САНИТАРНЫЕ ПРАВИЛА

размещения и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ

gost.e-ecolog.ru

«СОГЛАСОВАНО»
Зав. отделом охраны труда
ВЦСПС
А. П. СЕМЕНОВ
22 июня 1977 года

«УТВЕРЖДАЮ»
Заместитель Главного Государственного санитарного врача
Союза ССР
В. Е. КОВШИЛО
29 июня 1978 г.
№ 1858-78

САНИТАРНЫЕ ПРАВИЛА РАЗМЕЩЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ УСКОРИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ ДО 100 МэВ

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие правила разработаны в развитие «Основных санитарных правил работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений» (ОСП-72/78) в соответствии с требованиями действующих «Норм радиационной безопасности» (НРБ-76).

При проектировании и эксплуатации ускорителей электронов*) помимо Настоящих правил, ОСП-72/78 и НРБ-76 следует руководствоваться также «Санитарными нормами проектирования промышленных предприятий» (СН 245-71), «Санитарными правилами при работе с источниками электромагнитных полей высоких, ультравысоких и сверхвысоких частот» № 848-70, ГОСТ 12.1.003-76 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности», «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

Правила распространяются на все типы ускорителей, используемых в радиационной технологии, промышленной дефектоскопии, лучевой терапии и для других целей.

Правила не распространяются на рентгеновские установки любого назначения, электронные микроскопы, электроннолучевые установки для нагрева, плавки и сварки металлов и другие устройства, являющиеся источниками неиспользуемого рентгеновского излучения.

Правилами должны руководствоваться предприятия, организации, учреждения**) всех министерств и ведомств, проектирующих, строящих и эксплуатирующих ускорители.

Ответственность за соблюдение требований Настоящих Правил возлагается на руководство министерств, ведомств и учреждений, проектирующих, строящих и эксплуатирующих ускорители.

*) В дальнейшем — ускорители (ускоритель)

**) В дальнейшем именуются как учреждения.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ*)

1.1. Ускоритель электронов—электрофизическое устройство, генерирующее поток электронов или тормозное излучение (с максимальной энергией свыше 0,1 МэВ).

1.2. Радиационная установка с ускорителем электронов — электрофизическая радиационная установка (источником ионизирующих излучений является ускоритель электронов), предназначенная для облучения различных объектов ионизирующими излучениями.

1.3. Стационарная радиационная установка с ускорителем электронов—установка, для размещения которой требуются специально оборудованные помещения.

1.4. Передвижная радиационная установка с ускорителем электронов—установка, смонтированная и используемая на самоходных или несамоходных транспортных средствах (автомашина, вагон и т. п.).

1.5. Радиационная установка с ускорителем электронов с индивидуальной (местной) защитой—установка, в которой радиационная защита является элементом ее конструкции и непосредственно прилегает к источнику излучения и основным конструктивным узлам установки.

1.6. Система блокировки радиационной установки (ускорителя) —функциональная часть радиационной установки (ускорителя), обеспечивающая аварийное выключение функциональных частей установки (ускорителя) с целью обеспечения безопасности персонала.

1.7. Система сигнализации радиационной установки (ускорителя)—функциональная часть радиационной установки (ускорителя), информирующая о проведении радиационного процесса, значении экспозиционной дозы в радиационно-опасной зоне (на рабочих местах), состоянии отдельных функциональных частей установки (ускорителя).

1.8. Защитные каналы радиационной установки (ускорителя) —конструктивная часть радиационной защиты установки (ускорителя) в форме каналов и лабиринтов (криволинейные, гоколенчатые и др.), предназначенных для прокладки в рабочую камеру различных коммуникаций, доступа в нее персонала и обеспечивающих снижение интенсивности отраженного излучения до допустимых значений.

---

*) В соответствии с требованиями ГОСТ 20716-75 «Установки радиационные. Термины и определения» и ГОСТ 21442-75 «Установки радиационные. Признаки классификации».

1.9. Рабочая камера радиационной установки (ускорителя) —конструктивная часть радиационной установки (ускорителя), ограничивающая рабочую зону (в которой осуществляется непосредственное воздействие ионизирующих излучений на объекты облучения).

1.10. Пультовая (комната управления) — помещение постоянного пребывания персонала, в котором расположен пульт управления и контроля за работой радиационной установки (ускорителя).

1.11. Радиационно-опасная зона—зона, в пределах которой мощность дозы ионизирующих излучений превышает 0,1 мбэр/ч.

1.12. Персонал (обслуживающий персонал) — лица, которые непосредственно работают на ускорителе (радиационной установке с ускорителем электронов) или по роду своей деятельности могут подвергнуться облучению.

1.13. Радиационная авария—ситуация (инцидент), которая привела или могла бы привести к внешнему или внутреннему облучению людей, радиоактивному загрязнению окружающей среды и объектов облучения выше допустимых величин.

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

1.15. Источники неиспользуемого рентгеновского излучения —электровакуумные устройства, при работе которых рентгеновское излучение образуется в результате торможения ускоренных электронов на внутренних деталях этих устройств (сопутствующий фактор опасности). Источниками такого излучения могут быть любые электровакуумные устройства, работающие при эффективных ускоряющих напряжениях свыше 5 кВ (выпрямители, генераторные и модуляторные лампы, тиратроны, клистроны, плазменные установки, электронно-лучевые трубки и др.).

2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. При работе ускорителя основными факторами радиационной опасности являются:

а) выведенные из ускорителя пучки ускоренных электронов;

б) тормозное излучение, возникающее при взаимодействии ускоренных электронов с окружающей средой;

в) фотонейтроны, возникающие при взаимодействии высокоэнергетического тормозного излучения с ядрами веществ окружающей среды;

г) другие виды ионизирующих излучений, возникающих при взаимодействии электронов и тормозного излучения с ядрами веществ окружающей среды;

д) нефиксированное радиоактивное загрязнение окружающей среды в рабочей камере ускорителя (помещения ускорителя), возникающее в результате активации пыли, металлов, испарения активированных материалов мишени и узлов ускорителя под действием пучка электронов, проведения радиационных процессов и т. д.*);

е) 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;

ж) неиспользуемое рентгеновское излучение от высоковольтной электронной аппаратуры ускорителя.

2.2. Нерадиационные факторы опасности при работе ускорителя:

а) тепловыделения от оборудования и коммуникаций (магнитов, электрокабелей и др.);

б) озон и окислы азота, постоянно образующиеся в результате радиолиза под действием излучений ускорителей**);

в) электромагнитные поля высоких и сверхвысоких частот, создаваемые системами питания ускорителей;

г) шум, создаваемый аппаратурой ускорителей;

д) токсические вещества, выделяющиеся при облучении различных веществ *);

е) высокое напряжение;

ж) постоянные электрические и магнитные поля.

2.3. В зависимости от параметров пучка излучения и степени важности различных факторов опасности, перечисленных в п. п. 2. 1 и 2. 2, ускорители подразделяются на две группы:

I группа — ускорители с максимальной энергией электронов $E_0 \leqslant 10$ МэВ. При этих энергиях электронов фотоядерные реакции возможны лишь с небольшим количеством изотопов. В таких случаях наведенная активность окружающей среды практически не представляет опасности для здоровья людей***);

---

*) Сведения об образовании некоторых радиоизотопов с периодом полураспада $T_{\frac{1}{2}} > 5$ мин при работе ускорителя приведены в Приложении 1.

**) Допустимые концентрации некоторых газообразных токсических веществ, образование которых возможно при эксплуатации ускорителя, приведены в Приложении 2.

***) При $E_0 < 1{,}67$ МэВ (минимальный порог фотоядерной реакции на ядрах Be) активация веществ в результате фотоядерных реакций исключена.

