МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ
И ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ

2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТРИТИЕМ

Методические указания
МУ 2.6.1.17-02

Издание официальное

gost.e-ecolog.ru

Содержание

1. Область применения ... 88
2. Нормативные ссылки ... 88
3. Термины и определения ... 89
4. Краткие сведения о загрязнении поверхностей радионуклидами ... 90
5. Закономерности поступления трития с загрязненных поверхностей в организм человека ... 91
6. Рекомендуемые допустимые уровни поверхностного загрязнения тритием ... 92
7. Организация контроля загрязнения поверхностей помещения и установленного *в них оборудования тритием* ... 93
8. Средства измерений для определения загрязнения поверхностей тритием ... 96
9. Оформление результатов контроля ... 98
Приложение А (Справочное). Особенности загрязнения поверхностей тритием и его соединениями (HT и HTO) ... 99
Приложение Б (Справочное). Обоснование выбора рекомендуемых значений допустимых уровней загрязнения поверхностей тритием ... 101
Приложение В (Обязательное). Рекомендуемые значения допустимых уровней загрязнения рабочих поверхностей, кожи, средств индивидуальной защиты оксидом трития ... 105
Приложение Г (Рекомендуемое). Измерение загрязнения поверхностей оксидом трития методом мазков ... 106
Приложение Д (Рекомендуемое). Экспериментальное определение коэффициента снятия влажного мазка. ... 108
Приложение Е (Рекомендуемое). Методы измерения скорости десорбции трития и его оксида с загрязненных поверхностей радиометрами газов ... 110
Приложение Ж (Рекомендуемое). Определение загрязненности тритием
ому излучению ... 113
ое). Библиография ... 116

Предисловие

Методические указания МУ 2.6.1.17-02 «Определение загрязнения поверхности тритием» разработаны творческим коллективом под эгидой Методического совета Департамента безопасности и чрезвычайных ситуаций Министерства Российской Федерации по атомной энергии.

1. Сведения о разработчиках:

Руководитель работы: д.т.н., с.н.с. Л.Ф.Беловодский - Российский Федеральный ядерный центр - Всероссийский НИИ экспериментальной физики.

Исполнители работы: д.т.н., с.н.с. Л.Ф.Беловодский, к.т.н., с.н.с. В.К.Гаевой, Г.Ф.Ходалев - Российский Федеральный ядерный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики; к.т.н., с.н.с. О.А.Кочетков - ГНЦ Институт биофизики.

2. Утверждены и введены в действие Федеральным управлением медико-биологических и экстремальных проблем (Федеральное Управление «Медбиоэкстрем») при Минздраве России 16 апреля 2002 г. и Министерством Российской Федерации по атомной энергии 18 июня 2002 г.

3. Настоящие Методические указания разработаны в соответствии с требованиями следующих законов Российской Федерации:

«Об использовании атомной энергии» ФЗ-170 от 21.11.1995 г.;

«О радиационной безопасности населения» ФЗ-3 от 09.01.1996 г.;

«О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» ФЗ-52 от 30.03.1999 г;

«Об обеспечении единства измерений» 487-1 от 27.04.1993 г.;

«О стандартизации» 5154-1 от 10.06.1993г.

4. Введены впервые.

Утверждены Руководителем Департамента безопасности и чрезвычайных ситуаций Минатома России А.М. Агаповым 18 июня 2002 г.
Утверждены Заместителем Главного государственного санитарного врача РФ по специальным вопросам М.Б. Муриным 16 апреля 2002 г.

2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТРИТИЕМ

Методические указания МУ 2.6.1.17-02

Дата введения - с момента утверждения
Издание официальное

© **Министерство Российской Федерации по атомной энергии**
© **Федеральное управление медико-биологических и экстремальных проблем при Министерстве здравоохранения Российской Федерации (Федеральное Управление «Медбиоэкстрем»)**
Настоящие методические указания по методам контроля не могут быть полностью или частично воспроизведены без разрешения Минатома России и Федерального Управления «Медбиоэкстрем».

1. Область применения

1.1 Настоящие методические указания (МУ) устанавливают общие требования к организации и осуществлению радиационного контроля загрязнения поверхностей рабочих помещений, оборудования, инструмента, спецодежды и кожных покровов персонала соединениями трития (оксид трития (НТО) и газообразный (НТ)), на любых предприятиях, осуществляющих деятельность с использованием трития и его соединений, включая назначение, цели и задачи контроля, требования к приборному, методическому и метрологическому обеспечению, к объему и регламенту контроля и к учету результатов контроля.

2. Нормативные ссылки

В настоящих Методических указаниях использованы основные положения следующих руководящих документов:

- ГОСТ Р 1.5-92. Государственная система стандартизации РФ. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию стандартов.
- ГОСТ Р 8 563-96. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений
- ГОСТ 15484-81. Излучения ионизирующие и их измерения. Термины и определения.
- ГОСТ 12.1.005-88 - ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- ГОСТ 8.207-76 - ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.
- Р 1.1.004-94. «1.1. Общие вопросы. Общие требования к построению, изложению и оформлению нормативных и методических документов системы государственного санитарного и эпидемиологического нормирования». Минздрав России, 1998.
- СП-2.6.1-758-99. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). Гигиенические нормативы. М.: Минздрав России, 1999.
- СП-2.6.1-799-99. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99). Санитарные правила. М.: Минздрав России, 2000.

- Р 1.1.002-96.1.1. Общие вопросы. Классификация нормативных и методических документов системы государственного санитарно-эпидемиологического нормирования. Руководство. Минздрав России, 1998.

- МИ 2453 - 2000. Методики радиационного контроля. Общие требования.

- МИ 3277-96. Разработка и аттестация методик выполнения измерений.

- МИ 1967-89 - ГСИ. Выбор методов и средств измерений при разработке методик выполнения измерений. Общие положения.

- МУК 4.4.009-94. Относительные измерения. Радиометрия. Требования к методикам выполнения измерений активности (удельной активности) образцов проб биологических объектов, объектов внешней среды и пищевых продуктов. Методические указания. ФУМБЭП при Минздравмедпроме РФ. М., 1994.

3. Термины и определения

Применительно к настоящим Методическим указаниям приняты следующие, взятые из НРБ-99, термины и определения.

3.1. **Загрязнение радиоактивное** - присутствие радиоактивных веществ на поверхности, внутри материала, в воздухе, в теле человека или в другом месте, в количестве, превышающем уровни, установленные Нормами и Правилами.

3.2. **Загрязнение поверхностей неснимаемое (фиксированное)** - радиоактивные вещества, которые не переносятся при контакте на другие предметы и не удаляются при дезактивации.

3.3. **Загрязнение поверхностей снимаемое (нефиксированное)** - радиоактивные вещества, которые переносятся при контакте на другие предметы и удаляются при дезактивации.

3.4. **Облучение** - воздействие на людей ионизирующего излучения.

3.5. **Облучение профессиональное** - облучение персонала в процессе его работы с техногенными источниками ионизирующего излучения.

3.6. **Персонал** - лица, работающие с техногенными источниками ионизирующих излучений (Группа А) или находящиеся по условиям работы в сфере их воздействия (Группа Б).

3.7. **Предел годового поступления радионуклида (ПГП)** - допустимый уровень поступления данного радионуклида в организм в течение года, который при монофакторном воздействии приводит к облучению условного человека ожидаемой дозой, равной соответствующему пределу годовой дозы.

3.8. **Доза эффективная (эквивалентная) годовая** - сумма эффективной (эквивалентной) дозы внешнего облучения, полученной за календарный год, и ожидаемой эффективной (эквивалентной) дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением в организм радионуклидов за этот же год.

Единица годовой эффективной дозы - зиверт (Зв).

3.9. **Предел дозы (ПД)** - величина годовой эффективной или эквивалентной дозы техногенного облучения, которая не должна превышаться в условиях нормальной работы. Соблюдение предела годовой дозы предотвращает возникновение детерминированных эффектов, а вероятность стохастических эффектов сохраняется при этом на приемлемом уровне.

3.10. **Источник излучения техногенный** - источник ионизирующего излучения специально созданный для его полезного применения или являющийся побочным продуктом этой деятельности.

3.11. **Уровень вмешательства (УВ)** - уровень радиационного фактора, при превышении которого следует проводить определенные защитные мероприятия.

3.12. **Уровень контрольный** - значение контролируемой величины дозы, мощности дозы, радиоактивного загрязнения и т.д., устанавливаемое для оперативного радиационного контроля, с целью закрепления достигнутого уровня радиационной безопасности, обеспечения дальнейшего снижения облучения персонала и населения, радиоактивного загрязнения окружающей среды.

4. Краткие сведения о загрязнении поверхностей радионуклидами

4.1. Опыт эксплуатации ядерных реакторов и установок по переработке радиоактивных веществ показывает, что применение специальных боксов, камер, вытяжных шкафов и других устройств, предназначенных для защиты от радиоактивных загрязнений, не может полностью исключить некоторую утечку радиоактивных веществ в рабочие помещения. Это приводит к радиоактивному загрязнению поверхностей помещений, оборудования, спецодежды и кожных покровов персонала.

4.2. При нормальном течении технологических процессов и строгом соблюдении правил радиационной безопасности радиоактивного загрязнения поверхностей, как правило, не превышают установленных нормативов. Однако радиоактивное загрязнение поверхностей выше установленных нормативов является неизбежным спутником ремонтных работ, когда производится разгерметизация камер и боксов, демонтаж трубопроводов и оборудования.

4.3. Радиоактивная загрязненность различных открытых поверхностей в некоторых случаях оказывает существенное влияние на радиационную обстановку в помещениях и может обусловить:

- ингаляционное поступление радиоактивных веществ в результате их перехода с поверхностей в воздух производственных помещений;
- внешнее облучение за счет бета-, гамма-излучений;
- контактное загрязнение спецодежды с кожных покровов персонала.

4.4. При работе с тритием (НТ) и его соединениями загрязнение поверхностей будет, в основном обусловлено оксидом трития (НТО), поскольку НТО значительно лучше НТ сорбируется различными поверхностями (материалами) и медленнее десорбируется с поверхностей. Некоторые особенности загрязнения поверхностей тритием и его соединениями рассматриваются в приложении А.

4.5. Тритий, в связи с низкой энергией его бета-излучения (E_β = 5,6 кэВ, $E_{\beta max}$ = 18 кэВ), не представляет опасности как источник внешнего облучения персонала. Поэтому поверхностное загрязнение тритием может обусловить:

- ингаляционное поступление в организм персонала в результате перехода (выделения) с поверхностей в воздух помещений;
- контактное загрязнение спецодежды и кожных покровов персонала. При этом НТО через кожу (в основном рук) поступает внутрь организма, обуславливая внутреннее облучение.

4.6. Назначение контроля загрязненности поверхностей радионуклидами, в том числе и тритием, состоит в оценке эффективности технических, организационных и санитарно-гигиенических мероприятий по поддержанию условий работы на безопасном уровне. В связи с этим основными задачами дозиметрического контроля поверхностного загрязнения являются:

- обнаружение неисправностей технологического оборудования и нарушения технических регламентов;
- уменьшение поверхностных загрязнений до допустимых уровней, ограничение его распространения по смежным помещениям, оценка эффективности дезактивации;
- получение информации для планирования мероприятий по индивидуальной защите персонала, дезактивации, для определения объема индивидуального дозиметрического контроля и контроля воздуха в помещениях.

4.7. Выбор мероприятий по индивидуальной защите персонала определяется той опасностью для человека, которую могут представлять собой загрязненные поверхности. Поскольку критерием радиационной опасности является эффективная эквивалентная доза внутреннего облучения (для НТО), необходимо знать связь между значением этой дозы и уровнем радиоактивной загрязненности рабочих поверхностей и кожных покровов.

Однако следует иметь в виду, что однозначной связи между уровнем радиоактивной загрязненности и эффективной дозой внутреннего облучения не существует. Это обусловлено тем, что радиационное воздействие на человека, ведущего работы в условиях радиоактивной загрязненности, в значительной степени зависит не только от уровня этого загряз-

нения, но и от ряда субъективных факторов, связанных с поведением человека. Нормирование допустимых величин загрязнения всегда осуществляется с запасом на такие неопределенности.

*4.8. Критерием оценки степени загрязнения поверхностей являются численные значе*ния допустимых уровней загрязнения радиоактивными веществами поверхностей рабочих помещений, оборудования, спецодежды и кожных покровов, установленные в таблице 8.9 НРБ-99. Что касается поверхностного загрязнения тритием, то в настоящее время, к сожалению, не существует международного соглашения относительно того, что считать пригодным уровнем загрязнения поверхностей тритием. В НРБ-99 допустимые уровни для этого радионуклида также не нормируются. Поэтому в данных МУ произведено обоснование выбора рекомендуемых уровней загрязнения поверхностей (приложение Б) НТО, которые представлены в приложении В.

