Информационно—издательский центр
Госкомсанэпиднадзора Российской Федерации

СБОРНИК
важнейших официальных материалов по санитарным и противоэпидемическим вопросам

Том VI

Часть 2

Москва • 1993

gost.e-ecolog.ru

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель Главного государственного санитарного врача СССР
А.И. Заиченко
27 декабря 1973 г.
№ 1137-73

Санитарные правила устройства и эксплуатации радиационных контуров при ядерных реакторах*

Введение

Настоящие правила составлены в развитие "Норм радиационной безопасности" (НРБ-69) и "Основных санитарных правил работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений" (ОСП-72).

Правила являются обязательными для всех учреждений и предприятий, проектирующих, строящих и эксплуатирующих радиационные контуры (РК) при ядерных реакторах.

Правила распространяются на РК исследовательского, полупромышленного и промышленного типов, предназначенные для проведения радиохимических процессов, лучевой стерилизации, биологических экспериментов и т. д.

Ответственность за выполнение настоящих Правил возлагается на администрацию учреждений (предприятий).

1. Основные понятия, определения и терминология

1.1. Радиационный контур (РК) - устройство для гамма-облучения, использующее циркуляцию рабочих веществ, в которых под действием нейтронов реактора образутюся гамма-активные изотопы.

1.2. Гамма-носитель - рабочее вещество, являющееся источником гамма-излучения в РК.

1.3. Делящийся гамма-носитель - вещество, в котором под действием нейтронов происходит расщепление атомных ядер.

1.4. Генератор активности - устройство, в котором рабочее вещество РК становится гамма-активным.

1.5. Облучатель - часть РК, предназначенная для облучения различных объектов излучения гамма-носителя.

1.6. Радиационный аппарат - устройство, предназначенное для осуществления определенного радиационного процесса.

1.7. Запаздывающие нейтроны - нейтроны, испускаемые ядрами спустя некоторый промежуток времени после деления.

---

* Настоящие Правила разработаны сотрудниками филиала научно-исследовательского физико-химического института им. Л.Я. Карпова и Всесоюзного центрального научно-исследовательского института охраны труда ВЦСПС.

1.8. Фотонейтроны - нейтроны, вылетающие из ядер атомов в результате их взаимодействия с гамма-квантами.

1.9. РК с водным способом защиты - такие РК, в которых облучатель находится постоянно под защитным слоем воды.

1.10. РК с сухим способом защиты - такие РК, в которых для защиты от излучения используется бетон, свинец и другие твердые материалы.

1.11. Рабочая камера - помещение, окруженное защитой, в котором производится облучение.

1.12. Рабочий бассейн - бассейн, служащий для хранения облучателя и для помещения облучаемого объекта.

1.13. Лабиринт (изогнутый коридор) - типичное защитное устройство, предохраняющее от излучения источника за пределами рабочей камеры.

1.14. Хранилище гамма-носителя - специальная емкость, соединенная с системой РК, в которой хранится гамма-носитель при прекращении циркуляции.

1.15. Аварийное хранилище - специальная емкость (резервуар), предназначенная для слива гамма-носителя в аварийных случаях.

1.16. Операторская - помещение, в котором расположены системы управления РК.

1.17. Смежное помещение - помещение, непосредственно прилегающее к рабочей камере и отделенное от нее постоянной перегородкой (стеной, полом, потолком).

1.18. Запретный период - время работы вентиляции после окончания облучения, необходимое для снижения концентрации токсических веществ в рабочей камере до предельно допустимых величин.

2. Общие положения

2.1. По назначению РК при ядерных реакторах разделяются на две группы:

I группа - РК научно-исследовательского, полупромышленного и промышленного типов, предназначенные для проведения взрывоопасных процессов;

II группа - РК научно-исследовательского, полупромышленного и промышленного типов, предназначенные для проведения невзрывоопасных процессов.

2.2. При разработке РК и их эксплуатации должны учитываться конкретные особенности используемого типа реактора и свойства применяемого гамма-носителя.