II группа — ускорители с максимальной энергией ускоренных электронов 100 МэВ $> E_0 >$ 10 МэВ. В этом случае фотоядерные реакции возможны с большинством изотопов, поэтому неизбежна активация веществ окружающей среды в рабочей камере, в том числе и воздуха.

2.4. Вся техническая документация (технические условия, техническое описание, инструкции по монтажу, пуско-наладочным работам, эксплуатации и т. п.) на вновь разрабатываемые или модернизируемые ускорители подлежит обязательному согласованию с Главным санитарно-эпидемиологическим Управлением Министерства здравоохранения СССР.

2.5. Ускорители и помещения, в которых они размещаются, до начала эксплуатации должны быть приняты комиссией, состоящей из представителей заинтересованного учреждения, местной санитарно-эпидемиологической службы *), технической инспекции профсоюза, пожарной инспекции и органов внутренних дел. Если на ускорителе используются сосуды, работающие под давлением, в состав комиссии должны привлекаться представители Госгортехнадзора. Комиссия устанавливает соответствие ускорителей, вспомогательного оборудования и помещений, в которых они размещены, технической документации на все перечисленное, требованиям Настоящих правил, НРБ-76 и ОСП-72/78. После окончания приемки составляется акт, в котором, кроме требований, приведенных в п. 3.2 ОСП-72/78, указывается группа ускорителя, максимальная энергия (E_0) и ток (J_0) ускоряемых электронов, мощность дозы тормозного излучения (электронного излучения) на расстоянии 1 м от мишени, а также режим работы ускорителя **).

2.6. На основании акта приемки местная санэпидслужба выдает разрешение (санитарный паспорт) на право эксплуатации ускорителя.

2.7. Все лица, поступающие на работу по обслуживанию ускорителя, должны подвергаться обязательным предварительным медицинским осмотрам. Принятый на работу персонал должен проходить периодический (один раз в год) медицинский осмотр. При выявлении отклонений в состоянии здоровья работающего, препятствующих продолжению его работы на ускорителе, вопрос о временном или постоянном переводе этого лица на работу вне контакта с ионизирующими излучениями решается в каждом случае индивидуально на основании Приказа Министерства здравоохранения СССР № 400 от 30 мая 1969 г. Все сведения о результатах

---

*) В дальнейшем — санэпидслужба.

**) Администрация учреждения обязана согласовывать с проектной организацией и местной санэпидслужбой любое изменение параметров ускорителя и (или) проводимого процесса.

медицинских осмотров заносятся в индивидуальные карты и хранятся в течение 30-ти лет после увольнения сотрудника.

2.8. К непосредственной работе на ускорителе допускаются лица не моложе 18-ти лет.

2.9. Женщины должны освобождаться от работы на ускорителе, связанной с воздействием ионизирующих излучений, на весь период беременности, а на ускорителях II группы—на весь период кормления ребенка.

2.10. До начала эксплуатации ускорителя администрация учреждения обязана на основе Настоящих правил с учетом особенностей проводимых на нем работ и требований НРБ-76 и ОСП-72/78 разработать детальные инструкции по технической и радиационной безопасности, регламентирующие действия персонала по обслуживанию ускорителя. Отдельно составляются инструкции по противопожарной безопасности, предупреждению радиационных аварий и ликвидации их последствий. Эти инструкции утверждаются администрацией учреждения и согласовываются с местной санэпидслужбой и Госпожнадзором.

2.11. До начала эксплуатации ускорителя администрацией учреждения должно быть организовано обучение персонала безопасным методам работы. Персонал должен знать инструкции, перечисленные в п. 2.10 Настоящих правил, уметь пользоваться защитными приспособлениями и оборудованием, санитарно-техническими устройствами, знать правила личной гигиены. К работе на ускорителе допускаются лица, сдавшие зачет комиссии, назначаемой руководителем учреждения из числа наиболее квалифицированных специалистов. Результаты сдачи зачетов оформляются протоколом, утвержденным руководителем учреждения. Периодическая проверка знаний персоналом должностных инструкций и инструкций по технике безопасности и радиационной безопасности должна проводиться не реже одного раза в год; результаты этих проверок должны фиксироваться в специальном журнале.

2.12. Лица, временно привлекаемые к работе на ускорителе, должны быть обучены правилам безопасности, личной гигиены и ознакомлены с инструкциями, перечисленными в п. 2.10 Настоящих правил (с регистрацией результатов проверки знаний в протоколе). Эти лица обязаны выполнять все правила внутреннего распорядка, действующие на данном ускорителе (радиационной установке).

2.13. На наружной поверхности установки с ускорителем 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-х м.

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

3. РАЗМЕЩЕНИЕ, ПЛАНИРОВКА, ОТДЕЛКА И ОБОРУДОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ УСКОРИТЕЛЯ

3.1. Ускоритель I группы может быть расположен в производственном помещении, а также на промышленной площадке. При этом радиационная защита ускорителя должна удовлетворять требованиям НРБ-76, ОСП-72/78 и СН 245-71.

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

3.3. Запрещается использование помещений ускорителя для других целей без соответствующего разрешения местной санэпидслужбы.

3.4. 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.

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

— рабочая камера (помещение для просвечивания, процедурная), не менее 40 кв. м;

— пультовая, не менее 15 кв. м;

— вспомогательные помещения, необходимые для обеспечения нормальной работы ускорителя и осуществления технологического процесса, состав которых зависит от характера проводимых на ускорителе работ. Размеры этих помещений определяются в соответствии с СН и П и СН-245-71.

3.6. Вспомогательные помещения ускорителя должны быть оборудованы в соответствии с СН и П и СН-245-71.

3.7. 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.

3.8. В случае необходимости непосредственного наблюдения за работой ускорителя (процессом облучения) следует предусматривать устройство смотрового окна и (или) применение телевизионной установки. При использовании ускорителя для лучевой терапии должно быть предусмотрено двустороннее переговорное устройство для связи с больным во время процедуры облучения.

3.9. Допускается размещение высоковольтного оборудования в подвальном или цокольном этаже здания при расположении рабочей камеры (процедурной) на первом этаже.

3.10. 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.

3.11. При использовании передвижного ускорителя в 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 проводится в соответствии с п. 2. 13. Настоящих правил с применением временных переносных ограждений с установкой знаков радиационной опасности и предупреждающих надписей.

3.12. В местах постоянного пребывания персонала (пультовая, вспомогательные помещения) должно быть предусмотрено естественное освещение в соответствии с требованиями СН и П. Допускается также искусственное освещение при невозможности устройства естественного освещения.

3.13. Стены и потолок рабочей камеры ускорителя II группы должны окрашиваться масляной краской светлых тонов или покрываться слабо-сорбирующими материалами. К отделке рабочей камеры ускорителя I группы специальные требования не предъявляются.

3.14. Пол рабочей камеры ускорителя II группы следует покрывать слабо-сорбирующими материалами.

3.15. Отопление, водоснабжение и канализация помещений ускорителя должны удовлетворять требованиям СН-245-71.

3.16. Пол в помещениях, где установлено высоковольтное оборудование ускорителя, должен быть из электроизолирующего материала.

4. ТРЕБОВАНИЯ К РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЕ

4.1. 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.

4.2. Радиационная защита от всех видов ионизирующих излучений, возникающих при работе ускорителя, должна проектироваться таким образом, чтобы суммарные дозы облучения персо-

нала и населения не превышали величин, регламентируемых действующими нормами радиационной безопасности.

Проектирование радиационной защиты ускорителя производится исходя из допустимых величин мощности эквивалентной дозы излучения в помещениях, параметров ускорителя (максимальные значения энергии электронов и силы тока, мощность дозы излучения на расстоянии 1 м от мишени ускорителя и др.) с учетом назначения помещения ускорителя в зависимости от категории облучаемых лиц и длительности облучения. Расчет радиационной защиты ускорителя следует проводить в соответствии с Приложением 3.

4.3. 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 снижения интенсивности тормозного излучения.

