосредственно с работой на ускорителе, в пультовую, а также в радиационно опасную зону должен быть регламентирован.

4.16. Периодичность и объем работ по техническому обслуживанию ускорителя (РУУЭЛ) устанавливаются организацией-изготовителем и обеспечиваются администрацией учреждения, эксплуатирующего ускоритель (РУУЭЛ).

5. Требования к размещению ускорителей

5.1. Ускоритель I группы может быть расположен в производственном помещении или на промышленной площадке. При этом, радиационная защита ускорителя должна обеспечивать выполнение требований НРБ-99 и ОСПОРБ-99.

5.2. Ускоритель II группы должен размещаться в отдельном здании или отдельном крыле здания.

5.3. Запрещается использование помещений ускорителя для других целей без соответствующего разрешения территориального органа, осуществляющего государственный санитарно-эпидемиологический надзор.

5.4. Помещения ускорителя, технологически связанные с его эксплуатацией, следует размещать в едином комплексе. Состав, количество и размеры помещений определяются на стадии проектирования и зависят от назначения и группы ускорителя, объема и характера выполняемых работ.

5.5. В учреждении, где ускоритель используется в стационарных условиях, должны быть предусмотрены следующие помещения:

- рабочая камера (помещение для просвечивания, процедурная), не менее 40 $м^2$;
- пультовая, не менее 15 $м^2$;
- вспомогательные помещения, необходимые для обеспечения нормальной работы ускорителя и осуществления технологического процесса, состав, размер и оборудование которых определяется характером проводимых на ускорителе работ.

5.6. При проектировании помещений ускорителя II группы необходимо дополнительно предусмотреть помещение для умывальника с локтевым или ножным включением, душевую и место (помещение) для хранения и переодевания средств индивидуальной защиты, необходимых для проведения ремонтно-профилактических и аварийных работ. В этом помещении должно быть предусмотрено горячее и холодное водоснабжение.

5.7. В случае необходимости непосредственного наблюдения за работой ускорителя (процессом облучения), следует предусматривать устройство смотрового окна и (или) применение телевизионной установки.

5.8. При использовании ускорителя для медицинских целей должно быть предусмотрено двустороннее переговорное устройство для связи с пациентом во время процедуры облучения.

5.9. Допускается размещения высоковольтного оборудования ускорителя в подвальном или цокольном этаже здания при расположении рабочей камеры (процедурной) на первом этаже.

5.10. Теплообменники и другие устройства, обеспечивающие нормальную работу ускорителя, могут располагаться в подвальной части здания или непосредственно под полом рабочей камеры. В последнем случае, вход в это помещение разрешается только через специальный люк, расположенный в рабочей камере.

5.11. При использовании передвижного ускорителя в производственном помещении (цехе), его пульт управления должен устанавливаться отдельно от блока излучателя на расстоянии, обеспечивающем безопасные условия труда персонала. Для защиты персонала следует применять также защитные кабины. Маркировка радиационно опасной зоны производится в соответствии с п. 4.14 настоящих МУ с применением временных переносных ограждений и установкой знаков радиационной опасности и предупреждающих надписей.

5.12. В местах постоянного пребывания персонала (пультовая, вспомогательные помещения) должно быть предусмотрено естественное или искусственное освещение в соответствии с требованиями СНиП.

5.13. Стены и потолок рабочей камеры ускорителя II группы следует окрашивать масляной краской светлых тонов или покрывать слабосорбирующими материалами. К отделке рабочей камеры ускорителя I группы специальные требования не предъявляются.

5.14. Пол рабочей камеры ускорителя II группы следует покрывать слабосорбирующими материалами.

5.15. Пол в помещениях, где установлено высоковольтное оборудование ускорителя, следует покрывать электроизолирующим материалом.

5.16. Радиационная защита ускорителя должна изготовляться из материалов, наиболее эффективно ослабляющих потоки ускоренных электронов и вторичные излучения (тормозное, нейтронное и пр.), а также обеспечивающих наименьший выход вторичного излучения.

5.17. Радиационная защита от всех видов ионизирующего излучения, возникающего при работе ускорителя, должна проектироваться таким образом, чтобы суммарные годовые эффективные дозы облучения персонала и населения не превышали величин, регламентируемых НРБ-99 (20 мЗв/год для персонала группы А, 5 мЗв/год для персонала группы Б и 1 мЗв/год для всех остальных).

5.18. Проектирование радиационной защиты ускорителя производится исходя из приведенных в табл. 1 прилож. 3 допустимых величин мощности дозы излучения с учетом назначения помещения ускорителя, категории облучаемых лиц и длительности облучения, а также параметров ускорителя (максимальные энергия и ток ускоренных электронов, мощность дозы излучения на расстоянии 1 м от мишени ускорителя и др.). Расчет радиационной защиты ускорителя следует проводить в соответствии с прилож. 3.

5.19. При проектировании индивидуальной радиационной защиты ускорителя из тяжелых материалов (свинец, вольфрам и др.) рекомендуется помещать перед ними экраны из легких материалов (алюминий и т. п.) или облицовывать такими материалами поверхности конструкций внутри рабочей камеры для снижений выхода тормозного излучения.

5.20. При проектировании индивидуальной радиационной защиты ускорителя, состоящей из отдельных съемных защитных блоков, необходимо предусматривать специальные блокировки, исключающие возможность включения его в случае неправильной установки таких блоков.

5.21. Все проемы, коммуникационные и технологические каналы в радиационной защите должны быть спроектированы и изготовлены таким образом, чтобы обеспечивались условия радиационной безопасности для соответствующих помещений ускорителя.

5.22. Конструкция входа в рабочую камеру должна обеспечивать защиту примыкающих к нему помещений (лабиринт с дверью, защитная дверь и т. д.). Вход должен располагаться в местах с наименьшими уровнями излучения.

5.23. В тех случаях, когда в рабочей камере имеется вторая дверь (например, в дефектоскопической лаборатории для подачи изделий на просвечивание), необходимо также предусматривать ее защиту.

5.24. На ускорителе должна быть предусмотрена защита от высокочастотных и сверхвысокочастотных электромагнитных полей, а также от постоянных электрических и магнитных полей.

5.25. В конструкции блоков с источниками неиспользуемого рентгеновского излучения должны быть предусмотрены радиационная за-

щита и иные приспособления для защиты персонала (вывод ручек регулировки и клемм для подключения проверочных приборов на лицевую панель блоков, локальная защита источников излучения и др.).

5.26. Результаты проверки эффективности радиационной защиты регистрируются в акте приемки ускорителя в эксплуатацию.

5.27. Администрация учреждения организует производственный контроль за содержанием токсичных и агрессивных веществ в воздушной среде производственных и других помещений ускорителя, которые образуются при его работе (объем и порядок контроля должен быть предусмотрен при разработке проекта ускорителя), а также за исправностью и эффективностью работы вентиляции.

5.28. Рабочая камера ускорителя должна быть оборудована приточно-вытяжной вентиляцией с механическим побуждением, предназначенной для удаления продуктов радиолиза воздуха и других токсичных веществ, образующихся при осуществлении радиационных процессов (прилож. 4).

5.29. Вытяжные вентиляторы, обслуживающие рабочие камеры ускорителей II группы, должны быть дублированы резервными вентиляторами, имеющими производительность не менее $^1/_3$ от основных и оборудованными устройствами для автоматического их включения при выходе из строя или непредвиденной остановке основных вентиляторов. Время работы резервной вентиляции – до окончания технологического цикла (процесса), но не более половины рабочего дня. За этот срок должны быть приняты все меры к восстановлению нормальной работы основной вентиляции. Дальнейшая эксплуатация ускорителя должна начинаться только после полного восстановления и пуска основной вентиляции.

5.30. В ускорителе с индивидуальной защитой для удаления продуктов радиолиза воздуха и других токсичных веществ, образующихся при его работе, необходимо предусматривать местные отсосы воздуха из зоны действия пучка, выведенного из вакуумной системы ускорителя, и от объектов облучения, способных выделять токсичные вещества.

5.31. Системы вентиляции рабочих камер должны обеспечивать снижение концентрации токсичных веществ до допустимых величин после окончания работы ускорителя или по истечении запретного периода. Удаление загрязненного воздуха должно производиться только из рабочей камеры ускорителя – предпочтительно от мест возможного образования вредностей. В рабочих камерах необходимо обеспечивать разрежение не менее 5 мм вод. ст. Во всех случаях должен быть органи-

зован подпор воздуха из соседних помещений в рабочую камеру ускорителя.

Продолжительность запретного периода определяется расчетом, приведенным в прилож. 4.

5.32. Необходимость очистки воздуха, удаляемого из помещения ускорителя, определяется на стадии проектирования.

5.33. По согласованию с органами, осуществляющими государственный санитарно-эпидемиологический надзор, допускается удаление воздуха в атмосферу без очистки, если экспертным заключением компетентной организации обосновано, что удаляемые вредные вещества рассеиваются в атмосфере до допустимых величин даже при наиболее неблагоприятных метеорологических условиях для района размещения ускорителя.

5.34. Вентиляция пультовой и других помещений, технологически связанных с эксплуатацией ускорителя, должна обеспечивать кратность воздухообмена 3 по притоку и 4 по вытяжке.

5.35. Ускоритель должен иметь надежные системы блокировки и сигнализации, которые разрабатываются на стадии его проектирования.

5.36. Ускоритель должен быть оборудован не менее чем двумя полностью независимыми системами блокировки входной двери (люка) в рабочую камеру.

Одна система должна блокировать входную дверь в рабочую камеру при включении ускорителя; вторая – блокирует дверь в случае превышения внутри рабочей камеры ускорителя заданного уровня ионизирующего излучения.