4.9. При организации и проведении контроля загрязненности поверхностей обычно учитывают, что радиоактивные вещества могут быть прочно сорбированы материалом поверхности, составляя так называемую фиксированную часть загрязнения. Но они могут быть и слабо связаны с поверхностью силами механической адгезии, электростатическими силами и др. Эту долю поверхностного загрязнения называют снимаемой или «нефиксированной» загрязненностью, которая является одним из источников поступления радионуклидов в воздух и контактного загрязнения спецодежды и кожных покровов персонала. Такое деление имеет условный характер, поскольку величина снимаемой доли радионуклидов с поверхности не является постоянной и зависит от степени механического, химического и электрического взаимодействия с материалом поверхности, его пористости и других свойств.

4.10. Применительно к загрязнению поверхностей тритием следует считать, что все загрязнение является нефиксированным, то есть «снимаемым». При этом для различных материалов, в силу указанных выше причин, доля «снимаемой» (выделяемой с поверхности) активности будет различной при одинаковом уровне загрязнения.

4.11. Контроль загрязнения поверхностей вводится в помещениях, где проводятся работы с тритием и его соединениями, а также в помещениях, которые могут загрязняться в результате переноса в них НТО на различных предметах, инструментах, оснастке, спецодежде и обуви персонала или с потоками воздуха.

5. Закономерности поступления трития с загрязненных поверхностей в организм человека

5.1. При содержании элементарного трития (НТ) и его оксида (НТО) в воздушной среде следует рассматривать следующие процессы загрязнения поверхностей:

- диффузия трития и его оксида в полимерных материалах, резинах и других материалах, и только трития - в металлах, стеклах и т.п. Этот вид загрязнения, со временем, будет приводить к загрязнению материала по всей толщине;
- сорбция из окружающей среды трития и его оксида. За счет этого конденсация паров тритиевой воды на поверхностях, а также сорбция трития и его оксида неактивной пылью помещения и осаждения тритированной пыли на поверхностях. В результате этого будут загрязняться материалы только с поверхности, контактирующей с содержащей соединения трития средой.

5.2. Загрязненные тритием (в основном НТО) поверхности рабочих помещений и оборудования представляют опасность для персонала при переходе (переносе) НТО в организм. При этом поступление НТО в организм человека обусловлено двумя путями:

- десорбцией НТО с загрязненных поверхностей в воздух рабочих помещений и поступление НТО из воздуха в организм ингаляционным путем и через кожу;
- поступлением НТО в организм через кожу рук, загрязненную контактным путем при выполнении технологических операций с загрязненными тритием (НТО) деталями и оборудованием (вентили, оснастка, отходы и т.п.).

При этом вклад каждого из указанных путей может быть различным в зависимости от многих факторов: характера и уровней загрязнения поверхностей, времени пребывания в

загрязненных условиях, времени контакта с загрязненными поверхностями, типа используемых средств защиты и др.

5.3. Выделение трития из любых материалов, поглотивших тритий при комнатной температуре, в результате диффузионных процессов при объемной активности трития в окружающей их среде вплоть до $1{,}0 \cdot 10^{-3}$ Ки/м^3 ($3{,}7 \cdot 10^7$ Бк/м^3) практически не будет представлять опасности для персонала.

Оценка активности НТО, поглощенной в результате диффузионных процессов изделиями из резины и пластика при выдержке их в газовой среде с объемной активностью НТО более $4 \cdot 10^9$ Бк/м^3, показывает, что эти изделия будут представлять определенную опасность для персонала при использовании в рабочем помещении.

Внимание также следует обращать на металлические вакуумные системы, в которых находится чистый тритий, особенно на элементы этих систем, работающих при высокой температуре (300–600) °С (титановые, урановые ловушки), размещаемые в вытяжных шкафах. Здесь, при нагреве ловушек, через стенки их может диффундировать значительная активность трития в атомарном состоянии, который, обладая высокой химической активностью, при выходе из металла в воздух будет окисляться до НТО и представлять опасность для человека.

5.4. Наиболее подвижной является нефиксированная загрязненность поверхностей, обусловленная сорбцией НТО из окружающей воздушной среды. Величина этой загрязненности поверхностей пропорциональна, при прочих одинаковых условиях, объемной активности НТО в воздухе рабочего помещения. Поверхности при повышении объемной активности в воздухе поглощают (сорбируют) тритий, а при понижении ее - отдают сорбированный тритий в воздух. Этот вид загрязненности представляет основную опасность для персонала.

В связи с тем, что объемная активность трития (НТО) практически равномерно распределяется по объему помещения, можно считать, что при нормальной (безаварийной) работе большинство поверхностей (пол, потолок, стены) будут так же загрязнены практически равномерно. Однако при этом отдельные части оборудования вблизи источников поступления трития в воздух рабочего помещения (загрузочные люки, перчаточные проемы и т.п.) будут загрязняться до более высоких уровней.

Также повышенное загрязнение поверхностей будет происходить при проведении ремонтных работ и, особенно, в аварийных ситуациях, сопровождающихся повышением объемной активности трития и его оксида в воздухе рабочих помещений.

6. Рекомендуемые допустимые уровни поверхностного загрязнения тритием

6.1. В практике работы с тритием на большинстве предприятий установлено, что для некоторых категорий персонала поступление НТО в организм обусловлено, в основном, за счет загрязнения поверхностей тритием.

Так, например, у персонала, занятого выделением газообразного трития из урановых, титановых ловушек, доза внутреннего облучения на 70% определяется поступлением через кожу рук, загрязненных контактным путем при манипуляциях с ловушками и управляющими элементами вакуумной системы (вентили и др.) при перегонке газа в вакуумные емкости. У работающих на технологическом оборудовании через боксовые перчатки - до 90% за счет контактного загрязнения открытых частей рук (кисти) и кожу рук, находящихся внутри перчаток с более высокой, по сравнению с рабочим помещением, объемной активностью трития.

6.2. В настоящих МУ, на основании указанных в разделе 5 механизмов поступления трития с поверхности в организм человека, произведена разработка рекомендаций по допустимым уровням загрязнения оксидом трития различных поверхностей (Приложение Б). Рекомендованные допустимые уровни загрязнения поверхностей приведены в Приложении В.

6.3. При рекомендации допустимых уровней исходили из следующих положений:

- вклад в загрязнение воздуха рабочих помещений во время работы с тритием и его соединениями за счет снимаемого (нефиксированного) загрязнения поверхностей помеще-

7.3.3. Каждый вид контроля проводится в соответствии с «Программой...» согласованной с местными органами госсанэпиднадзора, утверждаемой руководителем предприятия, подразделения.

7.3.4. Программа контроля загрязнения поверхностей разрабатывается на основании анализа результатов контроля состояния радиационной обстановки (загрязнение поверхностей, воздуха и индивидуальных доз облучения персонала). В программе должны быть указаны объем контроля, включающий следующее:

- перечень основных технологических (рабочих) помещений и помещений по пути следования из основных рабочих помещений в «чистые»;
- смежные, с основными рабочими, помещения и территории;
- внутренние и внешние поверхности технологического и защитного оборудования;
- поверхности оборудования, оснастки инструмента и т.п., передаваемое для применения, ремонта в неконтролируемые условия («чистые помещения»);
- контроль загрязнения рук, спецодежды и средств индивидуальной защиты;
- периодичность и метод контроля загрязнения поверхностей для каждого из перечисленных видов контроля.

7.4. Текущий контроль

7.4.1. Плановый контроль является основным видом контроля загрязнения поверхностей помещения и установленного в них оборудования.

7.4.2. Плановый контроль проводится согласно специальной программе, разработанной в соответствии с п.7.4.3. Периодичность и объем контроля загрязнения поверхностей зависит от технологии работ, применяемого защитного оборудования, содержания трития в воздухе рабочих помещений, облучаемости персонала и фактического загрязнения поверхностей рабочих помещений.

7.4.3. При проведении планового контроля рекомендуются следующая периодичность и объем контроля загрязнения тритием (НТО) рабочих поверхностей помещения и наружных поверхностей оборудования:

1) Средняя по помещению объемная активность трития в воздухе рабочих помещений находится на уровне ДОА; индивидуальная доза облучения персонала на уровне допустимой и загрязнение поверхностей тритием превышает уровень исследований. Проводится следующий контроль загрязнения поверхностей:

- пол, стены основных рабочих помещений, поверхностей оборудования - проводится ежесменный контроль загрязнения поверхностей тритием;
- смежные помещения, а также помещения по пути следования персонала в чистую зону - проводится контроль загрязнения поверхностей 1-2 раза в неделю.

2) Средняя по помещению объемная активность трития в воздухе рабочих помещений не превышает 0,5 ДОА, облучаемость персонала 0,5 от допустимого и загрязнение поверхностей не превышает уровня исследований. Проводится следующий контроль загрязнения поверхностей:

- пол, стены основных помещений - один раз в неделю, выборочно, особенно вблизи технологического оборудования (у открываемых лючков, проемов боксовых перчаток и т.д.);
- поверхностей технологического оборудования - один раз в неделю, особое внимание обращать на загрязнение управляющих и регулирующих элементов, с которыми контактирует обслуживающий персонал (вентили вакуумных установок с тритием, ловушки и т.д.), а также вблизи источников поступления трития из технологического оборудования (открывающиеся лючки, заглушки боксовых перчаток и т.п.);
- в смежных помещениях контроль загрязнения поверхностей проводится один раз в месяц.

3) Радиационная обстановка в рабочем помещении значительно лучше приведенной в подразделе 2 (загрязнение воздуха, рабочих поверхностей), облучаемость персонала близка к соответствующим уровням регистрации. Проводится следующий контроль поверхностей:

- основные рабочие помещения и установленное в них оборудование - 1 раз в месяц;

- смежные помещения - 1 раз в месяц - выборочно, полное обследование - 1 раз в квартал.

4) Контроль загрязнения поверхностей и оборудования, инструмента, оснастки и т.п., передаваемых в чистые неконтролируемые подразделения, проводится постоянно, при передаче оборудования.

7.5.Оперативный контроль.

7.5.1. Оперативный контроль организуется при проведении персоналом работ с технологическим оборудованием, выполняемых по нарядам-допускам.

7.5.2. Оперативный контроль загрязнения поверхностей рабочего и смежных помещений проводится постоянно (ежесменно) в течении всего времени ремонтных работ.

7.5.3. После окончания ремонтных работ тщательно обследуются уровни загрязнения поверхностей рабочих помещений, внутренних и наружных поверхностей оборудования, смежных помещений.

7.5.4. При загрязнении рабочих поверхностей выше допустимых уровней проводится их дезактивация и последующий контроль. При этом уровни загрязнения поверхностей тритием должны быть снижены до 0,5 от допустимого уровня.

7.6. Аварийный контроль.

7.6.1. Аварийный контроль проводится в случаях радиационных инцидентов, приводящих к значительному загрязнению воздуха рабочих помещений, когда интеграл концентрации за время радиационного инцидента может быть равным или превышать предел годового поступления соединений трития в организм персонала группы А и приводить к загрязнению поверхностей рабочих помещений до весьма высоких уровней.

7.6.2. Аварийный контроль проводится постоянно при ликвидации последствий загрязнения поверхностей рабочего помещения и находящегося в нем технологического оборудования в течение всего времени, необходимого для ликвидации последствий аварии.

7.7. Требования к методам контроля загрязнения поверхностей тритием и его соединениями.

7.7.1. Принципы определения загрязнения поверхностей тритием.

При измерении трития на поверхностях особое внимание следует обращать на то, что фактически измеряется, так как имеется несколько различных методов и инструментов (приборов) и некоторые из них предназначены для измерения совершенно различных величин.

7.7.2. Представляет интерес рассмотрение не менее трех видов загрязнения поверхностей тритием:

- это общее загрязнение поверхности тритием. Сюда относится весь тритий, связанный с поверхностью, поступивший в материал в результате диффузионных и сорбционных процессов. Однако значение этого загрязнения не особенно полезно. Неясно, до какой глубины считать загрязнение поверхностным и, кроме того, непосредственное измерение этой величины практически невозможно;

- нефиксированный (удаляемый) тритий - это тритий, который можно измерять методом сухих и влажных мазков, в то время как непосредственно измеряемый тритий составляет долю, которую можно измерять на поверхности безоконным (или с очень тонким окном) детектором;

- с точки зрения радиационной защиты обычно считают нефиксированный тритий важной для измерения величиной, так как эта величина наиболее близко представляет тритий, который может попасть в организм человека через кожу при контакте с загрязненной поверхностью. Кроме этого, этот тритий наиболее подвижен, может выделяться с поверхности в воздух и уже попадать в организм человека ингаляционным путем.