4.4. При проектировании индивидуальной радиационной защиты ускорителя, состоящей из отдельных съемных защитных блоков, необходимо предусматривать невозможность включения его в случае неправильной установки таких блоков.

4.5. Все проемы, коммуникационные и технологические каналы в радиационной защите должны быть спроектированы и изготовлены таким образом, чтобы эффективность защиты в местах их прохождения была не ниже расчетной для всей защиты.

4.6. Вход в рабочую камеру должен выполняться защитным (лабиринт с дверью, защитная дверь и т. д.). Он должен располагаться в местах с наименьшими уровнями излучения.

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

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

4.9. В конструкции блоков с источниками используемого рентгеновского излучения должны быть предусмотрены радиационная защита 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.).

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

5. ТРЕБОВАНИЯ К ВЕНТИЛЯЦИИ

5.1. Администрация учреждения обязана организовать контроль за содержанием токсических 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.

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

5.3. 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.

5.4. В ускорителе с индивидуальной защитой для удаления продуктов радиолиза воздуха и других токсических 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 токсические вещества.

5.5. Системы вентиляции рабочих камер должны обеспечивать снижение концентрации токсических 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 организован подпор воздуха из соседних помещений в рабочую камеру ускорителя.

Продолжительность запретного периода определяется расчетом, приведенным в Приложении 4.

5.6. Необходимость очистки воздуха, удаляемого из помещений ускорителя, определяется на стадии проектирования.

5.7. Допускается удаление воздуха в атмосферу без очистки, если расчетом обосновано, что удаляемые вредные вещества

рассеиваются в атмосфере до допустимых величин при наиболее неблагоприятных метеорологических условиях для района размещения ускорителя.

5.8. Пультовая и другие помещения, технологически связанные с эксплуатацией ускорителя, должны вентилироваться в соответствии с требованиями СН-245-71.

6. СИСТЕМЫ БЛОКИРОВКИ И СИГНАЛИЗАЦИИ

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

6.2. 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.

6.3. 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.

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

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

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

6.7. 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.

6.8. 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 Приложении 4.).

6.9. В рабочей камере должна быть установлена звуковая и

световая сигнализация, предупреждающая о необходимости немедленно покинуть рабочую камеру и лабиринт перед включением ускорителя.

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

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

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

6.13. 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.

6.14. 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.

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

6.16. При неисправности одной из предусмотренных проектом блокировок включение ускорителя должно быть исключено.

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

6.18. Блоки с источниками неиспользуемого рентгеновского излучения должны быть оборудованы блокировкой, отключающей высокое напряжение при открывании дверцы.

7. РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ

7.1. Радиационный контроль на ускорителе, а также контроль за соблюдением всеми работающими норм и правил радиационной безопасности осуществляется службой радиационной безопасности данного учреждения (или отдельно выделенным лицом).

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 местной санэпидслужбой.

7.2. 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.

7.3. Объем, характер и периодичность радиационного контроля, а также учет и порядок регистрации его результатов определяются на стадии проектирования ускорителя, а также записываются в инструкцию по радиационной безопасности, подлежащей согласованию с местной санэпидслужбой.

7.4. Система радиационного контроля при эксплуатации ускорителя должна включать:

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

— индивидуальный дозиметрический контроль за дозами облучения 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 увеличения мощности ускорителя, при изменениях режима его эксплуатации и конструкции радиационной защиты. Результаты контроля должны регистрироваться в специальном журнале:

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

— контроль исправности систем блокировки и сигнализации.

7.5. На ускорителях II группы и на ускорителях I группы, где используют мишени из бериллия и трития, следует осуществлять периодический контроль за потоками нейтронов, уровнями радиоактивного загрязнения окружающей среды и объектов облучения, одежды и кожных покровов персонала, обусловленными наведенной активностью (периодичность контроля устанавливается мест-

---

*) Дозиметрические приборы должны быть защищены от воздействия высококачественных электромагнитных полей.

ной инструкцией по радиационной безопасности), а также контроль за сбором, временным хранением и удалением радиоактивных отходов.

7.6. Администрация учреждения обязана обеспечить контроль за факторами нерадиационной опасности.

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

7.8. Индивидуальный дозиметрический контроль обязателен лишь для лиц, работающих в радиационно-опасной зоне, а также при проведении ремонтно-профилактических и аварийных работ.

7.9. Результаты радиационного контроля должны регистрироваться в специальных журналах. На всех лиц, работающих на ускорителе, заводятся карточки учета индивидуальных доз (см. Приложение 5), в которых регистрируются квартальные и годовые дозы внешнего облучения персонала, а также суммарные дозы облучения за весь период работы. На ускорителях II группы необходимо проводить учет доз облучения персонала при выполнении им ремонтно-профилактических и аварийных работ.

7.10. Карточки учета индивидуальных доз должны храниться в учреждении в течение 30 лет после увольнения работника. В случае перехода работающего в другое учреждение, где проводятся работы с источниками ионизирующих излучений, копия карточки учета индивидуальных доз после предварительного запроса должна пересылаться на новое место работы.

7.11. Периодичность профилактического осмотра и проведения ремонтно-профилактических работ устанавливается организацией, проектирующей ускоритель, и обеспечивается администрацией учреждения, эксплуатирующего ускоритель.

8. ТРЕБОВАНИЯ К ПУСКО-НАЛАДОЧНЫМ И РЕМОНТНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИМ РАБОТАМ

8.1. Пуско-наладочные работы на ускорителе проводятся до приемки ускорителя комиссией (в соответствии с п. 2.5) 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 местной санэпидслужбой.

8.2. Вывод ускорителя на номинальный режим работы осуществляется постадийно, начиная с минимальных значений силы тока пучка с последующим увеличением ее примерно в 10 раз. На каж-

дой стадии работы ускорителя измеряются уровни излучения на наружных поверхностях радиационной защиты, определяются размеры радиационно-опасной зоны. Кроме того снимается детально распределение полей излучения (картограммы дозных полей) в помещениях ускорителя и помещениях смежных с ним.

Примечания: 1. При измерении уровней излучения особое внимание обращается на места прохождения технологических каналов в радиационной защите.

2. Необходимо предусмотреть средства защиты на случай расфокусировки пучка электронов.

8.3. Для проведения каждой стадии ввода ускорителя в номинальный режим работы необходимо разрешение службы радиационной безопасности (или специально выделенного лица) учреждения, в котором размещен ускоритель.

8.4. Пуско-наладочные и ремонтно-профилактические работы на ускорителе должны проводиться с учетом требований, изложенных в п. 8.1. На ускорителях II группы указанные работы должны проводиться только при наличии разрешения и под непосредственным контролем службы радиационной безопасности (специально выделенного лица) учреждения, которому принадлежит ускоритель.

8.5. Пуско-наладочные и ремонтно-профилактические работы на ускорителе должны осуществляться специализированной организацией. Допускается проведение указанных работ персоналом учреждения, который должен быть специально обучен и иметь согласованную с местной санэпидслужбой подробную инструкцию по технологии проведения работ и радиационной безопасности. Персонал, участвующий в пуско-наладочных и ремонтно-профилактических работах, должен быть обеспечен средствами индивидуальной защиты, необходимый набор которых определяется на стадии проектирования ускорителя.

9. ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ АВАРИЙ И ЛИКВИДАЦИЯ ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

9.1. Для предупреждения и ликвидации радиационных и других аварий (пожаров) должны быть разработаны специальные инструкции *) (см. п. 2.10 Настоящих правил), в которых следует отразить следующие основные положения:

а) прогноз возможных аварийных ситуаций (пожаров);

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

---

*) Подлежит обязательному согласованию с местной санэпидслужбой.

в) мероприятия по ликвидации аварии (пожара);

г) поведение персонала при аварии (пожаре);

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

е) мероприятия по защите персонала при ликвидации последствий аварии.