5.37. Системы блокировки могут быть основаны, в частности, на использовании:

а) датчиков дозиметрических приборов, установленных в рабочей камере;

б) датчиков дозиметрических приборов, установленных в лабиринте;

в) датчиков, сигнализирующих о подаче воды или воздуха для охлаждения узлов ускорителя и т. п.

5.38. Все двери (люки) рабочей камеры ускорителя должны беспрепятственно открываться изнутри.

5.39. Ключ от замка входной двери в рабочую камеру должен находиться в специальном гнезде на пульте управления. При извлечении ключа из гнезда ускоритель должен автоматически выключаться. При вынутом ключе включение ускорителя должно быть исключено.

5.40. На выходе из рабочей камеры или лабиринта должно быть предусмотрено устройство включения блокировки входной двери.

5.41. Рабочая камера, оборудованная монтажными люками, должна иметь систему блокировки этих люков, к которой предъявляются те же требования, что и к системе блокировки входной двери в рабочую камеру.

5.42. Системы блокировки входной двери в рабочую камеру должны отключаться только после выключения ускорителя и окончания запретного периода, если он предусмотрен (рекомендации по расчету запретного периода приведены в прилож. 4).

5.43. В рабочей камере должна быть установлена звуковая и световая сигнализация, предупреждающая о необходимости немедленно покинуть рабочую камеру и лабиринт перед включением ускорителя.

5.44. Сигнализация (световая, звуковая) должна оповещать о превышении заданного уровня излучения на рабочих местах, при этом ускоритель должен автоматически выключаться.

5.45. Рабочая камера и пультовая должны быть оборудованы двусторонней переговорной связью.

5.46. На пульте управления ускорителя должен быть указан режим его эксплуатации, установлена сигнализация, информирующая об уровнях ионизирующих излучений в рабочей камере и на рабочих местах персонала, неполадках в работе вентиляторов или их остановке, а также обеспечена внешняя и внутренняя телефонная связь. При эксплуатации медицинских ускорителей дополнительно следует указать сведения о величине мощности дозы в рабочем пучке, используемых фильтрах и времени облучения больного.

5.47. На установке с ускорителем, оборудованной конвейером (или другим устройством для подачи объектов на облучение), должна быть исключена возможность попадания людей в рабочую камеру через проем конвейера (другого устройства) во время работы ускорителя. Мероприятия по предотвращению таких инцидентов разрабатываются на стадии проектирования.

5.48. Перед началом работы необходимо проверять исправность систем блокировки и сигнализации ускорителя.

5.49. При неисправности хотя бы одной из предусмотренных проектом блокировок включение ускорителя должно быть исключено.

5.50. Информация о неисправностях систем блокировки и сигнализации ускорителя должна фиксироваться в журнале оператора.

5.51. Блоки с источниками неиспользуемого рентгеновского излучения должны быть оборудованы блокировками, отключающими высокое напряжение при открывании дверцы.

6. Требования к эксплуатации ускорителей

6.1. Учреждение, использующее ускорители, должно иметь следующую документацию:

- санитарно-эпидемиологическое заключение на ускоритель как на продукцию, представляющую потенциальную опасность для человека;
- регистрационное удостоверение Федеральной службы по надзору в сфере здравоохранения и социального развития на ускоритель, как на изделие медицинской техники (только для РУУЭЛ используемой в медицинских целях, см. п. 4.6);
- лицензия на деятельность в области обращения с генерирующими источниками ионизирующего излучения, связанную с эксплуатацией ускорителя электронов;
- санитарно-эпидемиологическое заключение о соответствии условий работы с ускорителем требованиям санитарных правил;
- санитарно-эпидемиологическое заключение на проект размещения ускорителя;
- инструкцию по радиационной безопасности при работе с ускорителем;
- санитарные правила и иные нормативные и инструктивно-методические документы, регламентирующие требования радиационной безопасности при работе с ускорителем;
- эксплуатационную документацию производителя на ускоритель;
- протоколы дозиметрических измерений;
- приказ об отнесении работающих с ускорителем к персоналу группы А;
- приказ о назначении лиц, ответственных за радиационную безопасность и радиационный контроль;
- документ об обучении персонала по радиационной безопасности;
- лицензии на право проведения работ для персонала ускорителя;
- заключение медицинской комиссии о прохождении персоналом группы А предварительных и периодических медицинских осмотров;
- журнал регистрации инструктажа на рабочем месте;
- карточки учета индивидуальных доз облучения персонала.

6.2. Во время работы ускорителя на пульте управления и над входом в рабочую камеру должны гореть предупреждающие световые сигналы.

6.3. Администрация учреждения обеспечивает контроль за факторами нерадиационной опасности при работе ускорителя.

6.4. При использовании для охлаждения отдельных узлов ускорителей II группы воды с неизвестным составом посторонних примесей необходимо проводить ее химический анализ с целью обнаружения веществ, способных активизироваться в процессе облучения.

7. Требования к пуско-наладочным и ремонтно-профилактическим работам

7.1. Пуско-наладочные работы на ускорителе проводятся до его приемки комиссией при соблюдении требований безопасности и регламентируются местной инструкцией по проведению пуско-наладочных работ; при этом особое внимание должно быть уделено надежной работе систем радиационного контроля, блокировки, сигнализации и вентиляции помещений ускорителя. Программа пуско-наладочных работ и инструкция по их проведению должны быть согласованы с территориальным органом, осуществляющим государственный санитарно-эпидемиологический надзор.

7.2. Вывод ускорителя на номинальный режим работы осуществляется поэтапно, начиная с минимальных значений силы тока пучка, с последующим последовательным увеличением ее примерно в 10 раз. На каждом этапе работы ускорителя измеряются уровни излучения на наружных поверхностях радиационной защиты, уточняются размеры радиационно-опасной зоны. Кроме того, снимается детальное распределение полей излучения (картограммы дозных полей) в помещениях ускорителя и помещениях, смежных с ним.

При измерении уровней излучения особое внимание обращается на места прохождения технологических каналов в радиационной защите. Необходимо предусмотреть средства защиты на случай расфокусировки пучка электронов.

7.3. Для проведения каждой стадии ввода ускорителя в номинальный режим работы необходимо разрешение службы радиационной безопасности (лица, ответственного за радиационную безопасность) учреждения, в котором размещен ускоритель.

7.4. Пуско-наладочные и ремонтно-профилактические работы на ускорителе должны проводиться с учетом требований, изложенных в п. 4.4. На ускорителях II группы указанные работы должны проводиться только при наличии разрешения и под непосредственным контролем службы радиационной безопасности (лица, ответственного за радиационную безопасность) учреждения, в котором размещен ускоритель.

7.5. Пуско-наладочные и ремонтно-профилактические работы на ускорителе должны осуществляться специализированной организацией, имеющей соответствующую лицензию. Допускается проведение указанных работ специально обученным персоналом учреждения (имеющим лицензию), при наличии подробной инструкции по технологии проведения работ и обеспечению радиационной безопасности при их проведении, согласованной с территориальным органом, осуществляющим государственный санитарно-эпидемиологический надзор. Персонал, участвующий в пуско-наладочных или ремонтно-профилактических работах, должен быть обеспечен средствами индивидуальной защиты, необходимый набор которых определяется на стадии проектирования ускорителя.

8. Радиационный контроль

8.1. Радиационный контроль на ускорителе, а также контроль за соблюдением всеми работающими норм и правил радиационной безопасности осуществляется службой радиационной безопасности данного учреждения (лицом, ответственным за радиационную безопасность, назначенным приказом руководителя учреждения).

В том случае, когда в учреждении не проводится никаких других работ с источниками ионизирующих излучений, служба радиационной безопасности должна быть организована непосредственно на ускорителе. Численный состав службы (в зависимости от объема и характера проводимых работ), ее права и обязанности определяются администрацией учреждения по согласованию с территориальным органом, осуществляющим государственный санитарно-эпидемиологический надзор.

8.2. Система радиационного контроля в учреждении, эксплуатирующем ускоритель, должна разрабатываться на стадии проектирования и должна включать вопросы организации и проведения контроля за радиационной обстановкой и дозами облучения персонала. В проекте ускорителя должно быть также предусмотрено место (помещение) для службы радиационной безопасности и ее оснащение современной аппаратурой для проведения соответствующих замеров и анализов.

8.3. Объем, характер и периодичность радиационного контроля, а также учет и порядок регистрации его результатов определяются на стадии проектирования ускорителя, уточняются в зависимости от конкретной радиационной обстановки в эксплуатирующей организации и на прилегающей территории и согласовываются с территориальным органом, осуществляющим государственный санитарно-эпидемиологический надзор.

8.4. Система радиационного контроля при эксплуатации ускорителя должна включать:

• стационарный дозиметрический контроль за уровнями ионизирующих излучений (электронов, тормозного излучения и др.);

• индивидуальный дозиметрический контроль персонала;

• периодический контроль за уровнями ионизирующих излучений в радиационно опасной зоне, на наружной поверхности защиты, на рабочих местах персонала, в смежных помещениях с помощью переносных дозиметрических приборов* (периодичность контроля радиационной защиты стационарных ускорителей – два раза в год, передвижных ускорителей и ускорителей с индивидуальной защитой – один раз в месяц). Такой контроль должен проводиться также во всех случаях увеличений мощности ускорителя, при изменениях режима его эксплуатации и конструкции радиационной защиты. Результаты контроля должны регистрироваться в специальном журнале;

• контроль за наведенной активностью и мощностью дозы от активированных в процессе работы ускорителя конструкционных материалов и объектов облучения;

• контроль исправности систем блокировки и сигнализации.