2.3. Степень возможной радиационной опасности при эксплуатации РК определяется следующими основными факторами:

а) интенсивностью внешних потоков гамма-излучения в рабочих помещениях;

б) радиоактивной загрязненностью помещений, оборудования и облучаемых объектов, возникающей в результате разгерметизации системы РК и при ремонтных работах;

в) загрязненностью воздуха производственных помещений радиоактивными аэрозолями и газами;

г) интенсивностью потоков запаздывающих нейтронов при использовании гамма-носителя на делящихся материалах;

д) интенсивностью потоков фотонейтронов, образующихся по реакции (γ, n);

е) активацией облучаемых объектов, радиационных аппаратов, окружающей среды запаздывающими нейтронами и фотонейтронами.

2.4. Нерадиационными источниками опасности являются:

а) озон и окислы азота, образующиеся в результате радиолиза воздуха;

б) продукты радиолиза воды при наличии ее в технологических системах РК;

в) токсические вещества, поступающие в воздух помещений из облучаемых объектов и пр.

2.5. Потенциальными источниками опасности являются:

а) взрыво- и огнеопасные вещества, облучаемые на РК, или продукты, образующиеся в процессе облучения:;

б) "гремучая смесь", образование которой возможно при радиолизе воды в случае размещения отдельных узлов РК под водой;

в) агрессивные среды, возникающие при эксплуатации РК.

2.6. Проекты вновь строящихся при реконструируемых РК подлежат обязательному согласованию с учреждениями санэпидслужбы. В проектах РК должны быть учтены все факторы опасности и разработаны эффективные мероприятия по снижению вредных воздействий на персонал.

2.7. РК до их пуска в эксплуатацию должны быть приняты комиссией в составе представителей администрации учреждения (предприятия), санэпидслужбы, госатомнадзора и др. заинтересованных организаций.

2.8. К работе на РК допускаются лица, не имеющие медицинских противопоказаний, перечисленных в приложении к "Основным санитарным правилам". Медицинский осмотр должен проводиться 1 раз в год, а контроль содержания радиоактивных веществ в организме работающих при безаварийной эксплуатации РК - 1 раз в 5 лет.

2.9. На основании настоящих Правил администрация учреждения (предприятия) разрабатывает детальные инструкции по технике безопасности при обслуживании и работе на РК с учетом особенностей устройства РК и проводимых работ.

2.10. Ответственность за безопасность работ на РК несут администрация учреждений (предприятий) и руководители работ.

2.11. Все работающие на РК должны быть обучены безопасным методам работы, знать правила пользования санитарно-техническими устройствами, защитными приспособлениями и правилами личной гигиены, а также сдать соответствующий техминимум. Повторная проверка знаний должна проводиться не реже одного раза в год. Лица, привлекаемые к работе на РК, должны быть проинструктированы перед

началом работы. В случае изменения ряда параметров РК (технологии процесса облучения, системы управления РК и т. п.) необходимо провести дополнительный инструктаж.

3. Требования к конструкции и защите радиационных контуров

3.1. РК с гамма-носителями любого типа должны иметь надежную систему герметизации.

3.2. Материалы, применяемые для изготовления узлов и коммуникаций РК, должны обладать:

а) достаточной механической прочностью;

б) высокой коррозионной устойчивостью в условиях эксплуатации;

в) малой сорбционной емкостью по отношению к гамма-носителю;

г) низким сечением активации в нейтронных потоках;

д) малым периодом полураспада наведенной автивности.

3.3. Наиболее уязвимые узлы и системы РК (электромагнитные насосы, датчики уровня, температуры и т. д.) необходимо располагать таким образом, чтобы их замена, в случае выхода из строя, осуществлялась с минимальной опасностью и без нарушения герметичности циркуляционной системы.

3.4. При проектировании РК целесообразно выбирать при прочих условиях наименьшую скорость циркуляции гамма-носителя для снижения коррозии и эрозии конструкционных материалов РК.

В случае использования в качестве гамма-носителя делящегося материала скорость циркуляции должна обеспечивать, кроме того, минимальную активность, наведенную запаздывающими нейтронами в облучаемой системе и конструкционных материалах РК.