9.2. Ответственность за проведение мероприятий по ликвидации аварий несет администрация учреждений, где произошла авария.

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. Ускоритель II группы должен быть оборудован автоматическим и ручным устройствами для выключения его при отказе резервной вентиляции (см. п. 5.3).

9.5. На ускорителе II группы в случае радиоактивного загрязнения поверхностей и воздушной среды 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 пректирования ускорителя II группы следует предусмотреть возможность очистки воды, предназначенной для охлаждения отдельных узлов ускорителя.

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 материалов.

9.8. Ускоритель должен быть немедленно выключен при обнаружении дефектов в радиационной защите.

9.9. Возобновление эксплуатации ускорителя после ликвидации всех последствий аварии допускается только после получения разрешения от местной санэпидслужбы.

9.10. При проведении пуско-наладочных и ремонтно-профилактических работ, а также 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 круп-

ной аварии, переоблучения большего числа людей и спасение их жизни.

9.11. Работы на ускорителе под повышенным давлением необходимо согласовывать с местной санэпидслужбой и Госгортехнадзором.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящие правила вводятся в действие после их опубликования.

С изданием Настоящих правил «Санитарные правила размещения и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ» № 393-62 отменяются.

Все действующие ускорители должны быть приведены в соответствие с требованиями Настоящих правил в сроки, согласованные с местной санэпидслужбой, но не позднее трех лет с момента опубликования Настоящих правил.

ЛЗРТ Заказ № 0505

Приложение I

ОБРАЗОВАНИЕ РАДИОИЗОТОПОВ ПРИ РАБОТЕ УСКОРИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОНОВ

Таблица I.I.

Характеристика радиоизотопов с $T_{1/2} \geq 5$мин, образующихся при работе ускорителя

Изотоп (содержание в естественной смеси, %)	Фотоактивация (пороговая энергия, МэВ)	Радиоизотоп (период полураспада)	Схема распада	Сечение активации на нейтронах спектра деления, барн	Ядерная реакция, радиоизотоп (период полураспада)	Схема распада
1	2	3	4	5	6	7
$_6C^{12}$ (98,89)	n,α (26,27)	Be^7 (53,3 дн.)	ε,γ	-	-	-
$_{12}Mg^{25}$ (I0,00)	p (I2,06)	Na^{24} (I5,0 ч.)	β^-,γ	-	-	-
$_{12}Mg^{26}$ (II,0I)	n,p (23,I6)	Na^{24} (I5,0 ч)	β^-,γ	-	-	-
	2 p (24,84)	Na^{24} (I5,0 ч)	β^-,γ	-	-	-
$_{13}Al^{27}$ (I00,0)	He^3 (23,7I)	Na^{24} (I5,0 ч)	β^-,γ	-	-	-
$_{14}Si^{30}$ (3,09)	p (I3,5I)	Al^{29} (6,6 мин)	β^-,γ	$0,I\cdot I0^{-3}$	n,α; Mg^{27} (I0мин)	β^-,γ
$_{20}Ca^{43}$ (0,I45)	2 p (I9,9I)	Ar^{4I} (I,83 ч)	β^-,γ	-	-	-
	p (I0,67)	K^{42} (I2,4 ч)	β^-,γ	-	-	-
$_{20}Ca^{44}$ (2,06)	He^3 (23,32)	Ar^{4I} (I,83 ч)	β^-,γ	-	-	-
	n, p (2I,80)	K^{42} (I2,4 ч)	β^-,γ	-	-	-
	p (I2,I7)	K^{43} (22,4 ч)	β^-,γ	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7
$_{22}Ca^{48}$ (0,18)	n (9,94)	Ca^{47}(4,53 дн)	β^-, γ и Sc^{47}(3,4дн)	-	-	-
$_{24}Cr^{50}$ (4,35)	$2n$ (23,32)	Cr^{48}(23 ч)	ε, γ	-	-	-
	n,p (2I,I4)	V^{48}(I6,I3 дн)	$\varepsilon, \beta^+, \gamma$	-	-	-
	n (I2,93)	Cr^{49}(4I,9 мин)	$\varepsilon, \beta^+, \gamma$	-	-	-
$_{24}Cr^{52}$ (83,79)	n (I2,04)	Cr^{5I}(27,8 дн)	ε, γ	-	-	-
$_{24}Cr^{53}$ (9,50)	$2n$ (I9,98)	Cr^{5I}(27,8 дн)	ε, γ	-	-	-
$_{25}Mn^{55}$ (I00,0)	n (I0,22)	Mn^{54}(3I2,5 дн)	ε, γ	$0,I6.I0^{-3}$	$n,2n$;Mn^{54}(3I2,5дн)	ε,γ
$_{26}Fe^{54}$ (5,82)	$2n$ (24,06)	Fe^{52}(8,2 ч)	$\varepsilon, \beta^+, \gamma$	$48.I0^{-3}$	n, p ;Mn^{54}(3I2,5дн)	ε,γ
	n,α (2I,35)	Cr^{49}(4I,9 мин)	$\varepsilon, \beta^+, \gamma$	$0,37.I0^{-3}$	n, α ;Cr^{5I}(27,8 дн)	ε,γ
	n,p (20,90)	Mn^{52}(5,67 дн)	$\varepsilon, \beta^+, \gamma$	-	-	-
	n (I3,62)	Fe^{53}(8,50 мин)	$\text{Ш}, \beta^+, \gamma$	-	-	-
$_{26}Fe^{56}$ (9I,66)	n,p (20,4I)	Mn^{54}(3I2,5 дн)	ε, γ	$0,87.I0^{-3}$	n, p ;Mn^{56}(2,58 ч)	β^-,γ
$_{26}Fe^{57}$ (2,I9)	T (I9.57)	Mn^{54}(3I2,5 дн)	ε, γ	-	-	-
	p (I0,56)	Mn^{56}(2,58 ч)	β^-, γ	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7
$_{26}Fe^{58}$(0,33)	n , p (20,60)	Mn ^{56} (2,58 ч)	β^-, γ	-	-	-
$_{28}Ni^{58}$(67,77)	$2n$ (22,45)	Ni^{56} (6,I дн)	ε, γ	I,2.I0^{-6}	n , $2n$; Ni^{57}(36,5ч)	$\varepsilon, \beta^+, \gamma$
	T (2I,I6)	Co ^{55} (I8,2 ч)	$\varepsilon, \beta^+, \gamma$	I3,0.I0^{-8}	n , p ; Co^{58m}(9,2 ч)	IT, γ
	n , p (I9,56)	Co ^{56} (77,3 дн)	$\varepsilon, \beta^+, \gamma$	I05,0.I0^{-3}	n , p ; Co^{58}(7I,3 дн)	$\varepsilon, \beta^+, \gamma$
	p (8,I8)	Co ^{57} (270 дн)	ε, γ	0,47.I0^{-8}	n , α ; Fe^{55}(2,60года)	ε
$_{28}Ni^{60}$(26,I6)	T (20,08)	Co ^{57} (270 дн)	ε, γ	5,0.I0^{-8}	n , p ; Co^{60}(5,26года)	β^-, γ
$_{28}Ni^{61}$(I,25)	2p (I8,I4)	Fe^{59} (44,6 дн)	β^-, γ	-	-	-
$_{28}Ni^{62}$(3,66)	He^3(2I,02)	Fe^{59} (44,6 дн)	β^-, γ	-	-	-
	p (II,II)	Co ^{6I} (I,65 ч)	β^-, γ	I3,0.I0^{-8}	n, α ; Fe^{59}(44,6 дн)	β^-, γ
$_{28}Ni^{64}$(I,I6)	T (I9,I3)	Co ^{6I} (I,65 ч)	β^-, γ	-	-	-
	n,α (I5,84)	Fe^{59} (44,6 дн)	β^-, γ	-	-	-
$_{29}Cu^{63}$(69,I7)	$2n$ (I9,74)	Cu^{6I} (3,4I ч)	β^+, γ	-	-	-
	2p (I7,23)	Co ^{6I} (I,65 ч)	β^-, γ	0,72.I0^{-8}	n,α ; Co^{60}(5,26года)	β^-, γ
				-	-	-