8.5. На ускорителях II группы и на ускорителях I группы, где используют мишени из бериллия или трития, следует осуществлять периодический (не реже двух раз в год, а также при изменении характера работ) контроль за потоками нейтронов, уровнями радиоактивного загрязнения окружающей среды и объектов облучения, одежды и кожных покровов персонала, обусловленными наведенной активностью (периодичность контроля устанавливается инструкцией по радиационной безопасности), а также контроль за сбором, временным хранением и удалением радиоактивных отходов.

8.6. Индивидуальный дозиметрический контроль обязателен для всего персонала группы А.

8.7. Результаты радиационного контроля должны регистрироваться в специальных журналах. На всех лиц, работающих на ускорителе, заводятся карточки учета индивидуальных доз, в которых регистрируются квартальные и годовые эффективные дозы внешнего облучения персонала, а также суммарные дозы облучения за весь период работы. На ускорителях II группы дополнительно необходимо проводить контроль и

* Используемые для проведения таких измерений дозиметрические приборы должны быть защищены от воздействия высокочастотных электромагнитных полей.

учет доз облучения персонала при выполнении им ремонтно-профилактических и аварийных работ.

8.8. Карточки учета индивидуальных доз должны храниться в учреждении в течение 50 лет. В случае перехода работающего в другое учреждение, где проводятся работы с источниками ионизирующих излучений, копия карточки учета индивидуальных доз должна пересылаться на новое место работы. Оригинал должен храниться на прежнем месте работы.

8.9. Ежегодно для всего персонала организации, эксплуатирующей ускоритель, в установленном порядке заполняются формы федерального государственного статистического наблюдения № 1-ДОЗ, № 2-ДОЗ, а также радиационно-гигиенический паспорт организации.

9. Предупреждение аварий и ликвидация их последствий

9.1. Для предупреждения радиационных и других аварий (пожаров) и ликвидации их последствий должны быть разработаны специальные инструкции, согласованные с территориальным органом, осуществляющим государственный санитарно-эпидемиологический надзор (см. п. 4.9 настоящих МУ), в которых следует отразить следующие основные положения:

а) прогноз возможных аварийных ситуаций (пожаров);

б) порядок информации вышестоящей организации, Управления Роспотребнадзора и других организаций о возникновении аварии (пожара);

в) мероприятия по ликвидации аварии (пожара);

г) поведение персонала при аварии (пожаре);

д) система лечебно-профилактических мероприятий в случаях внешнего или внутреннего облучения при аварии;

е) мероприятия по защите персонала при ликвидации последствий аварии.

9.2. Проведение мероприятий по ликвидации аварии организует администрация учреждения, где произошла авария. По результатам аварии на персонал и лиц из населения, подвергшихся аварийному облучению в установленном порядке заполняется форма федерального государственного статистического наблюдения № 2-ДОЗ.

9.3. При проведении взрыво- и пожароопасных радиационных процессов ускоритель должен быть оборудован устройством, автоматически выключающим его при возникновении пожара и (или) взрыва.

9.4. Ускорители II группы должны быть оборудованы автоматическим и ручным устройствами для их выключения при отказе резервной вентиляции (см. п. 5.29).

9.5. В случае радиоактивного загрязнения поверхностей или воздушной среды ускорителя II группы, персонал, проводящий наладочные, ремонтно-профилактические работы, а также ликвидирующий последствия радиационной аварии, должен быть обеспечен средствами индивидуальной защиты кожных покровов и органов дыхания, набор которых определяется на стадии проектирования ускорителя. Требование о применении указанных средств должно быть предусмотрено в инструкциях по предупреждению и ликвидации радиационных аварий и противопожарной безопасности.

9.6. На стадии проектирования ускорителя II группы следует предусмотреть возможность очистки воды, предназначенной для охлаждения отдельных узлов ускорителя, с целью снижения уровней наведенной активности содержащихся в ней примесей.

9.7. В технической документации на ускоритель должна быть приведена характеристика используемых конструкционных материалов, которые могут активироваться в процессе облучения, включающая элементный химический и процентный состав этих материалов.

9.8. Ускоритель должен быть немедленно выключен при обнаружении дефектов в радиационной защите. О характере обнаруженных дефектов, обнаруженных изменениях радиационной обстановки и дозах облучения персонала информируется территориальный орган, осуществляющий государственный санитарно-эпидемиологический надзор.

9.9. Возобновление эксплуатации ускорителя после ликвидации всех последствий аварии допускается только после получения разрешения территориального органа, осуществляющего государственный санитарно-эпидемиологический надзор.

9.10. При проведении пуско-наладочных и ремонтно-профилактических работ, а также при эксплуатации ускорителя запрещается выполнение каких-либо операций, не предусмотренных должностными инструкциями, инструкциями по технике безопасности и радиационной безопасности и другими нормативными документами, за исключением действий, направленных на предотвращение аварии, переоблучения людей или спасение их жизни.

9.11. Работы на ускорителе под повышенным давлением необходимо согласовывать с территориальным органом, осуществляющим государственный санитарно-эпидемиологический надзор и Ростехнадзором.

Приложение 1

Образование радионуклидов при работе ускорителей электронов

Таблица 1.1

Характеристики радионуклидов с периодом полураспада более 5 минут, образующихся при работе ускорителя

Изотоп (содержание в естественной смеси, %)	Фотоактивация (пороговая энергия, Мэв)	Радионуклид (период полураспада)	Схема распада	Сечение активации на нейтронах спектра, барн	Ядерная реакция радионуклид (период полураспада)	Схема распада
1	2	3	4	5	6	7
$^{12}_{6}C$ (98,89)	n,α (26,27)	Be^{7} (53,3 дн)	ε,γ	–	–	–
$^{25}_{12}Mg$ (10,0)	p (12,06)	Na^{24} (15,0 ч)	β^-,γ	–	–	–
$^{26}_{12}Mg$ (11,0)	n,p (23,16)	Na^{24} (15,0 ч)	β^-,γ	–	–	–
	2p (24,84)	Na^{24} (15,0 ч)	β^-,γ	–	–	–
$^{27}_{13}Al$ (100)	He^{3} (23,71)	Na^{24} (15,0 ч)	β^-,γ	–	–	–
$^{30}_{14}Si$ (3,09)	P (13,51)	Al^{29}(6,6 мин)	β^-,γ	$0{,}1\cdot10^{-3}$	n,α; Mg^{27}(10 мин)	β,γ
$^{43}_{20}Ca$ (0,145)	2p (19,91)	Ar^{41} (1,83 ч)	β^-,γ			
	p (10,67)	K^{42} (12,4 ч)	β^-,γ			
$^{44}_{20}Ca$ (2,06)	He^{3} (23,71)	Ar^{41} (1,83 ч)	β^-,γ			
	n,p (21,80)	K^{42} (12,4 ч)	β^-,γ			
	p (12,17)	K^{43}(22,4 ч)	β^-,γ			
$^{48}_{20}Ca$ (0,18)	n (9,94)	Ca^{47} (4,53 дн)	β^-,γ к Sc^{47} (3,4 дн)			
$^{50}_{24}Cr$ (4,35)	2n (23,32)	Cr^{48} (23 ч)	ε,γ			
	n,p (21,14)	V^{48}(16,13 дн)	ε,β^+,γ			
	n (12,93)	Cr^{49}(41,9 дн)	ε,β^+,γ			
$^{52}_{24}Cr$ (83,79)	n (12,04)	Cr^{51}(27,8 дн)	ε,γ			
$^{53}_{24}Cr$ (9,50)	2n (19,98)	Cr^{51}(27,8 дн)	ε,γ			
$^{55}_{25}Mn$ (100)	n (10,22)	Mn^{54}(312,5 дн)	ε,γ	$0{,}16\cdot10^{-3}$	n,p;Mn^{54}(312,5 дн)	ε,γ