7.7.3. В соответствии с вышеизложенным, рекомендованы следующие принципиальные подходы к методам измерения загрязнения поверхностей тритием и его соединениями:

- определение нефиксированного загрязнения поверхностей окисью трития рекомендуется проводить методом влажных мазков (приложение Г). В качестве основы мазка используется марля, вата; смачивающая жидкость: вода, водо-спиртовые смеси, жидкий сцинтил-

лятор. Измерение мазка производится на жидкостном сцинтилляционном счетчике;

- измерение скорости выделения трития (НТ и НТО) с загрязненной поверхности рекомендуется проводить радиометрами газов с ионизационными камерами или проточными пропорциональными счетчиками (приложение Е) двумя методами: первый - путем измерения активности трития в воздухе, отсасываемого с измеряемой поверхности; второй - путем измерения активности трития выделившегося за время экспозиции в фиксированный объем, ограничивающий измеряемую поверхность или в герметичную емкость, куда помещается деталь (изделие), загрязнение поверхности которой необходимо измерять;

- суммарное (фиксированное плюс нефиксированное) загрязнение поверхностей рекомендуется измерять методами, основанными на прямом счете бета-частиц с помощью проточных газоразрядных безоконных счетчиков трития;

- счет тормозного излучения трития, распределенного по глубине, в слое толщиной меньше пробега тормозного рентгеновского излучения (приложение Ж) рекомендуется измерять Гейгеровскими сцинтилляционными счетчиками с тонким окном или сцинтилляционными детекторами (NaI) толщиной 1,0–1,5 мм с бериллиевым покрытием.

7.7.4. *Основные рекомендованные методы, основанные на принципах изложенных в* разделе 7.7.3, приведены в приложениях (Г, Е, Ж).

7.8. Требования к методикам определения загрязнения поверхностей тритием.

7.8.1. Согласно Закону «Об обеспечении единства измерений (ст.9)» измерения должны осуществляться в соответствии с аттестованными в установленном порядке методиками». Нестандартные средства измерений (не серийного изготовления) подлежат метрологической аттестации в учреждениях органов стандартизации России (ФГУП ВНИИФТРИ, ГП ВНИИМ им. Д.И.Менделеева и др.) либо в метрологических службах, аккредитованных в этой области деятельности.

7.8.2. Методики контроля загрязнения поверхностей должны быть оформлены и аттестованы в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.563-96 «Государственная система обеспечения измерений. Методика выполнения измерений».

7.8.3. Средства измерений (СИ), используемые при контроле загрязнения поверхностей тритием и его соединениями должны обеспечивать измерения промежуточных величин (жидкая фаза мазка, объемное содержание трития в воздухе, скорость счета тормозного излучения и т.п) с относительной погрешностью в доверительном интервале 95%, не более ±50%.

7.8.4. Дополнительная относительная погрешность, обусловленная пересчетом измеряемой величины на уровни загрязнения поверхностей:

- при методе натекания трития с поверхностей в ионизационную камеру, непосредственное измерение безоконным счетчиком - не более ±50%;

- при методе мазков и по тормозному излучению - не более ±100%.

7.8.5. При выборе средств измерений (СИ) и методики выполнения измерений (МВИ) необходимо руководствоваться требованием не превышения следующих относительных погрешностей определения уровней загрязнения поверхностей тритием:

- на уровне рекомендуемых допустимых пределов - 60%;

- на уровне 1/5 рекомендуемых допустимых пределов - 100%;

- на уровне регистрации $У_Р$ - 150%.

7.8.6. Погрешность (неопределенность) уровней загрязнения поверхностей тритием, определяемых по результатам радиационного контроля (Δ), следует оценивать как:

$$\Delta = \sqrt{\Delta^2_{ОПЕР} + \Delta^2_{РК}}, \qquad (7.2)$$

где: $\Delta_{ОПЕР}$ - погрешность определения соответствующей измеряемой величины согласно МВИ; $\Delta_{РК}$ - неопределенность распространения результатов систематических измерений на реальный объект контроля (погрешность организации радиационного контроля, обусловленная его представительностью).

8. Средства измерений для определения загрязнения поверхностей тритием

8.1. Для измерения активности в жидкой фазе влажных мазков, в соответствии с мето-

дикой приложения Г, рекомендуется использовать жидкостные сцинтилляционные счетчики, которые должны обеспечивать измерение объемной активности трития не менее $1 \cdot 10^3$ Бк/л, с относительной погрешностью в доверительном интервале 95% не более ±50%. Рекомендуемая аппаратура приводится ниже:

- портативный радиометр низкоэнергетических радионуклидов трития, углерода-14 и др. типа РКБ-0511(1ПРТ-1М), позволяющий измерять минимальную объемную активность трития не более $5 \cdot 10^2$ Бк/л. Питание от сети переменного тока и от аккумулятора, изготовитель (поставщик) прибора - АОЗТ «СНИИП АВЕРС»;

- низкофоновый альфа-бета жидкостной сцинтилляционный счетчик типа Tri-Carb (выпускается несколько модификаций). Счетчик состоит из контролируемого компьютером настольного жидкостного сцинтилляционного анализатора, специально разработанного для образцов с предельно низкой активностью трития. Минимальная регистрируемая активность трития при времени измерения t = 500 мин составляет (1–2) Бк/л и при t = 1–2 мин составляет ≈ 20 Бк/л. Счетчик укомплектован реверсивным конвейером для автоматизированного счета образцов. Эти счетчики поставляются фирмой PACKARD (США).

8.2. Для контроля скорости выделения трития загрязненными поверхностями, в соответствии с методикой приложения Е, рекомендуются следующие радиометры газов с ионизационными камерами:

- радиометр газов РГБ-07 с проточной ионизационной камерой объемом 5 л со встроенным насосом (воздуходувкой), обеспечивающим скорость прокачки воздуха 5 л/мин. Пределы измерения трития $5 \cdot 10^1$–$5 \cdot 10^6$ Бк/л;

- радиометр газов РГБ-06 с прокачной ионизационной камерой объемом 10 л (без насоса). Пределы измерения трития $1 \cdot 10^1$–$5 \cdot 10^6$ Бк/л;

- радиометр газов РГБ-02 с проточной ионизационной камерой объемом 8 л, встроенный насос обеспечивающий скорость прокачки воздуха 8 л/мин. Изготовитель всех этих приборов - АООТ «Импульс» г. Пятигорск, разработчик - СНИИП МАЭП, Москва.

- Portable tritium monitor PTM-1812 с проточной ионизационной камерой объемом 0,375 л со встроенным насосом. Пределы измерения трития: $3{,}7 \cdot 10^1$-$7{,}4 \cdot 10^5$ Бк/л, США;

- Tritium Monitor LB-110 с проточным пропорциональным счетчиком объемом 2,16 л. Счетный газ воздух/метан в соотношении 1/3. Имеется встроенный насос. Минимальная объемная регистрируемая активность трития - 1,6 Бк/л. Выпускает фирма Berthald, ФРГ, Представительство в Москве, Финляндия Pribori Oy.

8.3. Для контроля загрязнения поверхностей по тормозному излучению, в соответствии с методикой приложения Ж, рекомендуется следующая аппаратура:

- радиометр для измерения бета загрязненности поверхностей КРБ-1. В качестве регистрирующего используется счетчик мягкого бета излучения типа СИ-8Б, толщина окна - 5–7 мг/см^2, площадь - 50 см^2;

- блок детектирования БДБА с пересчетным прибором. Предназначен для измерения бета-активной загрязненности кожных покровов. В блоке используются следующие детекторы мягкого бета излучения: СИ-8Б, СБТ-10, толщина окна 3–5 мг/см^2. При проведении измерений с указанными выше радиометрами необходимо снять защитную пленку на блоках детектирования. Измерять открытыми детекторами;

- альфа-, бета-радиометр УМФ-2000 с полупроводниковым кремниевым детектором, легированным алюминием, площадью 400–450 мм^2. Регистрацию тормозного излучения трития (после соответствующей калибровки) рекомендуется проводить по бета-каналу, энергетический диапазон которого (по бета-излучению) составляет 20–2000 кэВ. Для этих целей может также служить модернизированная, путем полной замены элементной базы на современную, установка УМФ-1500, которая имеет сопоставимые с установкой УМФ-2000 характеристики:

- Виолинист-III, предназначенный для измерения характеристического рентгеновского излучения плутония. Детектор - тонкий кристалл NaI с бериллиевым окном;

- низкофоновый бета-счетчик серии SOLO. Малогабаритный счетчик с проточным детектором диаметром 57 мм. Толщина входного окна детектора составляет 80 мкг/см^2. Постав-

щик - фирма Canberra. Есть представительство в Москве.

8.4. Для контроля загрязненности поверхностей тритием путем регистрации испускаемых им бета-частиц могут быть использованы безоконные пропорциональные счетчики. Эти детекторы позволяют измерять загрязнение поверхностей от 0,2–2,0 Бк/м^2. Имеются разработки безоконных счетчиков как у нас, так и за рубежом. С безоконными счетчиками нужно обращаться осторожно, так как собирающий электрод находится снаружи. Они очень хрупки и легко загрязняются. Но в лабораторных условиях при соблюдении осторожности их можно эксплуатировать. К сожалению, серийное (опытное) производство их пока не налажено.

9. Оформление результатов контроля

9.1.Результаты каждого планового контроля загрязненности поверхностей оформляются отдельным протоколом с приложением картограммы загрязнения по каждому помещению и установленному в нем оборудованию. В картограмме отмечаются загрязнения поверхностей в отдельных точках и локальные. При этом локальным загрязнением условно называется загрязнение площади, меньшей 0,1 площади всей контролируемой поверхности (S) и с содержанием трития, соизмеримым или превышающим содержание трития на всей поверхности при средней плотности, равной допустимой, $q_{т.доп}$:

$$\overline{q_S} \geq q_{т.доп} \times S. \qquad (9.1)$$

В протоколе отмечаются следующие условия проведения контроля:

- дата (и время) проведения контроля;
- метод контроля;
- содержание соединений трития в воздухе рабочего помещения;
- условия проведения контроля (до влажной уборки помещения или после).

При необходимости делаются рекомендации о дезактивации всего помещения, оборудования или их отдельных участков.

9.2. За отчетный период (квартал, год) по результатам планового контроля определяется средняя за период контроля загрязненность рабочих помещений и оборудования отдельно по каждому помещению. При этом, если точки контроля распределялись равномерно по помещению, то средняя загрязненность определяется как среднее арифметическое отдельных замеров. При неравномерном - как среднее взвешенное с учетом площади, по которой определялось загрязнение отдельной точки.

9.3. По результатам измерения годового загрязнения поверхностей рабочего помещения производится корректировка «Программы планового контроля загрязнения поверхностей помещения» на следующий год.

9.4. Результаты оперативного и аварийного контроля загрязнения поверхностей оформляются отдельно за все время проведения ремонтных работ или ликвидации последствий аварии (ЛПА) протоколом, аналогичным п. 9.1. Дополнительно, при этом отмечаются уровни загрязненности помещений после завершения ремонтных работ или работ по ЛПА.

9.5. Результаты контроля во время проведения ремонтных работ (оперативный контроль) учитываются при расчете среднего загрязнения поверхностей в соответствии с п.9.2. Но при этом указывается вклад этих работ в средне квартальную (средне годовую) загрязненность поверхностей тритием.

Результаты аварийного контроля не включаются в годовую загрязненность помещения, а оформляются отдельно.

Приложение А (Справочное)
Особенности загрязнения поверхностей тритием и его соединениями (НТ и НТО)

Тритий, в отличие от других бета-излучающих радионуклидов, загрязняющих воздух среды технологического оборудования и рабочих помещений в виде аэрозолей, содержащих твердые частицы, в большинстве случаев находится в газообразном (НТ) или парообразном (НТО) состоянии. Этим, в основном, определяются особенности загрязнения поверхностей оборудования (внутренние и внешние) и рабочего помещения.

Тритий, как изотоп водорода, диффундирует практически во все материалы и растворяясь в них приводит к загрязнению материалов практически на всю их глубину. В виде оксида тритий сравнительно быстро диффундирует через различные резины и полимерные материалы, также загрязняя их на всю глубину.

Диффузионные характеристики по проницаемости некоторых металлов и полимерных материалов, используемых в производственных помещениях, приведены в таблице А.1.