3.5. Конструкция РК должна предусматривать предотвращение закупорки в системах коммуникаций при любых режимах работы ядерного реактора.

При проектировании РК на основе расчета теплового режима всех узлов и коммуникаций РК должна быть исключена возможность такой закупорки. Конструкция РК должна предусматривать возможность ликвидации закупорки коммуникаций гамма-носителем.

В процессе эксплуатации РК неободимо осуществлять постоянный контроль температуры гамма-носителя и в случае необходимости принимать меры к поддержанию рабочего режима.

3.6. Конструкция РК должна позволять полностью удалять в случае необходимости гамма-носитель в специальное хранилище (сливное устройство и пр.). Необходимо обеспечивать такое расположение узлов и коммуникаций РК и такую конструкцию облучателя, которые максимально облегчают естественное удаление гамма-носителя в хранилище. При этом необходимо учитывать изменение мощности реактора в связи с аварийным сливом гамма-носителя.

3.7. На РК должно быть предусмотрено устройство для принудительного удаления в специальное хранилище остатков гамма-носителя (например, с помощью продувки системы РК инертными газами и т. д.),

а также удаление гамма-носителя из тех узлов РК, откуда невозможен его слив под действием силы тяжести.

3.8. При приемке РК в эксплуатацию после устранения обнаруженных дефектов монтажа производится загрузка контура гамма-носителем и проверяется надежность и стабильность его циркуляции как в пусковых, так и в стационарных циркулирующих режимах (первая стадия приемки). Во второй стадии приемки во время циркуляции гамма-носителя при малой мощности ядерного реактора (близкой к нулевой) проверяется надежность и стабильность всех систем РК, включая приборы дозиметрического и технологического контроля. В заключительной стадии приемки комиссия проверяет величину гамма-фона у наружных поверхностей защиты в процессе постепенного вывода реактора на максимальную мощность.

На заключительной стадии комиссия составляет акт о приемке РК в эксплуатацию.

3.9. Расчет защиты РК следует проводить с учетом всех видов излучений (нейтронов, гамма-излучения и пр.).

3.10. При применении в РК неделящихся гамма-носителей расчет защиты проводится по универсальным таблицам, приведенным в приложении 1.

4. Требования к системам блокировки и сигнализации

4.1. РК должны иметь надежные системы блокировки и сигнализации, обеспечивающие непрерывную информацию об уровнях излучения и срабатывающие независимо друг от друга как при возрастании мощности дозы, так и при неисправностях технологических систем. На РК с защитой сухого типа должно быть оборудовано не менее двух полностью независимых систем блокировки входной двери камеры облучения (или лабиринта).

4.2. В случае неисправности хотя бы одной из систем блокировки и сигнализации входной двери камеры облучения эксплуатация РК запрещается до ликвидации неисправности.

4.3. Системы блокировки должны быть основаны на одновременном использовании:

а) приборов, информирующих о величине мощности дозы гамма- и нейтронного излучения;

б) устройства (насос и пр.), обеспечивающего циркуляцию гамма-носителя в системе РК.

4.4. При незапертой входной двери гамма-носитель должен находиться в хранилище, а возможность его циркуляции должна быть исключена.

Должна быть также исключена возможность попадания человека в рабочую камеру и лабиринт в случае конвейерной системы подачи объектов на облучение во время работы РК.

4.5. При включении энергопитания входная дверь должна оставаться заблокированной.

4.6. Рабочая камера РК должна быть оборудована звуковой и световой сигнализацией, которая предупреждает о необходимости немедленно покинуть рабочую камеру (или лабиринт).

4.7. Вход в рабочую камеру РК допускается только по разрешению ответственного дежурного лица.

4.8. В рабочей камере (или лабиринте) должны находиться устройства, позволяющие немедленно прекратить циркуляцию гамма-носителя и перевести его в хранилище.

4.9. На пульте управления РК должны быть приборы и световое табло, информирующее о величинах мощности дозы гамма- и нейтронного излучений (для контура с делящимся материалом) в рабочей камере, в лабиринте, о работе устройств для осуществления циркуляции гамма-носителя, вакуумных систем и пр. Необходимо оснащать РК датчиками, сигнализирующими об утечке гамма-носителя из контура.