Продолжение табл. 1.1

1	2	3	4	5	6	7
$^{54}_{26}Fe$ (5,82)	2n (24,06)	Fe^{52}(8,2 ч)	$\varepsilon,\beta^+,\gamma$	$48\cdot10^{-3}$	n,p;Mn^{54}(312,5 дн)	ε,γ
	n,α (21,35)	Cr^{49}(41,9 мин)	$\varepsilon,\beta^+,\gamma$	$0{,}37\cdot10^{-3}$	n,α;Cr^{51}(27,8 дн)	ε,γ
	n,p (20,90)	Mn^{52}(5,67 мин)	$\varepsilon,\beta^+,\gamma$	–	–	–
	n (13,62)	Fe^{53}(8,50 мин)	ИП, β^+,γ	–	–	–
$^{56}_{26}Fe$ (91,66)	n,p (20,41)	Mn^{54}(312,5 дн)	ε,γ	$0{,}87\cdot10^{-3}$	n,p;Mn^{54}(312,5 дн)	ε,γ
$^{57}_{26}Fe$ (2,19)	T (19,57)	Mn^{54}(312,5 дн)	ε,γ	–		
	p (10,56)	Mn^{56}(2,58 ч)	β^-,γ	–	–	–
$^{58}_{16}Fe$ (0,33)	n,p (20,60)	Mn^{56}(2,58 ч)	β^-,γ	–	–	–
$^{59}_{28}Ni$ (67,77)	2n (22,45)	Ni^{56}(6,1 дн)	ε,γ	$1{,}2\cdot10^{-6}$	n,2n;Ni^{57}(36,5 ч)	$\varepsilon,\beta^+,\gamma$
	T (21,16)	Co^{55}(18,2 ч)	$\varepsilon,\beta^+,\gamma$	$13{,}0\cdot10^{-3}$	n,p;Co^{58m}(9,2 ч)	ИП,γ
	n,p (19,56)	Co^{56}(77,3 дн)	$\varepsilon,\beta^+,\gamma$	$105{,}0\cdot10^{-3}$	n,p;Co^{58}(71,3 дн)	$\varepsilon,\beta^+,\gamma$
	p (8,18)	Co^{57}(270 дн)	ε,γ	$0{,}17\cdot10^{-3}$	n,α;Fe^{56}(2,60 года)	ε
$^{60}_{28}Ni$ (26,16)	T (20,08)	Co^{57}(270 дн)	ε,γ	$5{,}0\cdot10^{-3}$	n,p;Co^{60}(5,26 года)	β^-,γ
	n,p (19,99)	Co^{58}(71,3 дн)	$\varepsilon,\beta^+,\gamma$	–	–	–
$^{61}_{28}Ni$ (1,25)	2p (18,14)	Fe^{59}(44,6 дн)	β^-,γ	–	–	–
$^{62}_{28}Ni$ (3,66)	He^3 (21,02)	Fe^{59}(44,6 дн)	β^-,γ	$13{,}0\cdot10^{-3}$	n,α;Fe^{59}(44,6 дн)	β^-,γ
	p (11,11)	Co^{61}(1,65 ч)	β^-,γ	–	–	–
$^{64}_{28}Ni$ (1,16)	T (19,13)	Co^{61}(1,65 ч)	β^-,γ	–	–	–
	n,α (15,84)	Fe^{59}(44,6 дн)	β^-,γ	–	–	–
$^{63}_{29}Cu$ (69,17)	2n (19,74)	Cu^{61}(3,41 ч)	β^-,γ	$0{,}72\cdot10^{-3}$	n,α; Co^{60}(5,26 года)	β^-,γ
	2p (17,23)	Co^{61}(1,65 ч)	β^-,γ	–	–	–
$^{65}_{29}Cu$ (30,83)	n (9,91)	Cu^{64}(12,75 ч)	$\varepsilon,\beta^+,\gamma$	$0{,}36\cdot10^{-3}$	n,p;Ni^{65}(2,55 ч)	β^-,γ
	α (6,76)	Co^{61}(1,65 ч)	β^-,γ	–	–	–
$^{181}_{73}Ta$ (99,99)	n,α (95,52)	Lu^{176m}(3,7 ч)	β^-,γ	–	–	–
	p (6,19)	Hf^{180m}(5,5 ч)	ИП,γ	–	–	–
	n (7,64)	Ta^{180m}(8,1 ч)	$\varepsilon,\beta^-,\gamma$	–	–	–
	2p (14,08)	Lu^{179}(4,6 ч)	β^-,γ	–	–	–
	He^3 (13,34)	Lu^{178}(20 мин0	β^-,γ	–	–	–
$^{182}_{74}W$ (26,41)	2p (13,20)	Hf^{180m}(5,5 ч)	ИП,γ	–	–	–
	n,p (14,65)	Ta^{180}(8,1 ч)	$\varepsilon,\beta^-,\gamma$	–	–	–
	p (7,14)	Ta^{182m}(16,5 мин)	ИП,γ	–	–	–

Продолжение табл. 1.1

1	2	3	4	5	6	7
$^{183}_{74}W$ (14,40)	p (7,14)	Ta^{182}(115 дн)	β^-,γ	–	–	–
	He^3 (11,67)	Hf^{180m}(5,5 ч)	ИП,γ	–	–	–
	T (12,36)	Ta^{180}(8,1 ч)	$\varepsilon,\beta^-,\gamma$	–	–	–
	2p (13,44)	Hf^{181}(42,4 дн)	β^-,γ	–	–	–
$^{184}_{74}W$ (30,64)	p (7,70)	Ta^{183}(5,0 дн)	β^-,γ	–	–	–
	He^3 (13,34)	Hf^{181}(42,4 дн)	β^-,γ	–	–	–
	n,p (14,56)	Ta^{182}(115 дн)	β^-,γ	–	–	–
	n,p (14,56)	Ta^{182m}(16,5 дн)	ИП,γ	–	–	–
$^{186}_{74}W$ (28,41)	dn,α (5,53)	Hf^{181}(42,4 дн)	β^-,γ	–	–	–
	p (8,33)	Ta^{185}(50 мин)	β^-,γ	–	–	–
	T (12,18)	Ta^{183}(5,0 дн)	β^-,γ	–	–	–
	He^3 (14,37)	Hf^{183}(91 дн)	β^-,γ	–	–	–
	n,p (14,93)	Ta^{184}(8,7 ч)	β^-,γ	–	–	–
$^{204}_{82}Pb$ (1,48)	n,α (6,06)	Hg^{199}(43 мин)	ИП,γ	$3{,}3\cdot10^{-3}$	n,2n;Pb^{203}(52,1 ч)	ε,γ
	n (8,24)	Pb^{203}(52,1 ч)	ε,γ	–	–	–
	T (12,81)	Ti^{201}(73 ч)	ε,γ	–	–	–
	n,p (14,34)	Ti^{202}(12,2 дн)	ε,γ	–	–	–
	2n (15,17)	Ti^{202m}(3,61 ч)	ИП,ε,γ	–	–	–
$^{206}_{82}Pb$ (23,6)	He^3 (13,45)	Hg^{203}(46,56 дн)	β^-,γ	–	–	–
$^{208}_{82}Pb$ (52,3)	n,α (6,98)	Hg^{203}(46,56 дн)	β^-,γ	–	–	–
	He^3 (14,52)	Hg^{205}(5,5 мин)	β^-,γ	–	–	–

Приложение 2

Допустимые концентрации токсичных веществ

2.1. При совместном присутствии в воздухе нескольких токсичных веществ сумма их концентраций не должна превышать 1 (единицы) при расчете по формуле (2.1)

$$\frac{C_1}{ПДК_1}+\frac{C_2}{ПДК_2}+...+\frac{C_n}{ПДК_n}\le 1, \text{ где} \qquad (2.1)$$

$C_1, C_2,..., C_n$ – концентрации токсичных веществ в воздухе.

Примечание. Совместное присутствие нескольких токсичных веществ в воздушной среде наиболее характерно при осуществлении радиационно-химических процессов.

2.2. Предельно допустимые концентрации (ПДК) некоторых газообразных токсичных веществ, образующихся при осуществлении радиационно-технологических процессов, представлены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

ПДК некоторых токсичных веществ, образующихся при эксплуатации ускорителя

Вещество	ПДК, мг/м^3	Примечание
Озон	0,1	В основном образуется при работе сильноточных ускорителей (в зоне пучка электронов концентрация озона в воздухе может в несколько раз превышать ПДК)
Окислы азота	5,0	
Малеиновый ангидрид	1	Летучие компоненты ряда смол, используемых в процессах радиационно-химического отверждения покрытий (кабельная промышленность, радиопромышленность и др.) раздражают слизистые оболочки глаз, носа, легких, вызывают экзему
Фталиевый ангидрид	1	
Толуол	50	
Стирол	5	
Окись углерода	30	Выделяется при термическом разложении под пучком электронов органических веществ (древесина, смола, резина и др.)
Ацетон	200	Используется для растворения лаков, промывки и др.

Приложение 3

Расчет радиационной защиты ускорителя

Для расчета радиационной защиты необходимы следующие исходные данные:

- допустимая мощность дозы за защитой P_g;
- максимальная энергия ускоренных электронов E_o, МэВ;
- средний ток электронов J_o, мА;
- атомный номер материала защиты Z;
- эффективный атомный номер материала мишени $Z_м$;
- форма и размеры пучка излучения, взаимодействующего с облучаемым объектом.

Расчет защиты сводится к определению пространственного распределения тормозного излучения, толщины радиационной защиты с использованием параметров ослабления излучения в защите, оценке прохождения излучения через технологические каналы, щели и неоднородности в защите.

Значения допустимой мощности дозы за защитой ускорителя в воздухе рассчитываются исходя из пределов дозы (*ПД*) для соответствующих категорий облучаемых лиц и возможной продолжительностью их пребывания в смежных помещениях или на прилегающих территориях с использованием соотношения:

$$P_g = \frac{10^3 \cdot ПД}{2 \cdot T \cdot n \cdot 1700} = \frac{0{,}3 \cdot ПД}{T \cdot n}, \text{ мкГр/ч, где} \qquad (3.1)$$

10^3 – коэффициент перехода от эффективной дозы в мЗв в поглощенную дозу в воздухе в мкГр:

ПД – предел дозы;

2 – коэффициент запаса;

T – максимальная доля времени, проводимого людьми в данном помещении;

n – коэффициент сменности, учитывающий возможность двухсменной работы ускорителя при оценке возможной продолжительности облучения персонала группы Б и населения;

1700 – стандартизованная продолжительность работы ускорителя за год при односменной работе в часах.

В таблице 3.1 приведены рекомендуемые значения допустимой мощности дозы для некоторых помещений ускорителя.

Таблица 3.1

Допустимая мощность дозы за стационарной защитой рабочей камеры (процедурной) ускорителя электронов P_g для помещений и территории различного назначения

Помещение, территория	T	n	$ПД$	P_g
	отн. ед.	отн. ед.	мЗв/г	мкГр/ч
Помещения постоянного пребывания персонала группы А	1	1	20	6,0
Помещения, смежные по вертикали и горизонтали с рабочей камерой (процедурной) ускорителя, в которых имеются постоянные рабочие места персонала группы Б	1	1,2	5	1,3
Помещения, в которых имеются постоянные рабочие места лиц, не отнесенных к персоналу	1	2	1	0.15
Территория, прилегающая к наружным стенам здания ускорителя в пределах его санитарно-защитной зоны	0,25	2	5	3,0
Территория за пределами санитарно-защитной зоны ускорителя	1	2	1	0,15

Оценка мощности поглощенной дозы тормозного излучения в воздухе с учетом углового распределения – $P_o(\theta)$ (сГр·м^2/(мА·мин) для различных материалов мишени в диапазоне энергий ускоренных электронов от 0,2 до 100 МэВ может быть проведена с помощью данных, приведенных в табл. 3.2, либо полученных из нее интерполяцией по энергии и атомному номеру $Z_м$.