Таблица А.1. *Ориентировочные значения скорости проницаемости трития через некоторые материалы при Т=25 °С*

№ п/п	Материал	Коэффициент проницаемости $см^2/(с \cdot МПа^{1/2})$
1	железо чистое	$3{,}2 \cdot 10^{-12} – 1{,}6 \cdot 10^{-8}$
2	алюминий технически чистый	$3{,}2 \cdot 10^{-12}$
3	алюминиевый сплав АМГ-6	$(1{,}0–1{,}4) \cdot 10^{-16}$
4	сталь 20	$7 \cdot 10^{-14}$
5	нержавеющая сталь 12Х18Н10Т	$2{,}1 \cdot 10^{-15}$
6	стекло	$1 \cdot 10^{-11}$
7	кварц плавленый**	$8 \cdot 10^{-13} – 2 \cdot 10^{-12}$
Примечания: * - результаты для дейтерия; ** - результаты для водорода (протия)		

При возрастании температуры проницаемость материалов резко возрастает. Например, проницаемость нержавеющей стали при температуре 220 °С составляет $7 \cdot 10^{-7}$ $см^2/(с \cdot МПа^{1/2})$ и при температуре (500-700)°С - $(1–7) \cdot 10^{-2}$ $см^2/(с \cdot МПа^{1/2})$. Диффузия трития через металлы может приводить к существенному загрязнению наружных поверхностей, когда внутри их находится чистый тритий с параллельным давлением (0,1–1,0) МПа, особенно при высоких температурах (200-600) °С. При этом следует иметь ввиду, что тритий в атомарном состоянии и, в следствие высокой химической активности, на поверхности сосуда (при наличии кислорода) превращается в оксид трития, который адсорбируется на внешней поверхности сосуда (емкости) с тритием.

Диффузионные характеристики резины и полимерных материалов приведены в таблице А.2.

Таблица А.2 (а). *Диффузионные характеристики резин и полимерных материалов тритием.*

Наименование материала	Толщина, мм	Время задержки, с	Проницаемость $Ku \cdot см/см^2 \cdot с \cdot Ku/л$	Коэффициент диффузии, $см^2/с$	Растворимость $Ku/см^3 \cdot Ku/л$
Резина боксовых перчаток Г-13	1,0	255	$3{,}0 \cdot 10^{-10}$	$6{,}5 \cdot 10^{-6}$	$4{,}7 \cdot 10^{-5}$
Резина хирургических перчаток ГОСТ-53	0,2	60	$3{,}3 \cdot 10^{-10}$	$1{,}1 \cdot 10^{-6}$	$3{,}0 \cdot 10^{-4}$
Поливинилхлорид ПВХ-80-277	0,2	90	$1{,}3 \cdot 10^{-10}$	$9{,}0 \cdot 10^{-7}$	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$
Полиэтилен высокого давления γ-0,92	0,1	150	$5{,}6 \cdot 10^{-11}$	$1{,}3 \cdot 10^{-7}$	$3{,}9 \cdot 10^{-4}$

Таблица А.2 (б). *Диффузионные характеристики резин и полимерных материалов окисью трития*

Наименование материала	Толщина, мм	Время задержки, с	Проницаемость Ku·см/см^2·с·Ku/л	Коэффициент диффузии, см^2/с	Растворимость Ku/см^3·Ku/л
Резина боксовых перчаток Г-13	1,0	$1{\cdot}10^{5}$	$1{,}2{\cdot}10^{-9}$	$2{,}4{\cdot}10^{-8}$	$5{,}9{\cdot}10^{-2}$
Резина хирургических перчаток ГОСТ-53	0,2	$3{,}7{\cdot}10^{3}$	$2{,}3{\cdot}10^{-9}$	$1{,}8{\cdot}10^{-8}$	$1{,}3{\cdot}10^{-1}$
Поливинилхлорид ПВХ-80-277	0,2	360	$1{,}3{\cdot}10^{-8}$	$2{,}7{\cdot}10^{-7}$	$4{,}8{\cdot}10^{-2}$
Полиэтилен высокого давления γ-0,92	0,1	180	$4{,}5{\cdot}10^{-9}$	$1{,}1{\cdot}10^{-7}$	$4{,}0{\cdot}10^{-3}$

Проницаемость резин и полимерных материалов тритием выше проницаемости металлов (при комнатной температуре) на (6–10) порядков, а проницаемость оксидом трития полимерных материалов выше на (1–2) порядка по сравнению с тритием.

Резины и полимерные материалы сравнительно быстро выделяют растворенный в них оксид трития (см.таблицу А.3).

Таблица А.3. *Выделение растворенного оксида трития из некоторых материалов в воздухе при температуре (18–25) °С.*

Наименование материала	Толщина, мм	Выделение оксида трития (% от начального), час	
		90%	99%
Резина боксовых перчаток	1,0	90	125
Резина хирургических перчаток	0,2	7,0	8,5
Поливинилхлорид ПВХ-80/277	0,2	1,5	3,1
Полиэтилен высокого давления, γ=0,92	0,1	0,6	1,2

Диффузионными процессами определяется объемное загрязнение материалов. Это, по аналогии с другими бета-излучающими нуклидами, можно определять как фиксированное загрязнение (элементарным тритием - металлов, тритием и его оксидом - резин, полимерных и других материалов).

На поверхностях различных материалов также может сорбироваться оксид трития и элементарный тритий. Кроме того, в воздухе рабочих помещений всегда содержится неактивная производственная и бытовая пыль, в процессе коагуляции к которой могут присоединяться молекулы НТ и НТО и образовывать аэрозоль с твердыми частицами пыли, содержащей тритий. Эти частицы также могут сорбироваться поверхностями рабочих помещений. Это будет создавать нефиксированное загрязнение рабочих поверхностей.

Приведенные выше особенности следует учитывать при оценке радиационной обстановки в рабочем помещении, а также при выборе методов и организации контроля загрязнения поверхностей.

Так, например, при стационарной радиационной обстановке установившейся объемной активности трития и его соединений, произойдет «насыщение» поверхностей рабочего помещения и количество трития и его оксида, поступающих в воздух рабочего помещения, будет равно поглощаемому поверхностями из воздуха рабочего помещения.

Следовательно, при этом поверхности не будут вносить дополнительный вклад в загрязнение воздуха рабочих помещений. Однако при снижении объемного содержания трития в воздухе, а также изменении влажности и температуры воздуха, поверхности будут «отдавать» поглощенный тритий в результате диффузии и испарять оксид трития, сорбированный поверхностями.

Ремонтные работы внутри технологического оборудования, связанные с его вскрытием, аварийные ситуации, приводящие к повышению активности трития в воздухе рабочего помещения, будут приводить к дополнительному загрязнению поверхностей. При переходе к нормальной работе, снижению содержания трития в воздухе рабочих помещений, загрязненные поверхности будут отдавать поглощенную активность в воздух рабочего помещения.

В этом случае потребуется проведение контроля загрязнения поверхностей для определения необходимости проведения их дезактивации, с целью уменьшения объемной активности трития в рабочем помещении.

Особое внимание следует обращать на контроль оснастки, инструмента и готовой продукции извлекаемой из технологического оборудования, где содержание трития и его оксида в газовой среде, на (3–5) порядков выше, по сравнению с воздухом рабочего помещения.

Рабочие поверхности оборудования могут загрязнять открытые части тела и спецодежду контактным путем и, в результате поступления трития, особенно его оксида, организм человека. Коэффициент снятия активности руками при плотном контакте с оборудованием (управление вентилями, рукоятками и т.д.) может быть близким или даже несколько превышать коэффициент снятия активности мокрыми мазками.

Приложение Б (Справочное)
Обоснование выбора рекомендуемых значений допустимых уровней загрязнения поверхностей тритием

Допустимые уровни загрязнения поверхностей тритием следует устанавливать для таких поверхностей, которые оказывают существенное значение на состояние радиационной обстановки и которые можно надежно измерять имеющимися методами контроля и серийно выпускаемой аппаратурой.

Так, например, при измерении трития на поверхности особое внимание следует обращать на то, что фактически измеряется. Имеется несколько методов и инструментов и некоторые из них предназначены для измерения совершенно различных величин. Полезно рассмотреть не менее трех путей загрязнения поверхностей тритием. Это - общее загрязнение поверхности тритием. Сюда относится весь тритий, связанный с поверхностью. Однако это, с точки зрения радиационной опасности, не имеет большого значения, так как не ясно до какой глубины считать поверхностью, и эту величину измерять непосредственно практически не возможно. Здесь значительно большее значение имеет скорость выделения трития загрязненной поверхностью в воздух рабочего помещения и величину скорости выделения можно замерять ионизационным методом.

Удаляемый или нефиксированный тритий - это тритий, который можно измерять методом сухих и влажных мазков, в то время как непосредственно измеряемый тритий составляет долю, которую можно измерять на поверхности безоконным детектором.

С точки зрения радиационной защиты обычно считают нефиксированный тритий важной для измерения величиной, так как эта величина наиболее близко представляет тритий, который может попасть на человека, соприкасающегося с загрязненной поверхностью, а также выделения с нее в окружающий воздух рабочего помещения.

С учетом вышеизложенного рекомендуются следующие контрольные уровни загрязнения рабочих поверхностей помещения и наружных поверхностей защитного и технологического оборудования.

Б.1. Разработка рекомендуемых допустимых уровней снимаемого (нефиксированного) загрязнения поверхностей помещения, оборудования.

Для выбора рекомендуемых контрольных уровней воспользуемся экспериментальными данными по изучению распределения оксида трития по объему рабочего помещения

(табл. Б.1).

Объем помещения ≈ 500 м^3, площадь - 135 м^2, высота - 3,75 м, общая площадь поверхностей (пол, потолок, стены) - 450 м^2.

В рабочем помещении, при различных режимах работы оборудования, размещались диффузионные пробоотборники на 5 уровнях по высоте (от пола): 0,5 м, 1,0 м, 1,8 м, 2,7 м, 3,5 м.

Количество пробоотборников в отдельном эксперименте составляло от 31 до 57, время экспозиции пробоотборников - от 30 до 72 часов.

Отклонение показаний в отдельных точках контроля отличались от среднего по помещению не более, чем на ±40%; средних значений, по высоте, также от среднего по помещению - на ±(5–10)%.

Таблица Б.1. *Результаты эксперимента по определению распределения трития (НТО) по помещению*

Эксперимент*	Продолжительность опыта, ч. (кол-во точек контроля)	Среднее по помещению содержание НТО в воздухе, Ки/м^3	Активность НТО, выделяющаяся в помещение, Ки/ч
1	57 (51)	$(1,48\pm0,06)\cdot10^{-5}$	$7,40\cdot10^{-3}$
2	72 (43)	$(1,06\pm0,06)\cdot10^{-6}$	$8,06\cdot10^{-3}$
3	30 (31)	$(0,97\pm0,04)\cdot10^{-5}$	$7,37\ 10^{-2}$
Примечания * Эксперимент 1 работа в помещении не проводится, оборудование - перчаточные боксы с заглушенными перчаточными проемами Принудительная вентиляция выключена (естественная ~1,0 кратный обмен ~500 м^3/ч), Эксперимент 2 то же, но включена вентиляция с производительностью 7,6 10^3 м^3/ч (вытяжная), Эксперимент 3 производится работа на технологическом оборудовании Производительность вытяжной вентиляции 7,6 10^3 м^3/ч			

Полученная экспериментально скорость выделения трития при отсутствии работ на оборудовании обусловлена не только выделением его загрязненными поверхностями, но и утечками и диффузией трития из технического оборудования. Тогда, предполагая, что скорость утечки трития от неработающего оборудования составляет ≈ 30%, получим среднюю скорость выделения трития в воздух рабочего помещения равную:

0,7 (7,37+8,06) $10^{-3}/2 \approx 5,4\ 10^{-3}$ Ки/час.

Уровни загрязнения поверхностей пола, стен, измененная позднее методом влажных мазков при объемной активности НТО в воздухе рабочих помещений равной 4,5 10^{-6} Ки/м^3 составляет, в среднем - $0,9\cdot10^{-8}$ Ки/см^2 и 0,8 10^{-8} Ки/см^2 - (стены). Считая, что уровни загрязнения поверхностей оксидом трития пропорциональны объемной активности его в воздухе, производя пересчет на объемную активность оксида трития в воздухе, равную ≈ 1 10^{-5} Ки/м^3 - получим - загрязнение поверхностей, равное 1,8 10^{-8} Ки/см^2.