1	2	3	4	5	6	7
$_{29}Cu^{65}$ (30,83)	n (9,91)	Cu^{64} (12,75 ч)	$\varepsilon, \beta^+, \gamma$	0,36.10	n, p; Ni^{65} (2,5[illegible])	β^-, γ
	α (6,76)	Co^{64} (1,65 ч)	β^-, γ	-	-	-
$_{73}Ta^{181}$ (99,99)	n, α (5,52)	$Lu^{176м}$ (3,7 ч)	β^-, γ	-	-	-
	p (6,19)	$Hf^{180м}$ (5,5 ч)	ИП, γ	-	-	-
	n (7,64)	$Ta^{180м}$ (8,1 ч)	$\varepsilon, \beta^-, \gamma$	-	-	-
	2p (14,08)	Lu^{179} (4,6 ч)	β^-, γ	-	-	-
	He^3 (13,34)	Lu^{178} (20 мин)	β^-, γ	-	-	-
$_{74}W^{182}$ (26,41)	2p (13,20)	$Hf^{180м}$ (5,5 ч)	ИП, γ	-	-	-
	n, p (14,65)	$Ta^{180м}$ (8,1 ч)	$\varepsilon, \beta^-, \gamma$	-	-	-
	p (7,14)	$Ta^{182м}$ (16,5 мин)	ИП, γ	-	-	-
$_{74}W^{183}$ (14,40)	p (7,14)	Ta^{182} (115 дн)	β^-, γ	-	-	-
	He^3 (11,67)	$Hf^{180м}$ (5,5 ч)	ИП, γ		-	-
	T (12,36)	$Ta^{180м}$ (8,1 ч)	$\varepsilon, \beta^-, \gamma$			-
	2p (13,44)	Hf^{181} (42,4 дн)	β^-, γ		-	-
$_{74}W^{[illegible]}$ (30,64)	p (7,7[illegible])	Ta^{183} ([illegible],0 дн)	[illegible]	-	-	-
	[illegible]	Hf^{181} [illegible]	[illegible]		-	-
	[illegible]	[illegible]			-	-
				-	-	-

1	2	3	4	5	6	7
$_{74}W^{185}$(28,4I)	n,d (5,53)	Hf^{I8I} (42,4 дн)	β^-,γ	-	-	-
	p (8,33)	Ta^{I85} (50 мин)	β^-,γ	-	-	-
	T (I2,I8)	Ta^{I83} (5,0 дн)	β^-,γ	-	-	-
	He^3 (I4,37)	Hf^{I83} (9I дн)	β^-,γ	-	-	-
	n,p (I4,93)	Ta^{I84} (8,7 ч)	β^-,γ	-	-	-
$_{82}Pb^{204}$(I,48)	n,d (6,06)	Hg^{I99} (43 мин)	MI, γ	$3,3.10^{-8}$	n,2n; Pb^{203}(52,I ч)	ε,γ
	n (8,24)	Pb^{203} (52,I ч)	ε,γ	-	-	-
	T (I2,8I)	Tl^{20I} (73 ч)	ε,γ	-	-	-
	n,p (I4,34)	Tl^{202} (I2,2 дн)	ε,γ	-	-	-
	2n (I5,I7)	Pb^{202m} (3,6I ч)	MI, ε,γ	-	-	-
$_{82}Pb^{206}$(23,6)	He^3 (I3,45)	Hg^{203} (46,56 дн)	β^-,γ	-	-	-
$_{82}Pb^{208}$(52,3)	n,d (6,98)	Hg^{203} (46,56 дн)	β^-,γ	-	-	-
	He^3 (I4,52)	Hg^{205} (5,5 мин)	β^-,γ	-	-	-

Приложение 2

ДОПУСТИМЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ТОКСИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

2.I. При совместном присутствии в воздухе нескольких токсических веществ сумма их концентраций не должна превышать I (единицы) при расчете по формуле (2.I)

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \ldots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq I, \qquad (2.I)$$

где: $C_1, C_2, \ldots, C_n$ – концентрации токсических веществ в воздухе.

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

2.2. Предельно допустимые концентрации (ПДК) некоторых газообразных токсических веществ, образующихся при осуществлении радиационно-технологических процессов, представлены в таблице 2.I.

Таблица 2.I.

ПДК некоторых газообразных токсических веществ, образующихся при эксплуатации ускорителя

Вещество	ПДК, мг/м³	Примечание
Озон	0,I	При работе сильноточных ускорителей в основном образуется озон (в зоне пучка электронов концентрация озона в воздухе в несколько тысяч раз превышает ПДК)
Окислы азота	5,0	
Малеиновый ангидрид	I	Летучие компоненты ряда смол, используемых в процессах радиационно-химического отверждения покрытий (мебельная промышленность, радиопромышленность и др.) Раздражают слизистые оболочки глаз, носа, легких, вызывают экзему.
Фталевый ангидрид	I	
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:

- максимальная энергия ускоренных электронов E_0, МэВ;
- средний ток электронов J_0, 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.

Оценка мощности поглощенной дозы тормозного излучения в воздухе с учетом углового распределения – $P_0(\theta)$ (рад·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 таблице 3.1, либо полученных из нее интерполяцией по энергии и атомному номеру $Z_м$.

Расчет радиационной защиты проводится следующим образом:

1. По исходным величинам E_0 и $Z_м$ определяют по таблице 3.1 значения $P_0(\theta)$ для J_0 = 1 мА на расстоянии 1 м от мишени.

2. Определяют мощность дозы $P(R, \theta)$ на расстоянии R (м) от мишени для тока J_0 (мА):

$$P(R,\theta) = \frac{P_0(\theta) \cdot J_0}{R^2} \qquad (3.1)$$

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

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

4. С помощью данных таблиц 3.2-3.4 для выбранного материала защиты и определенной эффективной энергии излучения ($E_{эфф}$) находят необходимую толщину радиационной защиты. При этом эффективная энергия тормозного излучения (для защиты из тяжелых материалов – свинец и др.) определяется следующим образом:

$E_{эфф} = \frac{2}{3} E_0$ при $E_0 \leq 1{,}7$ МэВ,

$E_{эфф} = \frac{E_0}{2}$ при $1{,}7$ МэВ $< E \leq 10$ МэВ,

$E_{эфф} = \frac{E_0}{3}$ при 10 МэВ $< E \leq 100$ МэВ.

При расчете радиационной защиты могут быть полезны данные по слоям десятикратного ослабления излучения $\delta_{1/10}$ в бетоне, железе и свинце (см.таблицу 3.5). При этом соблюдается условие:

$$K = 10^n, \qquad (3.3)$$

где n – число слоев десятикратного ослабления, определяемое из соотношения:

$$n = \lg K \qquad (3.4)$$

Толщина защиты d вычисляется по формуле:

$$d = n \delta_{1/10} \qquad (3.5)$$

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

I. По известной энергии и току ускоренных электронов для тяжелой мишени (Ta, W , Pb) определяют выход фотонейтронов по формуле:

$$Q = 1{,}5 \cdot 10^{4} \cdot N \cdot E_0, \text{ нейтрон/с.мА.} \qquad (3.6)$$

где N число электронов, взаимодействующих с мишенью, или с помощью данных таблицы 3.6.

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

$$\Phi(R) = \frac{Q \cdot J_e}{4\pi \cdot R^2 \cdot 10^4}, \quad \text{нейтрон/(см}^2\text{.с)} \qquad (3.7)$$

3. Определяют кратность ослабления для нейтронов (K_H):

$$K_H = \frac{(KK) \cdot Q \cdot J_e}{4\pi \cdot R^2 \cdot 10^4 \cdot P_{доп}}, \qquad (3.8)$$

где $P_{доп}$ - допустимая мощность дозы для нейтронов;

КК - 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.I.