Расчет радиационной защиты проводится следующим образом:

1. По известным значениям E_o и $Z_м$ определяют по табл. 3.2 значения $P_o(\theta)$ для J_o = 1 мА на расстоянии 1 м от мишени;

2. Определяют мощность дозы $P(R,\theta)$ на расстоянии R(м) от мишени для тока J_o(мА):

$$P(R,\theta) = \frac{P_0(\theta) \cdot J_0}{R^2} \qquad (3.2)$$

3. Для заданной допустимой мощности дозы P_g за защитой определяют кратность ослабления:

$$K(\theta) = \frac{P_0(\theta) \cdot J_0}{R^2 \cdot P_g} \qquad (3.3)$$

4. С помощью данных табл. 3.3—3.5 для выбранного материала защиты и определенной эффективной энергии излучения ($E_{эф}$) находят необходимую толщину радиационной защиты. При этом эффективная энергия тормозного излучения (для защиты из тяжелых материалов – свинец и др.) определяется следующим образом:

$$E_{эф} = \frac{2}{3} E_0 \text{ при } E \le 1{,}7 \text{ МэВ}$$

$$E_{эф} = \frac{E_0}{2} \text{ при } 1{,}7 \text{ МэВ} < E \le 10 \text{ МэВ}$$

$$E_{эф} = \frac{E_0}{3} \text{ при } 10 \text{ МэВ} < E \le 100 \text{ МэВ}$$

Кроме указанных расчетов в диапазоне энергий $E_0 > 10$ МэВ необходимо учитывать влияние фотонейтронов. Учет влияния фотонейтронов производится следующим образом:

1. По известной энергии и току ускоренных электронов для тяжелой мишени (Та, W, РЬ) определяют выход фотонейтронов по формуле:

$$Q = 1{,}5 \cdot 10^{-4} \cdot N \cdot E_0, \text{ нейтрон/(с·мА), где} \qquad (3.4)$$

N – число электронов, взаимодействующих с мишенью, или с помощью данных табл. 3.6.

2. Определяют плотность потока нейтронов на расстоянии R (м) от мишени:

$$\Phi(R) = \frac{Q \cdot J_0}{4\pi \cdot R^2 \cdot 10^4}, \text{ нейтрон/(см}^2 \cdot \text{с)} \qquad (3.5)$$

3. Определяют кратность ослабления для нейтронов ($K_н$):

$$K_н = \frac{(K_к) \cdot Q \cdot J_0}{4\pi \cdot R^2 \cdot 10^4 \cdot P_{доп}}, \text{ где} \qquad (3.6)$$

$P_{доп}$ – допустимая мощность дозы для нейтронов;

$K_к$ – коэффициент качества для нейтронов.

4. Слой половинного ослабления в бетоне для фотонейтронов принимают равным 11 см.

По известной кратности ослабления и слою половинного ослабления определяют необходимую толщину радиационной защиты.

Таблица 3.2

Мощность поглощенной дозы тормозного излучения в воздухе, сГр·м^2/(мА·мин)

θ^*, град	E_0, МэВ															
	0,2				0,3				0,5				0,7			
	Материал мишени															
	Al	Fe	Sn	Au	Al	Fe	Sn	Au	Al	Fe	Sn	Au	Al	Fe	Sn	Au
0	0,8	1,3	1,75	3,3	1,95	3,50	4,4	7	6,3	8,6	15	23	15,1	21,6	35	45,8
10	0,7	1,2	1,66	2,9	1,67	3,16	4,0	6,15	5,55	8,1	13,2	20	12,7	19,2	34,3	40,2
20	0,7	1,1	1,50	2,45	1,67	2,80	3,7	5,3	5,1	7,4	11,7	16,7	10,8	17,2	28,2	34,6
30	0,62	1,0	1,40	2,1	1,60	2,46	3,5	4,6	4,3	6,7	10,6	14,0	9,3	15,4	24,6	29
40	0,55	0,97	1,23	1,85	1,50	2,20	3,16	4,12	3,6	5,8	8,8	12,3	7,9	12,6	20,6	24,6
50	0,49	0,53	1,15	1,58	1,40	1,93	2,8	3,96	2,7	5,0	7,9	10,5	6,3	10,4	17,2	21
60	0,53	0,7	1,0	1,40	1,32	1,75	2,46	3,34	2,1	4,0	6,85	9,7	5,3	8,16	14	17,5
70	0,35	0,61	0,88	1,28	1,23	1,60	2,1	3,10	1,67	3,5	5,65	7,65	3,86	6,5	11,4	15,3
80	0,32	0,54	0,80	1,15	1,0	1,40	1,76	3,10	1,05	2,3	4,4	6,85	3,0	4,7	9,15	13
90	0,26	0,47	0,70	1,0	0,88	1,32	1,40	2,55	0,61	1,0	3,5	6,85	2,16	3,1	7	11,5
100	0,24	0,44	0,61	0,98	0,70	1,15	1,23	2,46	0,7	1,4	3,1	6,85	–	–	6,5	11,2
110	0,21	0,46	0,53	1,0	0,53	1,0	1,05	2,46	0,98	2,2	3,16	7,65	–	–	7,0	12,7
120	0,2	0,53	0,53	1,0	0,42	1,0	1,23	2,46	1,23	2,46	3,7	7,9	–	–	7,8	15
130	0,17	0,49	0,61	1,14	0,35	0,97	1,5	2,71	1,23	2,64	4,4	7,9	–	–	8,25	15,5
140	0,16	0,47	0,80	1,30	0,35	0,88	1,76	2,71	1,05	2,48	5,2	7,9	–	–	8,6	15,7
150	0,16	0,44	0,88	1,20	0,26	0,88	1,94	2,71	0,97	2,2	5,3	7,9	–	–	8,8	15,8
160	0,15	0,40	0,88	1,20	0,26	0,79	1,94	2,71	–	–	5,2	7,9	–	–	8,8	15,8
170	0,13	0,37	0,84	1,14	0,26	0,70	1,85	2,46	–	–	4,84	7,9	–	–	8,8	15,8
180	0,11	0,35	0,80	0,80	0,26	0,70	1,76	2,64	–	–	4,5	7,9	–	–	8.,8	15,8

*θ – угол между направлениями пучка электронов и направлением вылета тормозного излучения из мишени

Продолжение табл. 3.2

θ^*, град	E_0, МэВ									
	1,0				1,25			1,5		
	Материал мишени									
	Al	Fe	Au	Sn	Al	Cu	Au	Al	Cu	Au
0	39,6	58	81,6	79	49,3	72	133,5	84,5	128	216,3
10	36,0	51	75,5	65	43	70,3	128	74	121,4	210,5
20	28,2	42,2	65	54,5	30,6	52	103	47,5	92,5	186
30	19,4	31,8	55,4	44,8	24,6	36	97,5	92,6	67	154
40	14,1	29,8	49,2	37,5	20,6	32,5	82,4	26,4	51	134
50	12,3	23	45	30,8	16,4	29	72,4	22,8	45,7	124
60	9,7	19,4	33,5	27,2	14,4	20,6	61,5	20,2	38,8	114
70	8,1	15	29	22,8	12,3	19,6	59,8	16,7	36	103
80	4,76	11,4	22	19,7	10,3	18,5	57	13,2	30,8	92,5
90	2,0	4,5	17	16,7	6,15	17,5	56,4	7,91	28,2	82,9
100	2,65	6,5	32,5	15,4	5,6	16,4	54,5	7,22	24	85
110	3,18	8,3	37	14,0	5,1	16	52,7	6,7	23	79,4
120	3,1	9,7	39,5	15,0	4,56	15,4	51,8	6,15	18,5	77,5
130	3,1	9,7	39	15,4	4,14	14,9	51,1	5,64	17,6	76,7
140	3,1	9,7	39	16,7	3,6	14,4	49,2	5,1	16,7	75,7
150	3,1	7,8	37,8	17,6	3,0	14,0	58,5	4,65	15	74
160	3,0	7,0	37,8	17,6	2,5	13,9	–	4,1	–	–
170	3,0	7,0	37,8	17,7	2,5	13,8	–	3,1	–	–
180	2,9	6,15	37,8	17,6	2,5	13,8	–	2,55	–	–

Продолжение табл. 3.2

θ^*, град	E_0, МэВ										
	1,75			2			2,8			4	8
	Материал мишени										
	Al	Cu	Au	Al	Fe	Au	Al	Fe	Au	Sn	Sn
0	129	206	340	256	358	457	817	964	1070	2750	16100
10	103	164	266	194	274	408	520	670	856	1895	4720
20	68	126	237	125	203	312	285	437	625	1119	3330
30	53	103	203	85,5	138	245	170	306	484	875	2740
40	47,5	67	189	67	105	189	138	238	382	735	2180
50	41,5	56	165	59	85	157	85	171	300	620	1580
60	32,6	51	155	33	67	119	68	121	252	525	1190
70	25,6	41,4	144	19,4	53	86	51	86	202	429	880
80	19,4	34,4	134	16,7	32	60	34	51	118	314	590
90	16,9	28,2	128,4	11,4	29	49	26	31	110	273	440
100	13,5	25,5	119	13,2	31	119	31	33	134	392	660
110	11,4	22,8	108	13,2	25	103	35	53	168	318	540
120	10,6	20,3	103	12,5	25,5	113	35	70,5			
130	9,7	18,5	98	8,3	25	108	17,6	70,5	202	234	415
140	8,3	17,7	93	7,3	23	103	17,6	53	202	205	375
150	7,2	16,7	28	7,2	18,5	–	17,6	53	185	182	345
160	6,15									169	325
170	5,7									145	307
180	5,2									133	295