4.10. В случае установления запретного периода времени блокировка входной двери должна включать в себя устройство, обеспечивающее соблюдение этого срока после удаления гамма-носителя.

4.11. На РК, оборудованных конвейером, монтажными люками, должна быть исключена возможность попадания людей в рабочую камеру через отверстия входа и выхода конвейера и открытия люка при работе РК.

4.12. РК с водяной защитой должны быть оборудованы звуковой и световой сигнализациями:

а) об изменении уровня воды;

б) о повышении порогового значения мощности дозы над зеркалом воды бассейна.

4.13. При снижении уровня воды в бассейне, приводящем к повышению уровня излучения, превышающего предусмотренный для данной установки, автономная система блокировки должна обеспечить прекращение циркуляции гамма-носителя и перевод его в хранилище.

4.14. Бассейн должен иметь ограждения или крышку для предотвращения несчастных случаев при проведении ремонтных и других работ на РК.

5. Требования к вентиляции

5.1. Вентиляция помещений РК проектируется с учетом требований СН-245-71 и должна обеспечивать удаление наряду с радиоактивными аэрозолями и газами также продуктов радиолиза воздуха и других токсических веществ, выделяющихся или образующихся из облучаемых материалов и из оборудования.

5.2. Во всех помещениях, где проходят коммуникации РК, необходимо создать разрежение порядка 5 мм вод ст., обеспечивающее подсос воздуха из чистых помещений. Вентиляционные коробы систем вытяжной вентиляции необходимо изготовлять из материалов, устойчивых к коррозии и несорбирующих радиоактивных веществ.

5.3. Рабочая камера должна быть оборудована приточно-вытяжной вентиляцией с превышением вытяжки над притоком на 10-15%. В

зимнее время необходимо предусмотреть подогрев подаваемого воздуха. Рабочая камера и пультовая РК должны обслуживаться независимыми вентиляционными системами с отдельными воздуховодами и вентиляторами, работающими постоянно. Допускается отключение вентиляторов во время нахождения гамма-носителя в хранилище.

5.4. Кратность воздухообмена, необходимая для снижения загрязнения воздуха радиоактивными и токсическими веществами до величин, не превышающих среднегодовой допустимой концентрации (СДК), рассчитывается в зависимости от гамма-мощности РК и объема рабочей камеры. В тех случаях, когда по тем или иным причинам необходимая кратность воздухообмена не может быть обеспечена, вводится запретный период времени.

5.5. На пульте управления РК должна быть предусмотрена звуко-световая сигнализация, оповещающая о неполадках в работе или об остановке вентиляторов.

5.6. Система вентиляции должна обеспечивать очистку воздушной среды от радиоактивных аэрозолей и газов в случае аварийного их выброса.

6. Требования к помещениям РК и средствам ликвидации радиоактивных загрязнений

6.1. В зависимости от особенностей устройства РК и условий его эксплуатации при планировке помещений необходимо предусматривать четкое разграничение помещений, где возможно загрязнение вследствие разгерметизации коммуникаций РК и от других помещений с оборудованием на их границах приспособлений для средств индивидуальной защиты.

6.2. Стены, потолок рабочей камеры, помещения временного хранения радиоактивных отходов, а также все рабочие поверхности и оборудование покрываются малосорбирующими легко дезактивируемыми материалами, устойчивыми по отношению к гамма-носителю.

6.3. При проектировании РК в комплексе ядерного реактора должны быть предусмотрены:

устройства для проверки герметичности системы РК;

помещение для временного хранения радиоактивных отходов.

6.4. В рабочей камере или в смежном помещении должны быть предусмотрены устройства для устранения радиоактивных загрязнений в случае разгерметизации системы РК, оборудованы системы дезактивации и спецканализация.

В случае появления радиоактивного загрязнения, обусловленного гамма-носителем, эксплуатация РК запрещается до выяснения причин и ликвидации аварии.