На основании описанных выше данных, получим, что при уровнях загрязнения поверхностей помещений оксидом трития, равном $1,8\cdot10^{-8}$ Ки/см^2 в воздухе рабочего помещения объемом ≈ 500м^3 выделяется из загрязненных поверхностей активность равная 5,4 10^{-3} Ки/ч, что составляет при 15 кратной вентиляции. $5,4\cdot10^{-3}\cdot100/(7,37\cdot10^{-2}-5,4\cdot10^{-3}) = 7,9$ % от активности, выделяющейся из технологического оборудования. При кратном обмене воздуха помещений, равной 10 обменам в час, эта величина возрастет до 12%.

Рассчитаем допустимые уровни снимаемого (нефиксированного) загрязнения поверхностей оксидом трития, при измерении методом влажных мазков, для следующих исходных данных:

- вклад, вносимый в загрязнение воздуха рабочих помещений поверхностями составляет 10% от допустимой активности рабочих помещений $ДОА_{ПЕРС}$ равного 4,4 10^5 Бк/м^3,
- кратность обмена воздуха приточно-вытяжной вентиляции составляет 10 раз в час.

При объемной активности оксида трития в помещении объемом 500 м^3, с кратностью вентиляции 10 объемов в час, равной 1 $ДОА_{ПЕРС}$, в воздух рабочего помещения из технологического оборудования и загрязненных поверхностей будет выделяться активность, рав-

ная $2{,}2 \cdot 10^9$ Бк/ч ($5{,}95 \cdot 10^{-2}$ Ки/ч). При этом вклад загрязненных поверхностей не должен превышать 10% или $2{,}2 \cdot 10^8$ Бк/ч ($5{,}95 \cdot 10^{-3}$ Ки/ч). Из экспериментальных результатов получено, что при загрязнении поверхностей $1{,}8 \cdot 10^{-8}$ Ки/см^2 ($6{,}66 \cdot 10^2$ Бк/см^2) скорость выделения НТО в воздух составляет $5{,}4 \cdot 10^{-3}$ Ки/ч (~$2{,}0 \cdot 10^8$ Бк/ч).

Тогда, допустимый уровень загрязнения поверхностей составит:

$2{,}2 \cdot 10^8 \cdot 6{,}66 \cdot 10^2 / 2{,}0 \cdot 10^8 = 7{,}33 \cdot 10^2$ Бк/см^2 (~$2 \cdot 10^{-8}$ Ки/см^2).

Таким образом, на основании вышеизложенного рекомендуем установить следующие уровни загрязнения поверхностей оксидом трития, измеряемые мокрыми мазками:

1. Поверхности помещений постоянного пребывания персонала и наружные поверхности находящегося в них оборудования - $8{,}0 \cdot 10^2$ Бк/см^2.

2. Поверхности помещений периодического пребывания в них персонала и наружные поверхности находящегося в помещении оборудования - $8{,}0 \cdot 10^3$ Бк/см^2.

3. Наружная поверхность дополнительных средств индивидуальной защиты (пластиковой, резиновой и т.п.), снимаемой в саншлюзах - $8{,}0 \cdot 10^3$ Бк/см^2.

4. Поверхности помещений персонала группы Б и поверхности передаваемого (для ремонта, наладки и т.п.) им оборудования - $2{,}0 \cdot 10^2$ Бк/см^2.

5. Поверхности оборудования, готовой продукции, инструмента и т.д., передаваемого в бесконтрольное использование $\leq 20{,}0$ Бк/см^2.

Загрязненные поверхности представляют также опасность как источники контактного загрязнения спецодежды и открытых частей кожи тела человека. С загрязненной кожи оксид трития может проникать внутрь организма и представлять опасность для человека.

Поступление оксида трития в организм изучалось экспериментально в лабораторных и производственных условиях.

В лабораторных условиях оксид трития в виде капель воды наносился на ладони человека (добровольца-испытателя) равномерно расширялся по коже двух ладоней. При проведении этих опытов определялось поступление оксида трития в организм человека. Получено, что в организм человека поступает 12,2 % от нанесенной активности. Однако эту величину активности трития следует считать заниженной, так как часть нанесенной активности теряется *на испарение при растирании. Оксид трития сравнительно быстро проника*ет в организм человека. Через 0,5–1,0 часа на коже рук остается 1–2 % от равномерно нанесенной на нее активности.

В производственных условиях кожа ладоней рук загрязнялась за счет контакта с технологическим, загрязненным оксидом трития, оборудованием. Получено, что в организм человека в среднем поступает 17% оксида трития, с поверхности кожи рук, измеренное на руках методом влажных мазков - 15,5% активности, измеренной на загрязненных поверхностях (вентили вакуумных систем с тритием).

Коэффициент снятия мокрого мазка с вентиля составляет 0,5, а коэффициент снятия активности НТО не защищенной рукой за время контакта руки с вентилем (открытие или закрытие его) несколько выше и составляет 0,6.

Эксперименты проводились на персонале, работающем по обслуживанию и ремонту тритиевых вакуумных систем, состоящих из титановых, урановых ловушек с тритием, трубопроводов и емкостей для хранения трития, расположенных в вытяжных шкафах. Загрязнение воздушной среды внутри вытяжных шкафов составляло ($1{,}0 \cdot 10^{-8}$–$1{,}8 \cdot 10^{-6}$) Ки/л. Загрязнение внешних поверхностей (ловушки, емкости с тритием, трубопроводы, инструмент и т.д.) от $1{,}9 \cdot 10^{-8}$ Ки/см^2 до $6{,}5 \cdot 10^{-8}$ Ки/см^2, в среднем $4{,}0 \cdot 10^{-8}$ Ки/см^2. При этом поверхность рукоятки вентиля принималась равной 100 см^2.

За время работы в течение одной смены производится 30–50 контактов с загрязненной поверхностью (одной рукой).

Проведем расчет допустимого загрязнения поверхностей оксидом трития, при измерении загрязнения их методом влажных мазков, для следующих условий:

- поступление трития в организм за счет контакта с загрязненными поверхностями не превышает 20 % от $ПГП_{ПЕРС}$ ($1\ ПГП_{ПЕРС} = 1{,}1$ Бк/год);
- количество рабочих смен, при продолжительности смены для пятидневной рабочей

недели 7,2 часа, в год составляет 1700 ч / 7,2 ч = 236 смен ($П_{см}$ = 236);

- количество контактов с загрязненным оборудованием в смену одной рукой - $П_к$ = 30–50, среднее $\bar{П}_к$ = 40 контактов в смену;
- коэффициент снятия активности при контакте руки с оборудованием - $К_{сн}$ = 0,6;
- контактирующая поверхность одной руки р = 150 см^2;
- доля активности, поступающая с руки, загрязненной контактным путем, составляет $А_Р^{ОРГ}$ = 0,18.

Величина допустимой плотности загрязнения оборудования, которым производится загрязнение рук, $А_{доп}$ может быть найдено по соотношению:

$$А_{доп} = \frac{0{,}2 \times ПГП_{ПЕРС}}{П_{см} \times \bar{П}_к \times К_{сн} \times S_Р \times А_Р^{ОРГ}}, \qquad (Б.1)$$

После подстановки численных значений, найдем Адоп = 1439 Бк/см^2.

Рекомендуем принять допустимый уровень загрязнения поверхностей, с которыми может происходить многократный контакт в течение рабочей смены рук работающих, приводящий при ежедневной работе к поступлению оксида трития в организм $2{,}2 \cdot 10^8$ Бк/год, равным $1{,}4 \cdot 10^3$ Бк/см^2. При таком допустимом уровне поступление трития в организм в течение года будет значительно ниже 1 % от $ПГП_{ПЕРС}$.

Измерение этого уровня рекомендуется производить с помощью влажных мазков.

Допустимый уровень загрязнения кожи рук после дезактивации можно рекомендовать принять 14 Бк/см^2, т.е. примерно в 100 раз ниже допустимого уровня загрязнения поверхностей. Такой уровень приведет к поступлению трития в организм в течение года значительно ниже 1% от $ПГП_{ПЕРС}$.

Но этот норматив практически невозможно измерить, так как цикл времени измерения методом влажных мазков составляет около 3 часов, а поступление трития в организм с кожи рук значительно меньше этого времени.

Б.2. Разработка допустимых уровней по скорости натекания оксида трития в воздух рабочего помещения.

Скорость выделения трития в воздух рабочего помещения можно измерять ионизационным методом, который менее трудоемкий и более оперативный по сравнению с методом влажных мазков. Кроме того, этот норматив более представителен для оценки вклада загрязненных поверхностей в загрязнение воздуха рабочих помещений.

Для расчета допустимых скоростей натекания оксида трития из загрязненных поверхностей принимаем следующие исходные данные:

- загрязненные тритием поверхности вносят вклад в объемную активность НТО в воздухе рабочих помещений не выше 0,1 $ДОА_{ПЕРС}$;
- приточно-вытяжная вентиляция обеспечивает 10 кратный обмен воздуха в помещении за 1 час;
- площадь поверхностей рабочего помещения (пол, потолок, стены) вместе с наружными поверхностями установленного в нем оборудования ($S_{ПОВ}$) численно равна объему помещения ($V_П$).

Тогда допустимая скорость натекания оксида трития ($q_{доп}$) будет равна:

$$q_{доп} = \frac{10 \cdot V_П \cdot 0{,}1ДОА_{ПЕРС}}{S_{ПОВ}}. \qquad (Б.2)$$

В качестве примера, для расчетов, берем помещение объемом $V_П$ = 200 м^2 и площадь поверхностей $S_{ПОВ}$ = 200 м^2.

Подставив численные значения, определим $q_{доп}$:

$q_{доп}$ = (2000 м^3/ч · $4{,}4 \cdot 10^4$ Бк/м^3) / $2 \cdot 10^6$ см^2 = 44 Бк/(см^2·ч)

На основании проведенных расчетов рекомендуем следующие допустимые уровни скорости выделения оксида трития в воздух рабочих помещений, измеряемые ионизационным методом.

1. Поверхности помещений постоянного пребывания персонала и наружные поверхности установленного в них оборудования - 40 Бк/(см^2/ч).

2. Поверхности помещений периодического пребывания в них персонала и наружные поверхности находящегося в помещении оборудования - 4,0·10^2 Бк/(см^2·ч).

3. Поверхности помещений персонала группы Б и поверхности передаваемого в эти помещения оборудования - 10 Бк/(см^2·ч).

4. Поверхности оборудования, готовой продукции, инструмента и т.п., передаваемого в бесконтрольное пользование (при отсутствии дозиметрического контроля) - 2,0 Бк/(см^2·ч).

Приложение В (Обязательное) Рекомендуемые значения допустимых уровней загрязнения рабочих поверхностей, кожи, средств индивидуальной защиты оксидом трития

Таблица В.1. *Рекомендуемые значения допустимых уровней загрязнения рабочих поверхностей, кожи, средств индивидуальной защиты оксидом трития*

Объект загрязнения	Допустимые уровни, единицы измерения	
	Нефиксированное (снимаемое загрязнение)* Бк/см^2	Десорбция трития из поверхностей** Бк/(см^2·ч)
Поверхности помещений постоянного пребывания персонала и находящегося в них оборудования	8,0·10^2	40,0
Поверхности помещений периодического пребывания персонала и находящегося в них оборудования	8,0·10^3	4,0·10^2
Наружные поверхности дополнительных средств индивидуальной защиты из пластических, прорезиненных и пластикатных материалов снимаемых в саншлюзах	8,0·10^3	-
Поверхности помещений постоянной работы персонала группы Б и находящегося в них оборудования (механические мастерские и др. вспомогательные помещения тритиевого производства)	2,0·10^2	10,0
Поверхности оборудования, готовой продукции, инструмента и т.п., передаваемые в бесконтрольное использование	20,0	2,0
Поверхности вакуумных систем, содержащих тритий (урановые, титановые ловушки, трубопроводы, вентили и др.), управляющие элементы основного технологического оборудования, с которыми постоянно контактирует оператор в процессе работы	1,4·10^3	-
Кожа тела человека (руки) после дезактивации	4	-
Примечания: * - *контролируется методом влажных мазков*; ** - *контролируется скорость десорбции (натекания) оксида трития в замкнутый объем, измеряемая ионизационным методом*		

Приложение Г (Рекомендуемое)
Измерение загрязнения поверхностей оксидом трития методом мазков

Конкретная для предприятия МВИ должна быть изложена в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.563, МИ 3277 и аттестована.

Г.1. Принцип метода.