Продолжение табл. 3.2

θ^*, град	E_0, МэВ			
	10	30	60	100
	Материал мишени			
	W	W	W	W
0	$4{,}77 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^6$	$6{,}82 \cdot 10^6$	$1{,}19 \cdot 10^7$
10	$1{,}68 \cdot 10^4$	$1{,}86 \cdot 10^5$	$5{,}05 \cdot 10^5$	$8{,}75 \cdot 10^5$
20	$8{,}12 \cdot 10^3$	$8{,}05 \cdot 10^4$	$1{,}8 \cdot 10^5$	$2{,}35 \cdot 10^5$
30	$5{,}26 \cdot 10^3$	$3{,}9 \cdot 10^4$	$6{,}27 \cdot 10^4$	$8{,}74 \cdot 10^4$
40	$3{,}34 \cdot 10^3$	$2{,}18 \cdot 10^4$	$2{,}92 \cdot 10^4$	$5{,}95 \cdot 10^4$
50	$2{,}2 \cdot 10^3$	$1{,}38 \cdot 10^4$	$1{,}64 \cdot 10^4$	$4{,}2 \cdot 10^4$
60	$1{,}28 \cdot 10^3$	$9{,}4 \cdot 10^3$	$8{,}7 \cdot 10^3$	$3{,}5 \cdot 10^4$
70		$5{,}57 \cdot 10^3$	$5{,}87 \cdot 10^3$	$3{,}14 \cdot 10^4$
80		$2{,}34 \cdot 10^3$	$2{,}34 \cdot 10^3$	$2{,}96 \cdot 10^4$
90		$1{,}0 \cdot 10^3$	$1{,}45 \cdot 10^3$	$2{,}76 \cdot 10^4$
100		$1{,}49 \cdot 10^3$	$9{,}0 \cdot 10^2$	$2{,}58 \cdot 10^4$
110		$1{,}75 \cdot 10^3$	$1{,}22 \cdot 10^3$	$2{,}16 \cdot 10^4$
120		$1{,}75 \cdot 10^3$	$1{,}19 \cdot 10^3$	$1{,}85 \cdot 10^4$
130		$1{,}75 \cdot 10^3$	$1{,}15 \cdot 10^3$	$1{,}5 \cdot 10^4$
140		$1{,}62 \cdot 10^3$	$1{,}13 \cdot 10^3$	$1{,}39 \cdot 10^4$
150		$1{,}45 \cdot 10^3$	$1{,}11 \cdot 10^3$	$1{,}22 \cdot 10^4$
160				$1{,}18 \cdot 10^4$
170				$1{,}0 \cdot 10^4$
180				$9{,}7 \cdot 10^4$

Таблица 3.3

Толщина защиты из бетона (см) для различных кратностей ослабления *K*

K	$E_{эф}$, МэВ														
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0
10	7,2	13,5	19,0	22,5	25,8	26,8	27,6	28,4	29,1	29,9	34,0	37,6	43,4	47,5	51,6
20	8,2	15,3	21,4	25,8	29,9	31,9	33,6	35,0	36,2	37,0	42,5	47,5	54,0	58,7	64,6
50	9,9	18,8	25,1	30,8	35,0	37,6	39,4	41,2	42,8	44,6	51,0	58,1	66,9	72,8	81,6
100	11,2	21,1	28,9	35,2	39,9	43,0	45,3	47,2	48,8	50,5	58,3	65,7	77,5	84,5	95,1
$5 \cdot 10^2$	13,8	26,0	36,0	43,9	50,5	54,5	57,3	59,8	62,5	64,6	74,8	84,5	101	110	124
10^3	15,5	28,2	39,2	48,1	55,2	59,2	52,5	65,3	67,3	70,4	81,7	87,6	110	121	138
$5 \cdot 10^3$	18,8	33,1	45,6	56,4	65,2	70,0	74,0	77,0	80,2	82,8	97	111	133	147	167
10^4	20,1	35,2	48,5	60,3	69,3	74,5	79,1	82,9	86,2	89,2	104	119	143	157	179
$5 \cdot 10^4$	23,3	42,3	56,4	68,6	79,0	84,7	88,7	93,4	97,9	102	120	136	165	181	207
10^5	30,5	50,5	64,6	75,1	82,8	89,0	93,5	98,1	102	107	127	144	174	191	218
$5 \cdot 10^5$	44,8	61,5	73,7	83,7	92,5	99,3	104	110	115	122	142	162	196	215	247
10^6	49,3	66,4	79,8	89,8	97,0	104	114	114	120	124	150	171	205	225	261
$5 \cdot 10^6$	59,4	79,7	91,6	101	107	114	120	126	132	137	166	189	227	250	288
10^7	64,0	84,9	95,7	106	111	119	125	130	136	142	173	197	236	259	299

Таблица 3.4

Толщина защиты из железа (см) для различных кратностей ослабления *K*

K	$E_{эф}$, МэВ														
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0
10	2,1	3,4	4,5	5,4	6,2	6,8	7,3	7,8	8,2	8,5	10,0	11,0	12,2	12,5	12,7
20	2,6	4,3	5,5	6,6	7,5	8,3	8,9	9,5	10,0	10,5	12,2	13,7	15,3	16,0	16,4
50	3,1	5,1	6,9	8,2	9,3	10,2	11,2	12,0	12,7	13,4	15,5	17,1	19,3	20,2	21,2
100	3,8	5,9	7,5	9,0	10,2	11,2	12,2	13,1	14,0	14,7	17,6	19,7	22,3	23,4	24,6
$5 \cdot 10^2$	4,6	7,4	9,6	11,6	13,4	14,7	15,8	16,9	17,7	18,6	22,5	25,4	29,1	30,7	32,3
10^3	5,0	8,0	10,5	12,7	14,7	16,2	17,5	18,6	19,5	20,4	24,6	28,0	31,9	33,7	35,6
$5 \cdot 10^3$	6,7	10,2	13,0	15,5	17,6	19,2	20,7	22,1	23,3	24,4	29,4	33,4	38,2	40,3	43,2
10^4	7,4	11,1	14,0	16,6	18,8	20,7	22,2	23,6	24,9	26,2	31,4	35,8	41,0	43,2	46,5
$5 \cdot 10^4$	8,3	12,6	16,0	19,0	21,6	23,5	25,5	27,5	28,5	30,0	36,3	41,2	47,2	49,9	53,9
10^5	8,5	13,1	16,9	20,0	22,7	25,0	26,9	28,6	30,3	31,8	38,2	43,5	50,0	53,0	57,8
$5 \cdot 10^5$	9,3	14,3	18,5	22,1	25,5	27,9	30,1	32,0	33,8	35,5	42,6	48,8	56,1	60,0	64,4
10^6	9,9	15,4	19,9	23,6	26,7	29,2	31,5	33,5	35,4	37,1	44,6	51,0	58,8	63,0	67,5
$5 \cdot 10^6$	10,9	16,8	21,8	25,9	29,4	32,4	34,8	37,0	39,0	40,8	49,1	56,3	65,1	70,0	76,2
10^7	11,6	17,7	22,8	27,0	30,5	33,5	36,1	38,4	40,5	42,4	51,1	58,6	67,8	72,8	78,0

Таблица 3.5

Толщина защиты из свинца (см) для различных кратностей ослабления *K*

K	$E_{эф}$, МэВ														
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0
10	0,3	0,6	0,9	1,3	1,6	2,1	2,6	3,1	3,5	3,8	5,1	5,9	6,5	6,4	5,5
20	0,3	0,6	1,1	1,5	2,0	2,6	3,3	3,9	4,4	4,9	6,6	7,6	8,3	8,2	7,1
50	0,4	0,9	1,4	1,95	2,6	3,3	4,0	4,6	5,3	6,0	8,2	9,6	10,6	10,5	9,2
100	0,5	1,0	1,6	2,3	3,0	3,9	4,7	5,5	6,3	7,0	9,7	11,3	12,2	12,1	10,9
$5 \cdot 10^2$	0,7	1,4	2,2	3,1	4,0	5,1	6,1	7,2	8,2	9,2	12,9	15,0	16,3	16,1	14,9
10^3	0,7	1,5	2,4	3,3	4,4	5,7	7,0	8,1	9,2	10,2	14,1	16,5	18,0	17,8	16,5
$5 \cdot 10^3$	0,9	1,9	3,0	4,2	5,5	7,0	8,5	9,9	11,2	12,4	17,0	19,8	21,9	21,7	20,3
10^4	1,1	2,1	3,3	4,6	5,9	7,5	9,1	10,6	12,0	13,3	18,3	21,3	23,5	23,4	22,0
$5 \cdot 10^4$	1,2	2,4	3,7	5,2	6,9	8,7	10,5	12,3	14,0	15,6	21,4	24,7	27,3	27,2	25,8
10^5	1,2	2,4	3,8	5,4	7,2	9,2	11,1	13,0	14,8	16,5	22,7	26,2	28,9	28,9	27,5
$5 \cdot 10^5$	1,4	2,8	4,4	6,1	8,2	10,2	12,3	14,4	16,5	18,5	25,5	29,5	32,7	32,7	31,4
10^6	1,5	3,0	4,7	6,5	8,7	10,9	13,1	15,3	17,5	19,9	26,8	31,0	34,3	34,4	33,0
$5 \cdot 10^6$	1,6	3,3	5,3	7,3	9,6	12,1	14,7	17,2	19,5	21,6	29,7	34,3	38,1	38,3	36,8
10^7	1,7	3,4	5,4	7,6	10,1	12,6	15,2	17,8	20,3	22,5	31,2	35,8	29,7	39,9	38,4