Мощность поглощенной дозы тормозного излучения в воздухе, рад·м^2/мА·мин

E_0, МэВ	!	0,2				!	0,3				!	0,5				!	0,7			
$\vartheta^{x)}$, град \ мишень	!	Al	Fe	Sn	Au	!	Al	Fe	Sn	Au	!	Al	Fe	Sn	Au	!	Al	Fe	Sn	Au
0		0,8	I,3	I,75	3,3		I,95	3,50	4,4	7		6,3	8,6	I5	23		I5,I	2I,6	35	45,8
I0		0,7	I,2	I,66	2,9		I,67	3,I6	4,0	6,I5		5,55	8,I	I3,2	20		I2,7	I9,2	34,3	40,2
20		0,7	I,I	I,50	2,45		I,67	2,80	3,7	5,3		5,I	7,4	II,7	I6,7		I0,8	I3,2	28,2	34,6
30		0,62	I,0	I,40	2,I		I,60	2,46	3,5	4,6		4,3	6,7	I0,6	I4,0		9,3	I5,4	24,6	29
40		0,55	0,97	I,23	I,85		I,50	2,20	3,I6	4,I2		3,6	5,8	8,8	I2,3		7,9	I2,6	20,6	24,6
50		0,49	0,53	I,I5	I,58		I,40	I,93	2,8	3,96		2,7	5,0	7,9	I0,5		6,3	I0,4	I7,2	2I
60		0,53	0,7	I,0	I,40		I 32	I,75	2,46	3,34		2,I	4,0	6,85	9,7		5,3	8,I6	I4	I7,5
70		0,35	0,6I	0,88	I,28		I,23	I,60	2,I	3,I0		I,67	3,5	5,65	7,65		3,86	6,5	II,4	I5,3
80		0,32	0,54	0,80	I,I5		I,0	I,40	I,76	3,I0		I,05	2,3	4,4	6,85		3,0	4,7	9,I5	I3
90		0,26	0,47	0,70	I,0		0,88	I,32	I,40	2,55		0,6I	I,0	3,5	6,85		2,I6	3,I	7	II,5
I00		0,24	0,44	0,6I	0,98		0,70	I,I5	I,23	2,46		0,7	I,4	3,I	6,85		-	-	6,5	II,2
II0		0,2I	0,46	0,53	I,0		0,53	I,0	I,05	2,46		0,98	2,2	3,I6	7,65		-	-	7,0	I2,7
I20		0,2	0,53	0,53	I,0		0,42	I,0	I,23	2,46		I,23	2,46	3,7	7,9		-	-	7,8	I5
I30		0,I7	0,49	0,6I	I,I4		0,35	0,97	I,5	2,7I		I,23	2,64	4,4	7,9		-	-	8,25	I5,5
I40		0,I6	0,47	0,80	I,30		0,35	0,88	I,76	2,7I		I,05	2,48	5,2	7,9		-	-	8,6	I5,7
I50		0,I6	0,44	0,88	I,20		0,26	0,88	I,94	2,7I		0,97	2,2	5,3	7,9		-	-	8,8	I5,8
I60		0,I5	0,40	0,88	I,20		0,26	0,79	I,94	2,7I		-	-	5,2	7,9		-	-	8,8	I5,8
I70		0,I3	0,37	0,84	I,I4		0,26	0,70	I,85	2,46		-	-	4,84	7,9		-	-	8,8	I5,8
I80		0,...	0,35	0,80	I,0		0,26	0,70	I,76	2,64		-	-	4,5	7,9		-	-	8,8	I5,8

x) ϑ - угол между направлением пучка электронов и направлением вылета тормозного излучения из мишени.

Продолжение таблицы 3.I

E_0, МэВ		I,0				I,25			I,5		
θ, град / мишень		Al	Fe	Au	Sn	Al	Cu	Au	Al	Cu	Au
0		39,6	58	8I,6	79	49,3	72	I33,5	84,5	I28,5	2I6,3
I0		36,0	5I	75,5	65	43	70,3	I28	74	I2I,4	2I0,5
20		28,2	42,2	65	54,5	30,6	52	I03	47,5	92,5	I86
30		I9,4	3I,8	55,4	44,8	24,6	36	97,5	92,6	67	I54
40		I4,I	28,8	49,2	37,5	20,6	32,5	82,4	26,4	5I	I34
50		I2,3	23	45	30,8	I6,4	29	72,4	22,8	45,7	I24
60		9,7	I9,4	33,5	27,2	I4,4	20,6	6I,5	20,2	38,8	II4
70		8,I	I5	29	22,8	I2,3	I9,6	59,8	I6,7	36	I03
80		4,76	II,4	22	I9,7	I0,3	I8,5	57	I3,2	30,8	92,5
90		2,0	4,5	I7	I6,7	6,I5	I7,5	56,4	7,9I	28,2	82,9
I00		2,65	6,5	32,5	I5,4	5,6	I6,4	54,5	7,22	24	85
II0		3,I8	8,3	37	I4,0	5,I	I6	52,7	6,7	23	79,4
I20		3,I	9,7	39,5	I5,0	4,56	I5,4	5I,8	6,I5	I8,5	77,5
I30		3,I	9,7	39	I5,4	4,I4	I4,9	5I,I	5,64	I7,6	76,7
I40		3,I	9,7	39	I6,7	3,6	I4,4	49,2	5,I	I6,7	75,7
I50		3,I	7,8	37,8	I7,6	3,0	I4,0	58,5	4,65	I5	74
I60		3,0	7,0	37,8	I7,6	2,5	I3,9	-	4,I	-	-
I70		3,0	7,0	37,8	I7,7	2,5	I3,8	-	3,I	-	-
I60		2,9	6,I5	37,8	I7,6	2,5	I3,8	-	2,55	-	-

Продолжение таблицы 3.I.

E_0, МэВ	1	1,75		1	2	1		2,8	1	4	1	8
θ, град \ мишень	Al	Cu	Au	Al	Fe	Au	Al	Fe	Au	Sn	Sn
0	I29	206	340	256	358	457	8I7	964	I070	2750	I6I00
I0	I03	I64	288	I94	274	408	520	670	856	I895	4720
20	68	I26	237	I25	203	3I2	285	437	625	III9	3330
30	53	I03	203	85,5	I38	245	I70	306	48I	875	2740
40	47,5	67	I89	67	I05	I89	I38	238	382	735	2I80
50	4I,5	56	I65	59	85	I57	85	I7I	300	620	I580
60	32,6	5I	I55	33	67	II9	68	I2I	252	525	II90
70	25,6	4I,4	I44	I9,4	53	86	5I	86	202	429	880
80	I9,4	34,3	I34	I6,7	32	60	34	5I	II8	3I4	590
90	I6,9	28,2	I28,4	II,4	29	49	26	3I	II0	273	440
I00	I3,5	25,5	II9	I3,2	3I	II9	3I	33	I34	392	660
II0	II,4	22,8	I08	I3,2	26	I03	35	53	I68	3I8	540
I20	I0,6	20,3	I03	I2,5	25,5	II3	35	70,5	2I8	272	470
I30	9,7	I8,5	98	8,3	25	I08	I7,6	70,5	202	234	4I5
I40	8,3	I7,7	93	7,3	23	I03	I7,6	53	202	205	375
I50	7,2	I6,7	88	7,2	I8,5	-	I7,6	53	I85	I82	345
I60	6,I5									I62	325
I70	5,7									I45	307
I80	5,2									I33	295

Продолжение таблицы 3.I.