Г.1.1. Метод мазков - это способ измерения уровней радиоактивной загрязненности поверхностей снятой с контролируемой поверхности контактным путем на сорбент. Уровень загрязнения поверхности оксидом трития в месте отбора проб определяется по формуле:

$$A_S = A_m / K_m \cdot S_m, \text{ Бк} / \text{см}^2 \qquad (Г.1)$$

где: A_S - удельное загрязнение поверхности, Бк /см^2; A_m - активность мазка, Бк; K_m - коэффициент снятия мазка, т.е. доля активности, перешедшая с измеряемой поверхности на мазок контактным способом, отн. ед.; S_m - площадь с которой отобран мазок, см^2.

Г.1.2. Таким образом, для того, чтобы определить загрязнение поверхности методом мазков необходимо:

- отобрать мазок с фиксированной поверхности S;
- измерить активность мазка;
- при известном коэффициенте снятия (K_m) удельная загрязненность поверхности оксидом трития рассчитывается по формуле (Г.1) .

В качестве сорбента используются следующие материалы: фильтровальная бумага, хлопчатобумажная ткань, марля, ватные тампоны.

Различают методы сухих и влажных мазков. При отборе пробы методом влажного мазка сорбент смачивают в жидкостях, способствующих большей эффективности снятия активности с контролируемой поверхности, т.е. увеличением коэффициента снятия мазка.

Для контроля загрязнения поверхности оксидом трития в качестве смачивающих жидкостей рекомендуются следующие: дистиллированная вода, водно-спиртовые смеси, жидкие сцинтиллирующие растворы, используемые для измерения активности трития в жидкостных сцинтилляционных счетчиках.

Экспериментально показано, что коэффициент снятия мазка практически не зависит от материала при помощи которого отбирается мазок. Поэтому для контроля загрязнения поверхностей тритием рекомендуются более доступные материалы: марля, вата.

Коэффициент снятия мазка зависит от условий загрязнения, материала и состояния поверхности. Определение коэффициента снятия рекомендуется производить экспериментально. Обычно коэффициент снятия сухого мазка в 3–5 раз ниже коэффициента снятия влажного мазка. Поэтому для определения загрязнения поверхностей тритием рекомендуется отдавать предпочтение методу влажных мазков.

Нами, в тритиевом производстве, экспериментально определялся коэффициент снятия влажных водно-спиртовых (50 на 50) % мазков со следующих материалов: железо, нержавеющая сталь, алюминий, керамическая пленка, пластикат. При этом получено, что коэффициент снятия мазка для этих материалов не зависит от вида материала и составляет в среднем K=0,5.

Г.2. Проведение контроля методом влажных мазков.

Контроль загрязнения поверхностей оксидом трития методом мазков можно разбить на следующие этапы: подготовки мазков для взятия пробы, отбор пробы при помощи мазка, измерение активности отобранной пробы и определение удельной загрязненности пробы.

Г.2.1. Подготовка мазков.

Для массового отбора проб методом влажных мазков необходимо приготовить ватные тампоны размером 4×5 см толщиной до 0,5 мм и намотать его на державку из проволоки диаметром (10–12) мм или марлевые ленты размером 4×25 см, также намотать в 2–3 слоя

на державку диаметром (10–12) мм и поместить мазки с державками в медицинские пробирки таким образом, чтобы верхняя часть державки не доходила до верхнего торца пробирки на 20–30 мм.

Выбрать смачивающую жидкость (вода, водно-спиртовый раствор, жидкий сцинтиллятор) и залить определенное количество жидкости (V_o) в медицинские пробирки с подготовленными тампонами. Объем смачивающей жидкости должен превышать на 10–20% объем пробы, вводимой в жидкий сцинтиллятор при подготовке счетного образца и материал сорбента мазка (марля, вата, марля) должен полностью погрузиться в жидкость. Пробирки с подготовленными мазками закрываются резиновыми пробками и маркируются.

Одновременно с рабочими мазками готовится 3–5 мазков, используемых при измерениях в качестве «фоновых».

Мазки готовятся в чистом, не загрязненном тритием помещении, непосредственно перед отбором проб (за 2–3 часа до отбора). Переноска мазков производится в специальных чемоданах раздельно - чистые и грязные (после отбора пробы).

Г.2.2. Отбор проб с помощью мазка.

Мазок рекомендуется отбирать с площади не менее 100 $см^2$ (10×10 или 8×12,5). Площадь отбора мазка оконтуривается с помощью трафарета из проволоки или каким-либо другим способом.

Отбор мазков производится следующим образом:

- открывают пробирку и с помощью пинцета выдвигают из нее свободную часть державки, оставляя материал мазка (вата, марля) внутри пробирки;
- материал мазка отжимают о стенки пробирки и извлекают полностью для проведения пробоотбора. Пробирка закрывается пробкой;
- отжатый тампон прижимают к углу контролируемого участка поверхности и параллельно одному из краев выбранного участка перемещают, одновременно вращая мазок так, чтобы пройти тампоном один раз всю выбранную поверхность и при этом использовать всю поверхность мазка;
- тампон мазка снимается с державки (или вместе с державкой) помещается в пробирку и закрывается пробкой. Пробирка помещается в чемодан для грязных мазков.

Для исключения сорбции оксида трития из воздуха рабочих помещений время нахождения мазка на воздухе после извлечения из пробирки должно быть минимальным, необходимым только для отбора пробы.

Аналогичные операции, за исключением отбора пробы, проводятся с фоновыми мазками: извлечение из пробирки, отжимание жидкости и, вместо отбора проб, выдержка на воздухе в течение времени, необходимого для отбора проб. После этой операции фоновые мазки помещаются в пробирку, закрываются пробкой и транспортируются в чемодане для чистых проб.

Г.2.3. Измерение активности отобранной пробы.

Измерение активности пробы включает:

- подготовку счетных образцов;
- измерение счетных образцов на жидкостном сцинтилляционном счетчике.

Г.2.3.1. Подготовка счетных образцов производится следующим образом:

- после отбора пробы пробирка с (ватным, марлевым) тампоном выдерживается в течение времени, необходимого для равномерного распределения оксида трития в жидкости и равно примерно 20–30 мин для более полного извлечения окиси трития из материала мазка; желательно энергичное встряхивание пробирки 2–3 раза за время выдержки;
- из пробирки отбирается жидкость в количестве ($V_{ПР}$), необходимом для измерения на жидкостном сцинтилляционном счетчике и переносится в измерительную кювету;
- кювета заполняется жидким сцинтиллятором;
- если в качестве смачивающей жидкости использовался жидкий сцинтиллятор, то он полностью переносится в измерительную кювету и кювета доливается чистым сцинтиллятором;
- аналогично готовится фоновый образец из фоновых мазков;

- готовится стандартный счетный образец такого же состава по объему компонентов как счетный и фоновый образцы с добавлением стандартного раствора тритиевой воды (СОТВ).

Г.2.3.2. Измерение удельной (объемной) активности мазков A_m производится сравнением скорости счета счетного и стандартного образцов.

Объемная активность пробы мазка A_m вычисляется по формуле:

$$A_M = A_{CT}\frac{n_{ПР} - n_Ф}{n_{CT} - n_Ф}, \text{ Бк/см}^2 \qquad (Г.2)$$

где: A_{CT} - объемная активность стандартного (счетного) образца, Бк/см^3; $n_{ПР}$, $n_Ф$, n_{CT} - скорость счета пробы мазка, фонового и стандартного образцов, соответственно, имп./сек$^{-1}$.

Результат выдается в виде: $A_m \pm \delta_M$, где: δ_M - относительная погрешность определения A_M в доверительном интервале 95%.

Г.2.3.3. Определение активности отобранной пробы и уровня загрязнения поверхности.

Активность отобранной пробы измеряется следующим образом:

$$A_M = A_m \cdot v_o, \quad \text{Бк} \qquad (Г.3)$$

где: v_o - объем жидкости, введенный в пробирку при подготовке мазков, см^3.

Удельное загрязнение поверхности A_S определяется по формуле Г.1.

Относительная погрешность определения удельной загрязненности поверхности в доверительном интервале 95% оксидом трития определяется по формуле:

$$\delta_{A_S} = \sqrt{\delta_M^2 + \delta_{V_0}^2 + \delta_{K_m}^2 + \delta_S^2}, \% \qquad (Г.4)$$

где: δ_M - относительная погрешность определения объемной активности трития в пробе (A_M), %; δ_{Vo} - относительная погрешность определения, %; δ_{Km} - относительная погрешность определения коэффициента снятия мазка, %; δ_S - относительная погрешность определения площади, с которой берется мазок.

Все погрешности берутся с доверительным интервалом 95 %.

Практически, при использовании мерной посуды высокого класса точности и используя трафарет для ограничения поверхности отборов проб мазка с малыми допусками можно добиться, что погрешности δ_{Vo}, δ_S будут достаточно малыми (2–5)% и ими можно будет пренебречь по сравнению с погрешностями определения удельной активности пробы δ_M и коэффициента снятия мазка δ_{Km}. Тогда относительная погрешность определения загрязнения поверхности можно вычислять по формуле:

$$\delta_{A_S} = \sqrt{\delta_M^2 + \delta_{K_m}^2}, \% \qquad (Г.5)$$

Минимальное регистрируемое загрязнение поверхности методом мокрых мазков по описанной методике, при минимально измеряемой удельной объемной активности в жидкости мазка, равной 1,0 Бк/см^3 ($1 \cdot 10^3$ Бк/л), составляет примерно 0,2 Бк/см^2.

Приложение Д (Рекомендуемое)
Экспериментальное определение коэффициента снятия влажного мазка

Экспериментально показано, что коэффициент снятия мазка практически не зависит от сорбента (основа мазка - хлопчатобумажная ткань, молескин, марля, вата), но может значительно отличаться в зависимости от материала и состояния поверхности, условий загрязнения ее и т.д. Поэтому для конкретных производственных условий, типа поверхностей рекомендуется экспериментальное определение коэффициента снятия мазка.

Коэффициент снятия мазка для определенного материала поверхности определяют следующим образом.

В соответствии с методикой (приложение Г) с фиксированной площадки (100 см^2) производится последовательное снятие влажных мазков до тех пор, пока активность последнего мазка не будет превышать 5 % от активности первого мазка.

По сумме активности отдельных мазков оценивают суммарное нефиксированное заг-

рязнение тритием поверхности площадки и определяют коэффициент снятия - отношение активности, снятой первым мазком, к сумме активности, снятой всеми мазками с выбранной площадки.

Определение коэффициента снятия мазка рекомендуется производить следующим образом:

Д.1. Выбор необходимого количества мазков для определения снятия суммарной активности:

- выбирают 3–5 экспериментальных площадок в помещении;
- готовят, в соответствии с методикой приложения Г, по 8–10 мазков на каждую площадку;
- производят последовательное снятие активности на каждой площадке мазками (1, 2, -$n_{МАЗОК}$);
- измеряют активность каждого мазка на установке с жидким сцинтиллятором и определяют номер мазка (n_i), активность которого менее 5 % от первого мазка;
- определяют среднее арифметическое из (n_{oi}) по 3–5 экспериментальным площадкам ($\bar{n}_o$).

Д.2. Определение коэффициента снятия активности загрязненных поверхностей первым мазком (K_m) производится следующим образом:

- выбирают в рабочем помещении m_o = (10–15) экспериментальных площадок;
- с каждой площадки последовательно отбирается $\bar{n}_o$ мазков;
- измеряется активность каждого мазка на определенной площадке и определяется суммарная активность, снятая мазками (A_{mi}) по формуле:

$$A_{mi} = \sum_{k=1}^{n_o} (A_{mi-nk}) + A_{mi-no}, \qquad (Д.1)$$

где A_{mi} - суммарное загрязнение площадки m_i, i - номер площадки (от 1 до m_o); A_{mi-nk} - активность k-мазка m_i-й площадке изменяется от 1 до n_o; A_{mi-no} - учитывает оставшуюся активность, не снятую последним мазком, численно равную активности последнего (n_o) мазка;

- определяется коэффициент снятия мокрого мазка на каждой площадке K_{mi} по формуле:

$$K_{mi} = A_{mi-n1}/A_{mi}, \qquad (Д.2)$$

где: A_{mi-n1} - активность 1-го мазка на площадке m_i.