6.5. Все коммуникации желательно изготовлять из цельнотянутых труб и с минимальным количеством сварных и других соединений. Места прохода коммуникаций РК через бассейн реактора и сооружения (защите, перегородка и др.), отделяющие активную зону реактора от

рабочей камеры РК, должны быть герметизированы с обязательным сохранением принципа "труба в трубе".

7. Радиационный и профилактический контроль

7.1. Дозиметрический контроль на РК, а также контроль за соблюдением всеми работающими требований настоящих Правил осуществляется службой радиационной безопасности данного учреждения (предприятия).

7.2. Служба радиационной безопасности осуществляет:

а) контроль индивидуальных доз внешнего облучения;

б) контроль уровней внешнего облучения на рабочих местах и в смежных помещениях;

в) контроль за загрязненностью рабочих поверхностей оборудования и облучаемых объектов, одежды, обуви и кожных покровов обслуживающего персонала;

г) контроль радиоактивной загрязненности воды в бассейне;

д) контроль за содержанием радиоактивных газов и аэрозолей.

7.3. Контроль за эффективностью работы вентиляторов, содержанием токсичных веществ в воздушной среде осуществляется специальной службой предприятия (организации).

7.4. В тех случаях, когда возможна активация нейтронами облучаемых объектов, необходимо также контролировать их наведенную активность.

7.5. На всех лиц, работающих на РК, заводятся индивидуальные карточки, в которые заносятся месячные и годовые дозы внешнего облучения.

7.6. Частота проведения радиометрических и дозиметрических замеров и характер необходимых измерений устанавливаются администрацией учреждений (предприятий) по согласованию с местными органами санэпидслужбы.

7.7. Все ремонтно-профилактические и аварийные работы должны проводиться под дозиметрическим контролем с использованием средств индивидуальной защиты. Комплект средств индивидуальной защиты и допустимое время проведения работ определяются службой радиационной безопасности.

7.8. В технических проектах должны быть предусмотрены системы стационарного контроля РК и оснащение службы радиационной безопасности современной аппаратурой, необходимой для проведения соответствующих замеров и анализов, с учетом особенностей гамма-носителей и облучаемых объектов.

8. Мероприятия по предупреждению аварий

8.1. Все манипуляции с облучателем и системами коммуникаций РК должны проводиться таким образом, чтобы исключить их механические повреждения.

8.2. При нарушении нормальной работы РК (например, отклонение температуры от заданных рабочих интервалов и пр.) гамма-носитель должен удаляться в хранилище.

8.3. При разработке устройства, предназначенного для циркуляции гамма-носителя, необходимо предусмотреть способы, предотвращающие гидравлические удары жидкого гамма-носителя в системе коммуникаций РК.

8.4. В проектах РК с водным способом охлаждения систем РК должны быть предусмотрены мероприятия по предотвращению образования взрывоопасной концентрации гремучей смеси.

8.5. На РК II группы разрешается проведение облучения взрывоопасных веществ в специальных баллонах, заведомо способных выдержать взрыв облучаемого вещества

8.6. При осуществлении процесса загрузки токсических гамма-носителей в РК, а также при проведении ремонтно-профилактических и аварийных работ необходимо использовать индивидуальные средства защиты, предупреждающие попадание этих веществ и соединений на кожные покровы и в организм работающих (с учетом токсичности гамма-носителя).

8.7. На РК I группы необходимо предусмотреть следующее:

а) автоматические, дублирующие друг друга системы, которые при возникновении угрозы взрыва (например, повышение температуры или давления в облучаемом объекте выше допустимого уровня) позволяют немедленно перевести гамма-носитель в положение хранения;

б) конструкцию радиационного аппарата, в котором происходит облучение взрывоопасного вещества, обеспечивающую целостность облучателя и систем коммуникаций в случае взрыва;

в) конструкцию защиты рабочей камеры, которая должна быть такой, чтобы не разрушиться в случае возникновения взрыва; вход в рабочую камеру должен защищаться противовзрывной дверью.