E_0, МэВ	10		30		60		100	
θ, град \ мишень	W		W		W		Pb	
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							$9{,}7 \cdot 10^{3}$	

Таблица 3.2.

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

K	$E_{эфф}$, 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	14,0	16,0
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
5.10^2	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
5.10^3	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
5.10^4	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
5.10^5	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
5.10^6	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 3.3.

Толщина зеленых на железе (см) [illegible] красителя К.

К	$K_{сл}$, мкз														
	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
5.10^2	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
5.10^3	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
5.10^4	8,3	12,6	16,0	19,0	21,6	23,5	25,3	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
5.10^5	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
5.10^6	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 3.4

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

K	$E_{эфф}$, 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	39,7	39,9	38,4

Таблица 3.5

Значения $\delta_{1/10}$(см) тормозного излучения в различных материалах

E_0, МэВ	Бетон (ρ = 2,3г/см³)	Железо (ρ=7,8 г/см³)	Свинец (ρ=11,3г/см³)
0,2	8,6		0,14
0,25	9,0		0,29
0,3	10,0		0,57
0,4	10,0		0,82
0,5	13,6		1,03
1	17,5		2,52
2	23,0		3,9
4	30,1	8,1	4,9
6	35,2	9,8	5,1
10	41,9	10,5	5,6
20	46,0	11,2	5,4

Таблица 3.6

Выход фотонейтронов на различных мишенях в зависимости от энергии электронов

E_0, МэВ	$N \cdot 10^{-4}$ фотонейтрон/электрон			
	Cu (50г/см²)x)	Cu (12,7г/см²)	Ta(12,5г/см²)	Pb (23г/см²)
11	-	-	-	1,5
12	-	-	0,6	-
13	0,8	0,4	3,8	-
19	-	-	-	22
20	6	3	13	-
28	21	8	-	46
30	-	-	40	-
34	33	13	-	79
35	-	14	-	-
100	-	-	100	-

x) В скобках дана толщина мишеней.

Приложение 4.

Организация вентиляции помещений ускорителя.

Для удаления образующихся в рабочей камере ускорителя теплоизбытков в ней должны быть обеспечены следующие минимальные кратности воздухообмена (см.таблицу 4.I)

Таблица 4.I.

Минимальные кратности воздухообмена в рабочей камере ускорителя.

Объем рабочей камеры, $м^3$	до I00	I00-500	500-I000	свыше I000
Кратность воздухообмена, $ч^{-I}$	I5	I0	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:

$$T_{запр} = \frac{\ln \frac{C_i}{ПДК_i (ДК_{Ri})}}{K_{кон} + \lambda_i}, \qquad (4.I)$$

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

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

$ДК_{Ri}$ - допустимая концентрация i-того радиоактивного вещества, $Ки/м^3$;

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

λ_i – коэффициент, характеризующий химическую (или ядерную) нестойкость i-того 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 озоном (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 счет перемешивания воздуха).

Концентрация озона в зоне действия пучка электронов рассчитывается по формуле:

$$C_{оз}^{л.п.} = \frac{C_0 \cdot J}{S_{л.п.}(\lambda_{раз} + K_{л.п.})} \cdot \left[1 - e^{-(\lambda_{раз} + K_{л.п.})t_{л.п.}}\right] \frac{мг}{м^3}; \quad (4.2)$$

где $C_{оз}^{л.п.}$ – концентрация озона в зоне облучения (в пучке электронов) во время работы ускорителя;

$C_0 = 4{,}2 \cdot 10^{-7}$ мг/мин – коэффициент пропорциональности;

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

J – ток пучка электронов, А;

$S_{л.п.}$ – площадь поперечного сечения зоны облучения (развертки), м²;

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

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

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

Мощность поглощенной дозы ускоренных электронов в воздухе рассчитывается по формуле:

$$P = 3,6 \cdot 10^{10} \left(\frac{dE}{dx}\right)_{нач} \cdot \frac{J}{\lambda}, \ рад/ч, \qquad (4.4)$$

где $\left(\frac{dE}{dx}\right)_{нач}$ – ионизационные потери, $\frac{МэВ \cdot см^2}{г}$ – (см. таблицу 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
$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{нач}$, $\frac{МэВ \cdot см^2}{г}$	2,46	2,08	1,90	1,74	1,70	1,66	1,66

E_0, МэВ	2	3	4	6	8	10	20
$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{нач}$, $\frac{МэВ \cdot см^2}{г}$	1,68	1,74	1,79	1,80	1,93	1,98	2,13

E_0, МэВ	30	40	60	80	100
$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{нач}$, $\frac{МэВ \cdot см^2}{г}$	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-облучателя, щели и т.п.) не менее 0,5 м/с. Обычно это условие соблюдается при производительности местного отсоса 500–1000 м^3/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 затянного 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 ($ДК_A$) 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 токсических или радиоактивных вредных 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 точно концентрацию озона в воздухе рабочей камеры ускорителя можно рассчитать лишь исходя из конкретных условий, перечисленных выше.

Линейная скорость движения воздуха в рабочей камере будет равна:

$$v = K_{кам} \cdot \ell, \ м/ч, \qquad (4.5)$$

где $K_{кам}$ - кратность воздухообмена в рабочей камере, $ч^{-1}$; ℓ - 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:

$$t_{з.о.} = \frac{a}{v} = \frac{\sqrt{S_{з.о.}}}{K_{кам} \cdot \ell}, \ ч, \qquad (4.6)$$

где a - средняя ширина сечения пучка электронов, м.

Тогда кратность воздухообмена в зоне облучения составит

$$K_{з.о.} = \frac{1}{t_{з.о.}} = \frac{K_{кам} \cdot \ell}{\sqrt{S_{з.о.}}}, \ ч^{-1}.$$

азом определяются все параметры ($t_{э.о.}$; $K_{э.о.}$; $\lambda_{раз}$),
а для расчета концентрации озона в зоне пучка электронов.
личество озона, образующегося за I ч будет равно:

$$Q_{оз} = C_{оз}^{зад} \cdot V_{э.о.} \cdot K_{э.о.} = C_{оз}^{зад} \cdot d \cdot S_{э.о.} \cdot K_{э.о.}, \quad мг/ч. \qquad (4.7)$$

За I ч через рабочую камеру проходит $\mathcal{L}$ $м^3$ воздуха:

$$\mathcal{L} = V_{кам} \cdot K_{кам}, \quad м^3/ч. \qquad (4.8)$$

Концентрация озона в воздухе камеры при установившемся режиме будет равна:

$$C_{оз}^{кам} = \frac{Q_{оз}}{\mathcal{L}} = \frac{4{,}2 \cdot 10^7 \cdot J \cdot d \cdot K_{э.о.}}{(\lambda_{раз} + K_{э.о.}) V_{кам} \cdot K_{кам}} \left[1 - e^{-(\lambda_{раз} + K_{э.о.}) t_{э.о.}}\right], \quad мг/м^3. \qquad (4.9)$$

Для охлаждения фольги выходного окна ускорителя ее обдувают струей механическим сжатого воздуха с расходом около 100 $м^3/ч$. Практически весь этот воздух проходит через пучок ускоренных электронов. Каждая порция воздуха будет находиться в зоне облучения около I секунды ($t_{э.о.} = 0{,}0003ч$, $K_{э.о.} = 3600\ ч^{-1}$), Подставляя значения $t_{э.о}$ и $K_{э.о}$ в (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 реакции $^{14}N(\gamma,n)^{13}N$ 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:

$$C_A = \frac{C_0' \cdot E_0 \cdot J \cdot d \cdot K_{э.о}}{\left(K_{э.о.} + \frac{0{,}693}{T_{1/2}}\right) V_{кам} \cdot K_{кам}} \left[1 - e^{-\left(K_{э.о.} + \frac{0{,}693}{T_{1/2}}\right) t_{э.о.}}\right], \quad Ки/м^3, \qquad (4.10)$$

где C_0' - постоянная скорости образования радиоактивного газа в воздухе (Ки/ч.МэВ.А.м). Зависимость C_0' от энергии электронов приведена на рис.4.I.