Д.3. Обработка результатов экспериментального определения коэффициента снятия первого мазка проводится следующим образом:

Вычисляем среднее арифметическое коэффициента снятия ($\bar{K}_m$) по формуле:

$$\bar{K}_m = (\sum_{i=1}^{m_o} K_{mi})/m_o. \qquad (Д.3)$$

Определяем абсолютную ошибку среднего арифметического $\Delta\bar{K}_m$ и отдельного измерения ΔK_{mi} по формулам:

$$\Delta\bar{K}_m = \pm\sqrt{\sum_{k=1}^{m_o}(K_{mi} - K_m)^2 \Big/ m(m-1)}, \qquad (Д.4)$$

$$\Delta K_{mi} = \sqrt{m} \times \Delta\bar{K}_m, \qquad (Д.5)$$

Относительные погрешности $\delta\bar{K}_m$ и $\delta\bar{K}_m$ в доверительном интервале 95 % будут равны:

$$\delta(\bar{K}_m) = t_{CT}\frac{\Delta\bar{K}_m}{\bar{K}_m}, \qquad (Д.6)$$

$$\delta(\bar{K}_{mi}) = t_{CT} \frac{\Delta \bar{K}_{mi}}{\bar{K}_m}, \qquad (Д.7)$$

где: t_{CT} - критерий Стьюдента, зависящий от числа степеней свободы f = m–1, равный для уровня значимости 0,05 (доверительный интервал 95 %), смотри таблицу Д.1.

Таблица Д.1

f	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
t_{CT}	2,31	2,26	2,23	2,20	2,18	2,16	2,15	2,13	2,12	2,11	2,10	2,09

При проведении отдельных измерений в расчетах использовать относительную погрешность отдельного измерения.

Приложение Е (Рекомендуемое)
Методы измерения скорости десорбции трития и его оксида с загрязненных поверхностей радиометрами газов

Е.1. Это наиболее простые в аппаратурном оформлении методы, позволяющие оперативно производить контроль загрязнения тритием (НТ) и его оксидом (НТО) на больших по размерам загрязненных поверхностях с использованием радиометров газов приведенных в п.8.2 настоящих МУ.

Е.1.1. Можно рассматривать два метода, отличающиеся по аппаратурному оформлению, оперативности контроля и достоверности полученных результатов:

- метод течеискателя (отсоса), при котором десорбируемая с поверхности активность отсасывается в ионизационную камеру радиометра газов;
- метод выделения десорбированной активности в замкнутую емкость с последующим измерением активности трития радиометром газов.

Е.1.2. С учетом того, что в воздухе рабочих помещений тритий может находиться как в виде НТ и НТО примерно в соотношении 1:1, а рекомендуемое допустимое загрязнение приведено только для трития в форме НТО, то рекомендуется следующий порядок измерения загрязнения поверхностей тритием:

- при измерении суммарного выделения трития (НТ+НТО) с загрязненных поверхностей получено, что если q_Σ не превышает 50% от рекомендованного допустимого уровня (по НТО), то измерения скорости десорбции НТО можно не проводить и считать, что уровень загрязнения поверхностей составляет q_Σ;
- при превышении q_Σ 50% от допустимых уровней необходимо дополнительно измерять скорость десорбции НТО загрязненными поверхностями.

Е.2. Для проведения измерений в соответствии с методикой необходимо изготовление специальных насадок - накопительных емкостей и влагопоглотителя, предназначенного для поглощения влаги из прокачиваемого через ионизационную камеру воздуха из накопительной емкости.

Е.2.1. Накопительные емкости - конструктивно выполненные в виде ящика, конуса с открытым дном или герметичные, имеющие два штуцера для обеспечения прокачки воздуха, в режиме рециркуляции, через накопительную емкость и ионизационную камеру. В некоторых случаях может использоваться емкость с одним штуцером. Внутренний объем накопительных емкостей, ограниченных измеряемой поверхностью и корпусом накопительной емкости, по возможности, следует выбирать минимальными.

Е.2.2. Влагопоглотитель. Корпус рекомендуется выполнять в виде разборного цилиндра (крышка и корпус), торцы которого в виде конусов заканчиваются входным и выходным штуцерами с вакуумными вентилями. Цилиндрическая часть поглотителя заполняется цеолитом марки NaA. Для исключения попадания цеолита в конусную часть в конце цилиндрической части корпуса и в крышке должны быть укреплены сетки с размером ячейки не бо-

лее 1,5×1,5 мм. После заполнения цеолитом и сборки его (подсоединение крышки, закрытие вакуумных вентилей), для исключения поступления влаги из атмосферного воздуха должна быть обеспечена полная герметичность поглотителя.

Рекомендуются следующие размеры цилиндрической части поглотителя: диаметр - (40–50) мм, длина - (150–200) мм. Это обеспечивает размещение в поглотителе (200–400) $см^3$ цеолита, что достаточно для полного (более 99 %) поглощения влаги (H_2O+НТО) в количестве (25–40) г или в воздухе при абсолютной влажности 10 $г/м^3$ (относительная влажность 65 % при 18 °С или 50 % при 23 °С) объемом (2,0–4,0) $м^3$. После этого из цеолита влагопоглотителя необходимо десорбировать поглощенную влагу.

Е.2.3. Доработка пробоотборной системы.

Для удобства проведения измерений и сокращения времени контроля рекомендуется провести следующую доработку пробоотборной системы:

- на гибком шланге, подсоединенном к входному штуцеру ионизационной камеры, примерно посередине, установить вакуумный вентиль;
- параллельно вентилю подключить влагопоглотитель.

Е.3. Принцип метода.

Определение скорости десорбции трития (НТ) и его оксида (НТО) загрязненных поверхностей реализуется следующим образом:

- при открытом вентиле на шланге и закрытых - на влагопоглотителе измеряется содержание трития в воздухе на месте загрязнения поверхностей $A_{\Sigma\Phi}$;
- накопительная емкость устанавливается на загрязненной поверхности и после выдержки в течение времени $t_{ЭКС}$, включается насос ионизационной камеры и, в режиме рециркуляции в течение времени ($t_{\Sigma РЕЦ}$), производится равномерное перемешивание воздуха в накопительной емкости и ионизационной камере. Измеряется суммарная активность $A_\Sigma = A_{НТ} + A_{НТО}$, десорбированная в накопительную емкость;
- закрывается вентиль на гибком шланге и открывается вентиль на влагопоглотителе. Аналогично производится измерение активности трития в ионизационной камере $A_{НТ}$, затем измеряется фон $A_{НТФ}$;
- скорость десорбции $q_{НТ}$ и $q_{НТО}$ вычисляются по формулам:

$$q_\Sigma = \frac{V_{ЕМК} + V_К}{V_К} \frac{(A_\Sigma - A_{\Sigma\Phi})}{S \cdot (t_{\Sigma ЭКС} + 0{,}5 \cdot t_{\Sigma РЕЦ})}, \text{ Бк}/(\text{ч} \cdot \text{см}^2) \qquad \text{(Е.1)}$$

$$q_{НТ} = \frac{V_{ЕМК} + V_К}{V_К} \frac{(A_{НТ} - A_{НТФ})}{S \cdot (t_{НТЭКС} + 0{,}5 \cdot t_{НТРЕЦ})}, \text{ Бк}/(\text{ч} \cdot \text{см}^2) \qquad \text{(Е.2)}$$

$$q_{НТО} = q_\Sigma - q_{НТ}, \text{ Бк}/(\text{ч} \cdot \text{см}^2) \qquad \text{(Е.3)}$$

где: q_Σ, $q_{НТ}$, $q_{НТО}$ - скорость десорбции суммарной, трития и оксида трития, соответственно, Бк/час·$см^2$; $V_{ЕМК}$, $V_К$ - объем накопительных камер, соответственно, л; S - площадь поверхности, ограниченная накопительной емкостью, соответственно, $см^2$; $t_{\Sigma ЭКС}$, $t_{\Sigma РЕЦ}$, $t_{НТЭКС}$, $t_{НТРЕЦ}$ - время десорбции и рециркуляции при измерении A_Σ и $A_{НТ}$, соответственно, ч.

Е.4. Метод течеискателя.

Е.4.1. Наиболее простой и оперативный метод, применяемый при исследовании загрязнения поверхностей (пол, оборудование и т.п.), а также для контроля хлопчатобумажной спецодежды во время работы или по ее окончании непосредственно на человеке.

Е.4.2. Метод реализуется путем подсоединения к входному (всасывающему) штуцеру ионизационной камеры специальной насадки (воронки) диаметром ≈ 150 мм, с помощью которой отсасывается воздух с измеряемой поверхности. Измерения проводят следующим образом:

- при открытом вентиле на гибком шланге и закрытых - на влагопоглотителе измеряется концентрация трития в воздухе на высоте ≈ 0,5 м от пола вблизи от места проведения измерения $A_{\Sigma\Phi}$;
- воронка подносится к измеряемой поверхности на расстояние ≈ 5,0 мм (для обеспечения этого расстояния на краях воронки можно установить 3–5 ножек высотой ≈ 5 мм, для

пола и оборудования) или вплотную (хлопчатобумажные одежда и другие мягкие ткани) , включается насос прокачки воздуха на время достижения установившихся показаний измерительного прибора (прокачка примерно 3-х кратного объема камеры, время прокачки $t_{ПР} = 3V_К / v_П$) и производится измерение суммарной десорбированной активности $A_Σ$ в камере;

- при открытом вентиле на гибком шланге и закрытых на влагопоглотителе аналогично измеряется активность десорбированная с поверхности трития $A_{НТ}$ и фон $A_{НТФ}$;

- скорости десорбции трития и его оксида (НТО) вычисляется по формулам:

$$q_Σ = \frac{(A_Σ - A_{ΣФ})}{S \times t_{ИЗМ}}, \text{ Бк/(ч·см}^2) \qquad (Е.4)$$

$$q_{НТ} = \frac{(A_{НТ} - A_{ΣФ})}{S \times t_{ИЗМ}}, \text{ Бк/(ч·см}^2) \qquad (Е.5)$$

где: $q_Σ$, $q_{НТ}$ - скорость десорбции суммарная (НТ+НТО) и НТ, соответственно, Бк /(ч·см^2); $A_Σ$, $A_{НТ}$ - десорбированная активность трития в камере, суммарная (НТ+НТО) и НТ, соответственно, Бк; S - измеряемая поверхность, ограниченная воронкой, см^2; $t_{ИЗМ} = V_К / v_П$ - время абсорбции трития в камеру объемом $V_К$, ч; $v_П$ - производительность насоса, л/ч.

Скорость десорбции НТО ($q_{НТО}$) вычисляется по формуле Е.3.

Е.4.3. Метод позволяет сравнительно быстро произвести измерение поверхностей во многих точках. Но так как точно не определена поверхность, с которой отбирается выделяющийся тритий, вследствие подсоса за пределами воронки, погрешность метода может достигать 50% и более. Поэтому при обнаружении загрязнения выше допустимых уровней рекомендуется проводить проверку результатов измерения другими методами.

Е.5. Методы, основанные на измерении десорбции трития с фиксированной поверхности в замкнутые емкости, оборудованные двумя штуцерами.

Е.5.1. Можно рассматривать два варианта методов основанных на :

- измерении трития за время экспозиции $t_{ЭКС}$ в накопительной емкости без дна;

- измерении трития, выделившегося из изделия, выдержанного в герметичной емкости в течение времени $t_{ЭКС}$.

Е.5.2. Первый метод рекомендуется применять для измерения загрязнения поверхностей в рабочих помещениях. Поверхность накопительной емкости и время экспозиции выбираются с учетом величины десорбированной активности, которую необходимо измерять, и чувствительности радиометра. Объем накопительной емкости ($V_{ЕМК}$) для уменьшения времени рециркуляции при измерении желательно выбирать минимальным (меньше объема ионизационной камеры).

При измерении времени накопления активности емкости $V_{ЕМК}$ должно быть значительно больше времени перемешивания $t_{РЕЦ}$, то есть $t_{ДЕС} >> t_{РЕЦ}$. При $V_К > V_{ЕМК}$ время $t_{РЕЦ}$ определяется как $t_{РЕЦ} = 2 V_{ЕМК} / v_П$, где $v_П$ - производительность насоса, л/ч.

Е.5.3. Метод измерения скорости десорбции трития с поверхностей помещенных в герметичную емкость:

- здесь, в качестве, накопительной герметичной емкости рекомендуется выбирать металлическую емкость из слабосорбирующего тритий материала.

Для малых времен экспозиции (порядка 20–30 мин) можно в качестве емкостей использовать пластикатовые мешки (полиэтилен).

Объем емкости выбирается, исходя из размеров измеряемых деталей оборудования.

Этот метод измерения загрязнения поверхностей может проводиться в лабораторном помещении при сравнительно низком содержании трития в воздухе рабочего помещения. Кроме того, время выдержки деталей, инструмента, изделий при реализации этого метода практически не ограничивается. В результате чего можно измерять очень низкие скорости десорбции трития. Поэтому метод рекомендуется применять для измерения загрязнения поверхностей деталей, инструмента, изделий, передаваемых в бесконтрольное использование.