8.8. Для осуществления взрывоопасных радиационных процессов использование РК с делящимся гамма-носителем, а также с гамма-носителем с периодом полураспада более 100 часов нежелательно.

8.9. В случае взрыва на РК, вызвавшего повреждение облучателя и систем коммуникаций и приведшего к загрязнению гамма-носителем рабочей камеры, вход в нее допускается только после определенного времени выдержки гамма-носителя с разрешения службы радиационной безопасности.

8.10. Служба радиационной безопасности организации должна разработать детальную инструкцию на случай возникновения аварийных ситуаций, учитывающую специфику конструкции РК и проводимых радиационных процессов, с указанием необходимых мероприятий по ликвидации аварий.

Настоящие Правила распространяются на все проектируемые, строящиеся и действующие РК при ядерных реакторах и вводятся в действие с момента их опубликования. Ранее действовавшие Правила для РК № 654-66 отменяются.

В тех случаях, когда для переоборудования действующих РК в соответствии с требованиями настоящих Правил необходимы крупные капитальные затраты, вопрос о таком переоборудовании решается в каждом случае отдельно по согласованию с местными органами санэпидслужбы.

Расчет защиты от гамма-излучения радиоактивных изотопов K^{42}, In^{116m}, Mn^{56} и Na^{24}

Для определения по таблицам необходимой толщины защиты имеется два входных аргумента: в верхней горизонтальной строке приведены радиоактивные изотопы K^{42}, In^{116m}, Mn^{56} и Na^{24} для четырех защитных материалов (вода, бетон, железо и свинец), в левой вертикальной колонке - кратность ослабления K, остальные колонки содержат в себе необходимую толщину защиты (см) для соответствующего материала и гамма-носителя. Приняты следующие плотности материалов: для воды - 1,0 г/см^3, для бетона - 2,3 г/см^3, для железа - 7,89 г/см^3, для свинца - 11,34 г/см^3.

По кратностям ослабления таблицы составлены достаточно подробно, так что для промежуточных значений K толщина защиты может быть найдена путем простой линейной интерполяции. Если потребуется в расчетах кратность ослабления более 10^7, то допустима экстраполяция толщин по сравнительному действию последних табличных кратностей ослабления. Таблицы могут быть применены не только к точечным, но и к протяженным источникам.

Примеры расчета защиты по кратностям ослабления мощности дозы

Принятые обозначения: m - полная активность, выраженная в миллиграмм-эквивалентах радия, R - расстояние от источника в метрах, X - толщина защиты в сантиметрах, P_x - мощность дозы в мкр/с на рабочем месте без защиты, P_o - предельно-допустимый уровень мощности дозы на рабочем месте, мкр/с.

Если известны значения P_x и P_o, то требуемая кратность ослабления находится по формуле:

$$K = \frac{P_x}{P_o}.$$

В случае задания активности источника m в мг-экв радия и расстояния R от источника до рабочего места в сантиметрах, мощность дозы (мкр/с) может быть вычислена по формуле:

$$P_x = 2300 \frac{m}{R^2} \text{ мкР/с}.$$

Аналогично предыдущему случаю $K = \frac{P_x}{P_o}$.

По найденному значению K (левая вертикальная колонка) находится толщина защиты для соответствующего материала и гамма-носителя.

Пример 1.

Дана измеренная или расчетная мощность дозы на рабочем месте P_x = 1,55 р/с. Источником γ-излучения является In^{116m}. Найти

толщину экрана из бетона, необходимую для ослабления этого излучения до предельно допустимого значения P_0 = 1,4 мр/ч.

Решение:

Кратность ослабления $K = \frac{P_x}{P_0} = \frac{1{,}55 \cdot 10^6 \cdot 3600}{1{,}4 \cdot 10^3} = 4 \cdot 10^6$. По таблицам находим, что для изотопа In^{116m} и $K = 4 \cdot 10^6$ толщина защиты X = 159 см.

Пример 2.

Источник радиоактивного натрия (Na^{24}) имеет активность m = 200 г-экв радия и находится в облучателе радиационно-химической установки. Найти толщину свинцовой стены, отделяющей пульт управления от источника, если R = 10 м и мощность дозы должна быть снижена до уровня P_0 = 0,4 мкр/с.