Таблица 3.6

Выход фотонейтронов из различных мишеней в зависимости от энергии электронов

E_0, МэВ	$N \cdot 10^{-4}$ фотонейтрон/электрон			
	Cu (50 г/см^2)	Cu (12,7 г/см^2)	Ta (12,5 г/см^2)	Pb (23 г/см^2)
11	–	–	–	1,5
12	–	–	0,6	–
15	0,8	0,4	3,5	–
19	–	–	–	22
20	6	3	13	–
28	21	8	–	46
30	–	–	40	
34	33	13	–	79
35	–	14	–	–
100	–	–	100	–

Приложение 4

Вентиляция помещений ускорителя

Для удаления образующихся в рабочей камере ускорителя теплоизбытков в ней должны быть обеспечены следующие минимальные кратности воздухообмена (см. табл. 4.1)

Таблица 4.1

Минимальные кратности воздухообмена в рабочей камере ускорителя

Объём рабочей камеры, $м^3$	до 100	100—500	500—1 000	свыше 1 000
Кратность воздухообмена, $ч^{-1}$	15	10	5	2

При обеспечении приведенных кратностей воздухообмена в рабочей камере во время работы ускорителя в большинстве случаев концентрации образующихся вредных для человеческого организма веществ значительно превышают предельно допустимые их концентрации (ПДК). Поэтому после выключения ускорителя для обеспечения безопасности персонала вводится запретный период ($T_{запр}$).

Запретный период в общем случае следует определять по формуле:

$$T_{запр} = \frac{\ln \frac{C_i}{ПДК_i (ДКа_i)}}{K_{кам} + \lambda_i}, \text{ ч, где} \qquad (4.1)$$

C_i – концентрация i-го токсичного (радиоактивного) вещества в рабочей камере в момент прекращения облучения, мг/м (Ки/$м^3$);

$ПДК_i$ – предельно допустимая концентрация i-го токсичного вещества, мг/$м^3$;

$ДКа_i$ – допустимая концентрация I-го радиоактивного вещества, Ки/$м^3$;

$K_{кам}$ – кратность воздухообмена в рабочей камере ускорителя, $ч^{-1}$;

λ_i – коэффициент, характеризующий химическую (или ядерную) нестойкость токсичного (радиоактивного) вещества после прекращения облучения, $ч^{-1}$.

В результате радиолиза воздуха образуются озон и окислы азота, являющиеся постоянно сопутствующими факторами опасности при работе ускорителя.

Однако, ввиду того, что при работе ускорителей токсичность продуктов радиолиза воздуха определяется в основном образующимся озо-

ном (ПДК озона в 50 раз ниже ПДК окислов азота), все расчеты вентиляции должны основываться на обеспечении снижения концентрации озона.

Продукты радиолиза воздуха на установках с ускорителями электронов образуются лишь в зоне пучка ускоренных электронов. Затем они распространяются в объеме всей камеры (за счёт перемешивания воздуха).

Концентрация озона в зоне действия пучка электронов рассчитывается по формуле:

$$C_{03}^{30} = \frac{C_0 J}{S_{3.0}(\lambda_{рад} + K_{3.0})}[1 - e^{-(\lambda_{рад}+K_{3.0})t_{3/0}}], \text{ мг/м}^3\text{, где} \qquad (4.2)$$

C_{03}^{30} – концентрация озона в зоне облучения (в пучке электронов) во время работы ускорителя;

$C_o = 4{,}2 \cdot 10^7$ – коэффициент пропорциональности;

$t_{3.0}$ – время нахождения воздуха в зоне облучения (в пучке электронов), ч;

J – ток пучка электронов, А;

$S_{3.0}$ – площадь поперечного сечения зоны облучения (развертки), м^2;

$K_{3.0}$ – кратность воздухообмена в зоне облучения (в пучке), ч$^{-1}$;

$\lambda_{рад}$ – коэффициент, учитывающий радиационную нестойкость озона, величина которого зависит от мощности поглощенной дозы и рассчитывается по формуле:

$$\lambda_{рад} = 1{,}6 \cdot 10^{-2} \cdot P^{0{,}6}, \text{ ч}^{-1} \qquad (4.3)$$

Мощность поглощенной дозы ускоренных электронов в воздухе рассчитывается по формуле:

$$P = 3{,}6 \cdot 10^{10} \left(\frac{dE}{dX}\right)_{ион} \frac{Jd}{S}\text{, сГр/ч, где} \qquad (4.4)$$

$\left(\frac{dE}{dX}\right)_{ион}$ – ионизационные потери, МэВ•см^2/г (см. табл. 4.2).

Таблица 4.2

Ионизационные потери при прохождении ускоренных электронов различной энергии в воздушной среде

E_0, МэВ	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5
$\left(\frac{dE}{dX}\right)_{ион}, \frac{МэВ \cdot см^2}{г}$	2,46	2,08	1,90	1,74	1,70	1,66	1,66

E_0, МэВ	2	3	4	6	8	10	20
$(\frac{dE}{dX})_{ион}, \frac{МэВ \cdot см^2}{г}$	1,68	1,74	1,79	1,88	1,93	1,98	2,13

E_0, МэВ	30	40	60	80	100
$(\frac{dE}{dX})_{ион}, \frac{МэВ \cdot см^2}{г}$	2,22	2,29	2,38	2,45	2,50

Для наиболее эффективного удаления образующихся вредностей целесообразно устанавливать местные отсосы вблизи мест образования этих вредностей.

При эксплуатации ускорителя с индивидуальной радиационной защитой продукты радиолиза воздуха образуются в небольшом объеме. В этом случае важно предотвратить распространение этих вредностей в пультовую и другие помещения, где постоянно находится персонал. Для этого производительность местного отсоса из зоны облучения должна быть такой, чтобы он обеспечил скорость движения воздуха в местах подсосов (вход и выход транспортера в зону облучения, щели и т. п.) не менее 0,5 м/с. Обычно это условие соблюдается при производительности местного отсоса 500—1 000 м /ч.

Существует несколько вариантов местной вентиляции из зоны облучения, а именно, отсос воздуха:

- на уровне действия пучка электронов по краю развертки его (с одной или обеих сторон технологического канала);
- с обеих сторон ускорителя на выходе и входе технологического канала в зону облучения;
- сверху радиационной защиты (индивидуальная защита ускорителей играет роль затяжного зонта). Ускоритель может быть введен в действие лишь при включении местной вентиляции. Система местного отсоса из зоны облучения должна работать от отдельного вентилятора. Вентилятор должен быть вынесен за пределы помещения.

Ввиду малого объема зоны облучения на ускорителе электронов с индивидуальной защитой снижение концентрации газообразных продуктов радиолиза или активации в технологическом канале до ПДК (*ДКа*) при работающем отсосе происходит практически за несколько

секунд после выключения ускорителя, поэтому понятие запретного периода в данном случае теряет практический смысл.

Выброс воздуха, не содержащего кроме продуктов его радиолиза (озона и окислов азота) никаких других токсичных или радиоактивных веществ компонентов, в атмосферу может производиться без предварительной очистки.

При наличии воздухообмена в зоне облучения образование озона и его распространение в объеме камеры при включенном ускорителе происходит непрерывно. Причем концентрация озона в воздухе зависит от организации вентиляции, объема камеры, места расположения ускорителя в рабочей камере, направления пучка электронов по отношению к направлению движения воздушных потоков. Поэтому концентрацию озона в воздухе рабочей камеры ускорителя можно рассчитать точно лишь исходя из конкретных условий, перечисленных выше.

Линейная скорость движения воздуха в рабочей камере будет равна:

$$v = K_{изм} \cdot I, \text{ м/ч, где} \qquad (4.5)$$

$K_{изм}$ – кратность воздухообмена в рабочей камере, $ч^{-1}$;

I – длина камеры, м.

В случае, когда пучок электронов направлен перпендикулярно направлению движения воздуха в рабочей камере, время нахождения каждой порции воздуха в пучке электронов составит:

$$t_{30} = \frac{a}{v} = \frac{\sqrt{S_{30}}}{K_{изм}\, l}, \text{ ч, где} \qquad (4.6)$$

a – средняя ширина сечения пучка электронов, м.

Тогда кратность воздухообмена в зоне облучения составит

$$K_{30} = \frac{1}{t_{30}} = \frac{K_{кам} \cdot l}{\sqrt{S_{30}}}, \text{ ч}^{-1}.$$

Таким образом определяются все параметры (t_{30}; K_{30}; $\lambda_{рад}$), необходимые для расчета концентрации озона в зоне пучка электронов.