$T_{I/2}$ - период полураспада образующегося радионуклида;

E_0 - энергия электронов, МэВ.

В таблице 4.3. приведены значения запретного периода входа в рабочую камеру ускорителя, рассчитанные по приведенным в данном Приложении формулам для J = IмА, кратность воздухообмена в камере $K_{кам}$ = 25 $ч^{-I}$, объем камеры $V_{кам}$ = 560$м^3$, d = 5м. 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
I0	7	0	0
I5	7	3	0
20	7	5,5	2
25	7	7	5
30	7	9	7
35	7	II	I0

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 ($T_{запр}^{акт}$), превышает $T_{запр}$,

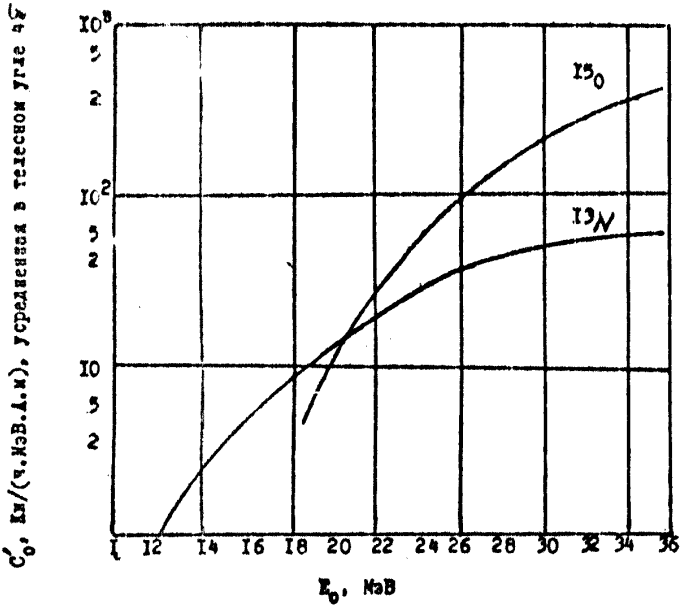

Рис.4.1. Зависимость постоянной скорости образования (C'_0) радионуклидов ^{13}N и ^{15}O от энергии электронов (вольфрамовая мишень)

рассчитанный по формуле 4.I, то запретный период определяется $T^{авт.}_{запр.}$

Пример:

Ускоритель электронов (E_0=300кэВ, $J = IC^{-3}$А) размещен в рабочей камере объемом $V_{кам}$ = 600 м^3, с кратностью воздухообмена $K_{кам} = IC^{-1}$. Расстояние от выходного окна ускорителя до мишени ℓ = 5м, средняя площадь развертки пучка электронов $S_{в.о.}$ = 0,05м^2. Определить запретный период входа персонала в рабочую камеру.

Решение:

а) Рассчитаем запретный период, исходя из образования озона.

$$T^{оз}_{запр} = \frac{\ln \frac{C^{пред}_{оз}}{\pi D K_{оз}}}{K_{кам} + \lambda_{расп}}$$

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

$$C^{пред}_{оз} = \frac{42 \cdot 10^7 \cdot 7 \cdot d \cdot K_{в.о.}}{(\lambda_{расп} + K_{в.о.}) \cdot V_{кам} \cdot K_{кам}} \left[1 - e^{-(\lambda_{расп} + K_{в.о.}) t_{в.о.}}\right], мг/м^3$$

$$K_{в.о.} = \frac{K_{кам} \cdot \ell_{кам}}{\sqrt{S_{в.о.}}} = \frac{K_{кам} \cdot \sqrt[4]{V_{кам}}}{\sqrt{S_{в.о.}}} = \frac{10 \cdot 8,5}{0,23} = 370 ч^{-1}$$

Тогда $t_{в.о.} = \frac{d}{370} = 0,0027 ч.$

$$\lambda_{расп} = 4,6 \cdot 10^{-2} \cdot P^{0,6}, ч^{-1}$$

$$P = 3,6 \cdot 10^{10} \left(\frac{dE}{dx}\right)_{ион} \cdot \frac{J}{S_{в.о.}} = 3,6 \cdot 10^{10} \cdot 2,22 \cdot \frac{10^{-3}}{0,05} = 1600 Мрад/ч$$

$$\lambda_{расп} = 4,6 \cdot 10^{-2} (1,6 \cdot 10^3)^{0,6} = 5330 ч^{-1}$$

$$C^{пред}_{оз} = \frac{42 \cdot 10^7 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 370}{(5330 + 370) \cdot 600 \cdot 10} \left[1 - e^{-(5330+370) \cdot 0,0027}\right] = 2,3 мг/м^3$$

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

б) Рассчитаем защитный 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 $T_{1/2}$ = 2 мин., $ДК_A$ = $1 \cdot 10^{-6}$ Ки/м³

Для ^{13}N $T_{1/2}$ = 10 мин, $ДК_A$ = $2 \cdot 10^{-6}$ Ки/м³).

$$C_{O}^{max} = \frac{C_0' \cdot E_0 \cdot J \cdot d \cdot K_{з.о.}}{\left(K_{з.о.} + \frac{0{,}693}{T_{1/2}}\right) \cdot V_{пом} \cdot K_{пом}} \left[1 - e^{-\left(K_{з.о.} + \frac{0{,}693}{T_{1/2}}\right) t_{з.о.}}\right] =$$

$$\frac{250 \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 370}{\left(370 + \frac{0{,}693}{0{,}033}\right) \cdot 600 \cdot 10} \left[1 - e^{-\left(370 + \frac{0{,}693}{0{,}033}\right) \cdot 0{,}00117}\right] = 2{,}2 \cdot 10^{-3} \text{ Ки/м}^3$$

$$T_{защ}^{^{15}O} = \frac{\ln \frac{2{,}2 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-6}}}{10 + 21} = \frac{\ln 2200}{31} = 0{,}247 \text{ ч} = 15 \text{ мин.}$$

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.

$$C_{^{13}N}^{max} = \frac{C_0' \cdot E_0 \cdot J \cdot d \cdot K_{з.о.}}{\left(K_{з.о.} + \frac{0{,}693}{T_{1/2}}\right) \cdot V_{пом} \cdot K_{пом}} \left[1 - e^{-\left(K_{з.о.} + \frac{0{,}693}{T_{1/2}}\right) t_{з.о.}}\right] =$$

$$\frac{400 \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 370}{\left(370 + \frac{0{,}693}{0{,}167}\right) \cdot 600 \cdot 10} \left[1 - e^{-\left(370 + \frac{0{,}693}{0{,}167}\right) 0{,}0027}\right] = 0{,}47 \cdot 10^{-3} \text{ Ки/м}^3$$

$$T_{защ}^{^{13}N} = \frac{\ln \frac{0{,}47 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-6}}}{10 + 4{,}15} = \frac{\ln 235}{14{,}15} = \frac{5{,}45}{14{,}15} = 0{,}385 \text{ ч} = 23 \text{ мин.}$$

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

Приложение 5

(наименование учреждения, подразделения) (дата заполнения)

Карточка учета индивидуальных доз №

1. _____ 2. _____ 3. _____ 4. _____

(фамилия, имя, отчество) (год рождения) (пол) (дополнительные сведения (должность, домашний адрес, телефон)

стаж работы в радиационно-опасных условиях _____ общая доза облучения на момент заполнения карты _____

Год	Характер работы	Квартальные дозы облучения, бэр				Суммарная годовая доза, бэр	Примечания (метод измерения дозы)	Подписи	
		I	II	III	IV			ответственные за радиационный контроль	нач. службы радиационной безопасности
1978									
1979									
1980									
1981									
1982									

gost.e-ecolog.ru