Решение:

Мощность дозы от незащищенного источника для R = 10 м равна:

$$P_x = \frac{200000 \cdot 8{,}4 \cdot 10^6}{10^6 \cdot 3600} = 467 \text{ мкР/с}.$$

Кратность ослабления $K = \frac{467}{0{,}4} = 1170 = 1{,}17 \cdot 10^3$.

Искомая толщина для Na^{24} $X \approx 17{,}5$ см.

Расчет защиты от γ-лучей циркулирующей смеси неразделенных осколков деления (радиационные контуры с делящимся материалом) должен проводиться индивидуально для каждого конкретного случая, так как в настоящее время нельзя дать компактных таблиц для таких расчетов.

Толщина защиты (см), необходимая для обеспечения заданной кратности ослабления К γ-лучей от различных гамма-носителей (K, In*, Mn, Na)

Материал / К	Вода				Бетон				Железо				Свинец			
	K	In	Mn	Na	K	In	Mn	Na	K	In	Mn	Na	K	In	Mn	Na
4	40	50	37	34	21,7	14,0	11,2	17,5	7,5	5,3	6,4	5,3	3,3	2,8	2,1	2,1
8	62	65	56	61	30,0	25,0	19,7	27,8	10,0	7,5	8,8	8,3	4,8	3,8	3,8	3,9
10	71	72	61	73	33,4	28,4	22,2	33,4	10,8	8,0	9,6	9,0	5,1	4,6	4,3	5,0
20	84	84	75	100	40,8	34,2	31,1	43,1	12,3	10,5	12,1	12,1	6,4	5,6	5,7	6,7
40	100	100	95	120	50,3	42,2	41,7	54,0	14,8	12,8	14,9	15,2	7,7	7,4	7,4	8,7
80	110	110	108	135	56,2	49,2	50,6	64,5	16,4	14,9	16,8	17,7	9,0	8,7	8,7	10,5
10^2	120	120	116	144	60,0	52,0	53,4	68,2	17,2	15,5	17,5	18,8	9,4	9,3	9,3	11,0
$2 \cdot 10^2$	131	131	131	160	66,2	58,1	60,6	76,1	19,3	17,8	20,0	21,8	11,0	10,6	10,6	12,8
$4 \cdot 10^2$	148	150	150	180	73,0	65,6	68,9	86,1	21,1	20,0	22,4	24,8	12,0	12,1	12,2	14,8
$8 \cdot 10^2$	160	164	166	197	80,0	72,2	76,7	94,5	22,9	22,0	24,7	27,2	13,4	13,7	13,8	16,7
10^3	165	170	172	206	82,0	75,0	80,0	97,2	24,0	22,9	25,8	28,2	14,0	14,2	14,4	17,3
$2 \cdot 10^3$	178	184	187	220	87,8	81,1	87,3	106,4	26,2	24,9	27,7	30,6	15,2	15,4	15,9	18,6
$4 \cdot 10^3$	192	198	206	240	95,3	89,2	95,3	117,3	27,9	27,1	30,0	33,3	16,4	16,9	17,5	20,2
$8 \cdot 10^3$	206	210	220	258	101,5	95,6	103,4	125,5	29,6	29,2	32,5	36,0	17,6	18,2	18,9	21,7