Количество озона, образующегося за 1 ч, будет равно:

$$Q_{O3} = C_{O3}^{30}\, V_{30}\, K_{30} = C_{O3}^{30}\, dS_{30}\, K_{30}, \text{ мг/ч} \qquad (4.7)$$

За 1 ч через рабочую камеру проходит L м воздуха

$$L = V_{изм} \cdot K_{изм}, \text{ м}^3/\text{ч} \qquad (4.8)$$

Концентрация озона в воздухе камеры при установившемся режиме будет равна:

$$C_{оз}^{кам} = \frac{Q_{оз}}{L} = \frac{4{,}2 \cdot 10^7 \; J \; d \; K_{30}}{(\lambda_{рад} + K_{30}) \, V_{кам} \; K_{кам}} [1 - e^{-(\lambda_{рад} + K_{30}) t_{30}}], \text{ мг/м}^3 \qquad (4.9)$$

Для охлаждения фольги выходного окна ускорителя ее обдувают струей сжатого воздуха с расходом около 100 м/ч. Практически весь этот воздух проходит через пучок ускоренных электронов. Каждая порция воздуха будет находиться в зоне облучения около 1 секунды (f_{30} = 0,0003 ч, K_{30} = 3600 ч$^{-1}$). Подставляя значения t_{30} и K_{30} в формулу (4.9), можно рассчитать концентрацию озона.

На ускорителях электронов высоких энергий более (10 МэВ) происходит активация облучаемых компонентов среды и материалов по реакциям (γ,n), (γ,p) и существует опасность внутреннего облучения персонала за счет активирования компонентов воздуха. Так, энергетический порог реакций $^{14}N(\gamma,n)^{13}N$ и $^{16}O(\gamma,n)^{15}O$ составляет 10,6 и 15,7 МэВ, соответственно.

Концентрация радиоактивного газа в воздухе зоны облучения во время работы ускорителя может быть рассчитана по формуле:

$$C_A = \frac{C_0' \; E_0 \; J \; d \; K_{30}}{(K_{30} + \frac{0{,}693}{T_{1/2}}) \, V_{кам} \; K_{кам}} [1 - e^{-(K_{30} + \frac{0{,}693}{T_{1/2}}) t_{30}}], \text{ Ки/м}^3, \text{ где} \qquad (4.10)$$

C_o' – постоянная скорости образования радиоактивного газа в воздухе ($\frac{Ки}{ч \cdot МэВ \cdot А \cdot м}$). Зависимость C_o' от энергии электронов приведена на рис.

$T_{1/2}$ – период полураспада образующегося радиоизотопа;

E_0 – энергия электронов, МэВ.

В табл. 4.3. приведены значения запретного периода входа в рабочую камеру ускорителя, рассчитанные по приведенным в данном приложении формулам для J = 1 мА, кратность воздухообмена в камере $K_{кам}$ = 25 ч$^{-1}$, объем камеры $V_{кам}$ = 560 м^3, d = 5 м. Расчет проводился, исходя из образования озона, ^{13}N и ^{15}O.

Таблица 4.3

Величины запретного периода времени

E_0, МэВ	$T_{запр}$, мин		
	Озон	^{13}N	^{15}O
10	7	0	0
15	7	3	0
20	7	5,5	2
25	7	7	5
30	7	9	7
35	7	11	10

При энергиях электронов до 30 МэВ расчет запретного периода следует вести по озону, а при энергиях свыше 30 МэВ – по накоплению радиоактивных газов.

Если запретный период, обусловленный необходимостью снижения мощности дозы излучения от активированных конструкционных материалов и объектов облучения до допустимого уровня ($T_{запр}$), превышает $T_{запр}$, рассчитанный по формуле 4.1, то запретный период определяется $T_{запр}^{акт}$.

Пример: Ускоритель электронов (E_0 = 90 МэВ, $I = 10^{-3}$А) размещен в рабочей камере объемом $V_{кам} = 600$ м^3, с кратностью воздухообмена $K_{кам} = 10$ ч$^{-1}$. Расстояние от выходного окна ускорителя до мишени $d = 5$ м, средняя площадь развертки пучка электронов $S_{30} = 0{,}05$ м^2. Определить запретный период входа персонала в рабочую камеру.

Решение:

а) Рассчитаем запретный период, исходя из образования озона.

$$T_{запр}^{оз} = \frac{\ln \frac{C_{оз}^{кам}}{ПДК_{оз}}}{K_{кам} + \lambda_{ким}},$$

$\lambda_{ким}$ – коэффициент, учитывающий химическую нестойкость озона после отключения ускорителя ($\lambda_{ким} = 1{,}2$ ч$^{-1}$), не зависит от условий облучения.

$$C_{оз}^{кам} = \frac{4{,}2 \cdot 10^7 \; J \; d \; K_{03}}{(\lambda_{рад} + K_{03}) \, V_{кам} \; K_{кам}};$$

$$K_{30} = \frac{K_{кам} \, l_{кам}}{\sqrt{S_{30}}} = \frac{K_{кам} \sqrt[3]{V_{кам}}}{\sqrt{S_{30}}} = \frac{10 \cdot 8{,}5}{0{,}23} = 370 \text{ ч}^{-1}.$$

Тогда $t_{30} = \frac{1}{370} = 0{,}0027$ ч.

$$\lambda_{рад} = 1{,}6 \cdot 10^{-2} \, P^{0{,}6}, \text{ ч}^{-1};$$

$$P = 3{,}6 \cdot 10^{10} \, (\frac{dE}{dX})_{ион} \frac{Y}{S_{30}} = 3{,}6 \cdot 10^{10} \cdot 2{,}22 \cdot \frac{10^{-3}}{0{,}05} = 1600 \; M_{рад/час};$$

$$\lambda_{рад} = 1{,}6 \cdot 10^{-2} \, (1{,}6 \cdot 10^{9})^{0{,}6} = 5330 \text{ ч}^{-1};$$

$$C_{оз}^{кам} = \frac{4{,}2 \cdot 10^7 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 370}{(5330 + 370) \cdot 600 \cdot 10} [1 - e^{-(5330+370) \cdot 0{,}0027}] = 2{,}3 \; мг/м^3;$$

$$T_{запр}^{оз} = \frac{\frac{\ln 2{,}3}{0{,}1}}{10 + 1{,}2} = \frac{\ln 23}{11{,}2} = \frac{3{,}13}{11{,}2} = 0{,}28 \text{ ч} = 17 \; мин$$

б) Рассчитаем запретный период, исходя из образования радиоактивных газов.

При энергии электронов 30 МэВ преобладающим является образование ^{15}O (по сравнению с образованием ^{13}N – см. рис. 4.1).

Для ^{15}O величина $T_{1/2} = 2$ мин, $ДК_A = 1 \cdot 10^{-6}$ Ки/м^3.

Для ^{13}N величина $T_{1/2} = 10$ мин, $ДК_A = 2 \cdot 10^{-6}$ Ки/м^3.

$$C_{15_0}^{кам} = \frac{C_0' E_0 J d K_{30}}{(K_{30} + \frac{0{,}693}{T_{1/2}}) \, V_{кам} \; K_{кам}} [1 - e^{-(K_{30} + \frac{0{,}693}{T_{1/2}}) t_{30}}] =$$

$$= \frac{150 \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 370}{(370 + \frac{0{,}693}{0{,}033}) \cdot 600 \cdot 10} [1 - e^{-(370 + \frac{0{,}693}{0{,}033} \, 0{,}0027)}] = 2{,}2 \cdot 10^{-3}, \; Ки/м^3;$$

$$T^{15_{II}}_{запр} = \frac{\ln \frac{2{,}2 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-6}}}{10 + 21} = \frac{\ln 2200}{31} = 0{,}247\ ч = 15\ мин$$

в) Учитывая более длительный по сравнению с ^{15}O период полураспада ^{13}N, снижение концентрации изотопа ^{13}N после отключения ускорителя будет происходить гораздо медленнее, т. к. основную роль в снижении его концентрации будет играть кратность воздухообмена, а не распад нуклида, как в случае ^{15}O

$$C^{кам}_{13_N} = \frac{C'_0 E_0 J d K_{30}}{(K_{30} + \frac{0{,}693}{T_{1/2}}) V_{кам}\ K_{кам}} [1 - e^{-(K_{30} + \frac{0{,}693}{T_{1/2}}) t_{30}}] =$$

$$= \frac{40 \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 370}{(370 + \frac{0{,}693}{0{,}167}) \cdot 600 \cdot 10} [1 - e^{-(370 + \frac{0{,}693}{0{,}167} \cdot 0{,}0027)}] = 0{,}47 \cdot 10^{-3}\ Ки/м^3$$

$$T^{13_N}_{запр} = \frac{\ln \frac{0{,}47 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-6}}}{10 + 4{,}15} = \frac{\ln 235}{14{,}15} = 0{,}385\ ч = 23\ мин$$

Сравнивая полученные величины $T_{запр}$, видим, что наибольшее значение его определяется образованием ^{13}N. Поэтому $T_{запр}$ принимаем равным 23 мин.

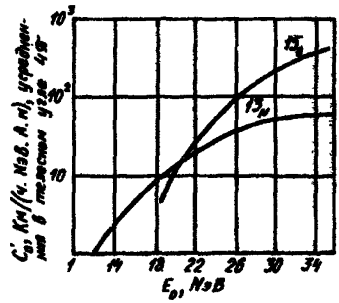

Рис. Зависимость постоянной скорости образования (C'_0) радиоизотопов ^{13}N и ^{15}O от энергии электронов (вольфрамовая мишень)

Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ

Методические указания
МУ 2.6.1.2117—06

Редакторы Кучурова Л. С., Максакова Е. И.
Технический редактор Ломанова Е. В.

Подписано в печать 25.10.06

Формат 60x88/16 Печ. л. 2,75
Тираж 500 экз. Заказ 37

Федеральная служба по надзору
в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека
127994, Москва, Вадковский пер., д. 18/20

Оригинал-макет подготовлен к печати Издательским отделом
Федерального центра гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора
117105, Москва, Варшавское ш., 19а
Отделение реализации, тел. 952-50-89

gost.e-ecolog.ru