Материал / K	Вода				Бетон				Железо				Свинец			
	K	In	Mn	Na	K	In	Mn	Na	K	In	Mn	Na	K	In	Mn	Na
10^4	211	217	226	270	104,7	98,5	106,2	128,4	30,8	30,1	33,6	37,2	18,1	18,7	19,4	22,0
$2\cdot10^4$	221	230	242	281	110,0	105,3	113,8	137,4	32,8	32,4	35,6	39,6	19,3	20,2	20,9	23,8
$4\cdot10^4$	235	245	260	303	117,8	112,2	122,6	147,0	34,3	34,6	38,1	42,2	21,2	21,8	22,5	25,4
10^5	253	265	280	326	126,2	122,0	133,1	159,0	37,0	37,5	41,0	45,6	22,5	23,1	24,5	27,2
$2\cdot10^5$	266	279	295	342	133,1	128,1	140,7	168,5	39,0	39,6	43,6	48,2	23,7	25,0	26,0	29,0
$4\cdot10^5$	280	295	314	361	140,1	135,8	150,0	178,0	41,0	41,7	46,0	50,8	25,2	26,5	27,5	30,6
10^6	300	314	335	385	149,1	145,6	160,4	190,0	43,8	44,8	48,9	54,5	26,9	28,3	29,6	32,8
$2\cdot10^6$	314	330	353	405	156,0	152,0	168	198	46,4	46,6	51,3	57,0	28,2	29,7	31,0	34,2
$4\cdot10^6$	328	345	370	423	162	159	177	209	48,6	49,2	53,8	59,6	29,6	31,1	32,6	35,9
10^7	344	362	388	445	170	167	187	220	51,5	52,0	57,0	63,0	31,2	33,0	34,6	37,9

In* - данные по этому изотопу пригодны для расчета защиты от гамма-излучения эвтектических сплавов In.

Характеристика некоторых гамма-носителей

Основной излучающий изотоп	Период полураспада	Энергия преобразующих гамма-квантов, Мэв	Состояние гамма-носителя	Максимальная удельная гамма-мощность, вт/л	Энергия, накапливаемая на один захваченный нейтрон, вт. с. 10^{13}	Сечение поглощения нейтронов гамма-носителем, $см^{-1}$	Примечание
Na^{24}	14,94 ч	2,75 1,37	Жидкий металл	20	6,6	0,122	$t_{пл}$ = 97 °С, ρ = 0,92 Г/см^3
Mn^{56}	2,584 ч	2,1 1,8 0,84	36% р-р $MnSO_4$ в воде	17	1,44	0,048	р-р, близкий к насыщению при t = 20 °С, ρ = 1,44 Г/см^3
Mn^{56}	2,584 ч	2,1	60% р-р	39	1,57	0,100	р-р, близкий к насыщению при t = 20 °С, ρ = 1,9 Г/см^3
Br^{80}	18,0 мин	1,8	$MnBr_2$ в воде				
Br^{82}	1,5 суток	1,3 0,84 0,77					
In^{116}	54 мин	2,1 1,49 1,37 1,08 0,41	Жидкий металл	5400	3,0	7,2	$t_{пл}$ = 156,4 °С; ρ = 7,0 Г/см^3
In^{116}	54 мин	2,1 1,49 1,37 1,08 0,41	12,5% р-р в воде	55	2,2	0,103	ρ = 1,2 Г/см^3

Основной излучающий изотоп	Период полураспада	Энергия преобразующих гамма-квантов, Мэв	Состояние гамма-носителя	Максимальная удельная гамма-мощность, вт/л	Энергия, накапливаемая на один захваченный нейтрон, вт. с. 10^{13}	Сечение поглощения нейтронов гамма-носителем, $см^{-1}$	Примечание
In^{116}	54 мин	2,1 1,49 2,37 1,08 0,41	Эвтектич. сплав In-56%; Bi-34%, Pb-10%	3600	3,0	4,8	$t_{пл}$ = 73 °C, ρ = 8,3 Г/см^3
In^{116}	54 мин	2,1 1,49 1,37 1,08 0,41	Эвтектич. сплав In-52%; Bi-30%, Pb-18%	3150	3,0	4,2	$t_{пл}$ = 60 °C ρ = 7,9 Г/см^3
In^{116}	54 мин	2,1 1,49 1,37 1,08 0,41	Эвтектич. сплав In = 25%, Ga = 62% Sn = 13%	1300	3,0	1,7	$t_{пл}$ = 5 °C ρ = 6,8 Г/см^3
In^{116}	54 мин	2,1 1,49 1,37 1,08 0,41	Эвтектич. сплав In-22,5% Ga-77,5%	1100	3,0	1,66	$t_{пл}$ = 15,8 °C ρ = 6,3 Г/см^3

gost.e-ecolog.ru