Е.5.4. Порядок измерения скорости десорбции НТ и НТО загрязненными поверхностями

в накопительной емкости без дна и герметичные, а также расчет скоростей десорбции $q_{НТ}$, $q_{НТО}$ производится аналогично разделу Е.3.

Приложение Ж (Рекомендуемое)
Определение загрязненности тритием поверхностей по тормозному излучению

В рассматриваемом методе количество трития в поверхностном слое материала (металл, стекло, пластик, бетон и др.) определяют по скорости счета тормозного излучения, обусловленного β-частицами трития.

Тормозное излучение β-частиц трития детектируется гейгеровскими счетчиками с толщиной окна 3–5 мг/см^2 или сцинтилляторами (NaJ, CsJ) толщиной 1–2 мм с бериллиевым окном.

Поэтому для измерения поверхностного загрязнения тритием могут быть использованы дозиметрические и радиометрические приборы (установки) с указанными выше детекторами и предназначенные для измерения β- и γ-излучений. При этом требуется соответствующая калибровка приборов применительно к тормозному излучению β-частиц трития.

Интенсивность тормозного излучения пропорциональная количеству трития в поверхностном слое материала. Для пленочных материалов, толщиной 10^{-3}–10^{-1} см, интенсивность тормозного излучения пропорциональна содержанию трития в образце материала:

$$Q = k \cdot N, \qquad (Ж.1)$$

где: Q - количество трития в образце (в поверхностном слое), Ки(Бк); N - скорость счета тормозного излучения, имп./мин (имп./с); k - коэффициент пропорциональности для данного материала (поверхности).

В общем случае значение k зависит от атомного номера материала (Z), чувствительности регистрирующей аппаратуры, геометрии измерения, толщины материала и равномерности распределения трития по толщине. Следовательно, задача калибровки приборов для измерения трития по тормозному излучению сводится к определению значения k для исследуемых (подлежащих контролю) материалов.

С целью определения k для некоторых пленочных материалов (см. таблицу) изучена зависимость N от Q. Образцы исследованных материалов диаметром 3 см^2 выдерживались 24–48 ч в атмосфере паров НТО с концентрацией тритием 10^{-1} Ки/л. После экспозиции регистрировали тормозное излучение образцов на установке Б-2 с торцевым счетчиком СИ-2Б, помещенным в свинцовый домик ДС-000. Затем образцы помещали в пробирки с фиксированным объемом дистиллированной воды, где они вымачивались от 0,5 ч до 6 суток. После вымачивания образцы сушили фильтровальной бумагой, вновь измеряли их по тормозному излучению и помещали в другие пробирки с водой. Эти операции продолжали до тех пор, пока скорость счета тормозного излучения образцов становилась $\sim 3\sqrt{N_Ф}$, где $N_Ф$ - фон установки, имп/мин. Для определения остаточной активности трития в образцах их сжигали в вакууме, после чего вымораживали выделившуюся НТО.

Воду, оставшуюся после вымачивания и сжигания образцов, анализировали на установке с жидким сцинтиллятором, которая градуировалась эталонной НТО с погрешностью ±10 %. Количество трития, выделившегося из образца, определяли по его концентрации в воде; оно соответствовало уменьшению скорости счета между двумя вымачиваниями образца. Суммарному количеству трития соответствовала начальная скорость счета, определяемая после экспозиции. Экспериментальная зависимость N = f(Q) для некоторых материалов приведена на рис.Ж.1.

В экспериментах значения Q изменялись от 10^{-5} до 10^{-1} Ки, а N - от 20 до $7 \cdot 10^4$ имп/мин. Одновременно исследовали 4–8 образцов из одного и того же материала, для каждого материала определяли 8–26 значений Q_i и N_i.

Из соотношений Q_i / N_i определены экспериментальные значения коэффициентов про-

порциональности $k_Э$ для исследованных материалов, среднеарифметические значения которых представлены в таблице Ж.1. Значения $k_Э$ в пределах от $7{,}0 \cdot 10^{-7}$ (фторопласт-26) до $3{,}1 \cdot 10^{-6}$ (резина «Каландр»). Среднеквадратичная ошибка в определении $R_Э$ составляет 9–25%.

Поскольку k в соотношении (Ж.1) зависит от нескольких факторов (см. выше), то полученные значения $k_Э$ справедливы только для конкретных условий калибровки (в этом случае $k = k_Э$). При этом в $k_Э$ уже учтена зависимость от Z (состав материала), который определяет интенсивность тормозного излучения.

Если предположить, что тритий (в форме НТО) распределен равномерно по толщине материала, то N в зависимости от толщины можно определить соотношением:

$$N = \frac{N_0}{\mu \cdot d}(1 - e^{-\mu d}), \qquad (Ж.2)$$

где: N_o - скорость счета тормозного излучения без учета поглощения в материале (для бесконечно тонкого слоя); d - толщина материала; μ - коэффициент поглощения.

Поскольку $N_o = Q / R_Э$, то $N_o = Q / k^1_Э$, где $k^1_Э$ - коэффициент пропорциональности без поглощения. Подставив в (Ж 2) соотношения для N_o, получим выражение для $k^1_Э$:

$$k^1_Э = \frac{k_Э}{\mu \cdot d}(1 - e^{-\mu d}). \qquad (Ж.3)$$

Нахождение $k^1_Э$ связано с определением μ для исследованных материалов.

Для этого определяли кривую поглощения тормозного излучения. В качестве поглотителя испоьзовали полиэтиленовую пленку (плотность $\rho = 0{,}92$ г/см^3) толщиной 0,1 мм. Слой половинного ослабления $\Delta_{1/2}$ равен 0,04 см, тогда для полиэтилена $\mu = \ln 2/\Delta_{1/2} = 17{,}5$ см$^{-1}$.

Для материалов, незначительно отличающихся по Z, отношение μ/ρ можно считать постоянным. На основании этого отношения, равного 19 см^2/г (полиэтилен) и известной плотности материалов вычислены значения μ, которые изменены для определения $k^1_Э$. Полученные величины μ и $k^1_Э$ представлены в таблице Ж.1.

Влияние на $k^1_Э$ геометрии измерения и чувствительности аппаратуры учитывается путем нормирования значений $k^1_Э$ по эталонному излучению.

Для нормирования $k^1_Э$ измерение образцов исследуемых материалов и эталонов проводили в идентичной геометрии. При этом использовали два эталона: соединение трития с титаном (T–Ti) с активностью $2{,}16 \cdot 10^{-5}$ Ки по тритию и стронций-иттрий (Sr–Y) активностью $8{,}45\ 10^{-8}$ Ки по иттрию. Точность эталонов по паспортным данным ±10 %. Нормирование $k^1_Э$ осуществляли по соотношению:

$$k^{11}_Э = k^1_Э \cdot N_{ЭТ} / Q_{ЭТ}, \qquad (Ж.4)$$

где: $k^{11}_Э$ - нормированное значение $k^1_Э$ (см. таблицу Ж.1).

Видно, что активность эталона T–Ti на несколько порядков выше по сравнению с эталоном Sr–Y, однако в первом случае значения $k^{11}_Э$ на четыре порядка ниже по сравнению со вторым эталоном. Это объясняется низким выходом ($\approx 10^{-4}$ для органических материалов) и малой эффективностью регистрации (≈ 1 %) тормозного излучения β-частиц трития.

Полученные значения $k^{11}_Э$ могут быть использованы для измерения количества трития

не только в исследованных материалах, но и для других пленочных материалов с близкими значениями Z. При этом можно применять любые приборы (установки), чувствительные к тормозному излучению β-частиц трития. Количество трития в материалах определяется соотношением (Ж.1), в котором:

$$k = \frac{k_{ЭТ}^{11} \cdot \mu \cdot d}{(1 - e^{-\mu d})} \frac{Q_{ЭТ}}{N_{ЭТ}}. \qquad (Ж.5)$$

Чувствительность метода со счетчиком СИ-2Б при $N_Ф$ = 60 имп/мин, $N = 3\sqrt{N_Ф}$ и d = 0,05 мм в случае измерения поверхности, равной площади окна счетчика (12 см^2), находится в диапазоне от 1,2 10^{-5} (фторопласт-26) до 3 10^{-5} Ки (наиритовый латекс - 7) Приведенная к единице площади чувствительность составляет (1,0–2,5) 10^{-6} Ки/см^2 Чувствительность может быть повышена за счет уменьшения фона, и применения детекторов, имеющих большую эффективность регистрации низкоэнергетического тормозного излучения.

Таблица Ж.1. *Характеристика исследованных материалов**

Материал	d, см	ρ, г/см^3	μ, см$^{-1}$	$k_э$	δ($k_э$)**, %	$k_Э^1$	$k_Э^{11}$	
							T–Tı	Sr –Y
Резина перчаток «Каландр» (ТУ ЯН-251-61)	1,1 10^1	1,15	21,7	3,1 10^{-6}	9	1,1 10^{-6}	21,2	2,6 10^5
Наиритовый латекс Л-7 (ВТУ В-53-61)	5,4 10^{-2}	1,28	24,2	2,5 10^{-6}	11	1,3 10^{-6}	25,2	3,1 10^5
Резина хирургических перчаток (ГОСТ-3-53)	2,0 10^2	0,90	17,5	8,5 10^{-7}	12	7,2 10^{-7}	13,9	1,7 10^5
Поливинилхлорид рецептуры 80/277	2,5 10^{-2}	1,21	22,8	1,7 10^6	16	1,2 10^{-6}	23,2	2,9 10^5
Поливинилхлорид рецептуры 80 АМ	3,0 10^2	1,23	23,2	1,7 10^6	23	1,2 10^{-6}	23,2	2,9 10^5
Фторопласт-26	2,2 10^2	1,81	34,2	7,0 10^7	20	5,0 10^{-7}	9,6	1,2 10^5
Перфоль ПК-4	6,0 10^{-3}	1,15	-	8,7 10^{-7}	25	8,7 10^7	16,8	2,0 10^5
Терилен (полиэтилентрефталат)	7,5 10^{-3}	-	-	7,1 10^{-7}	21	7,1 10^{-7}	13,8	1,7 10^5
Примечание * - Поправка на поглощение для перфоля и терилена не вводилась ввиду незначительной толщины этих материалов, ** - Относительная погрешность определения								

Представленный способ определения загрязненности тритием поверхностей по тормозному излучению может быть использован не только для пленочных полимерных материалов, но и для металлов, стекол, бетона и др. Для этих материалов калибровка способа применительно к конкретной аппаратуре может быть осуществлена аналогично калибровке для пленочных материалов. При этом для выделения трития может быть использован не только метод «вымывания», но и термовакуумной десорбции.

Следует отметить, что при калибровке для металлов и стекол нет необходимости вводить поправки на толщину материала, поскольку в металле и стекле тритий (в форме НТО) адсорбирован в поверхностном слое.



Рис. Ж.1. *Зависимость скорости счета тормозного излучения от количества трития в наипритовом латексе Л-7 (1) и перфлоне ПК-4 (2)*

Приложение И (Справочное). Библиография

1. Беловодский Л.Ф., Гаевой В.К., Гришмановский В.И. Тритий. М.: Энергоатомиздат, 1985.

2. Беловодский Л.Ф., Гаевой В.К., Гришмановский В.И М.: Атомная энергия, 1973, т.85. в.6, с. 441.

3. Дозиметрический и радиационный контроль при работах с радиоактивными веществами и источниками ионизирующего излучения. Методическое руководство. Том 1. Организация и методы контроля. М.: Атомиздат, 1980:

3.1. Девятайкин Е.В., Левин И.В., Левочкин Ф.К. и др. Организация и объем радиационного и дозиметрического контроля, с. 34;

3.2. Бадьин В.И., Маргулис У.М., Хрущ В.Т., Загрязнение радиоактивными веществами поверхностей как источники радиационной опасности, с.176;

3.3. Туркин Н.Ф. Контроль радиоактивной загрязненности поверхностей с помощью приборов. с.180;

3.4. Бадьин В.И., Маргулис У.М., Хрущ В.Т. Измерение радиоактивной загрязненности поверхностей методом мазков. с.186;

4. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). Гигиенические нормативы ГН -99.

5. Лобов С.И., Цукерман В.А. Приборы и техника экспериментов. 1963., № 4, с.164.

6. Машкович В.П., Цыпин С.Г. Атомная энергия. 1961, т.11, с.251.

7. Калинчев В.А. О газопроницаемости некоторых материалов. Приборы и техника экспериментов. 1972, № 5, с.172.

8. Беловодский Л.Ф., Гаевой В.К., Гришмановский В.И. Установка для определения проницаемости бета-активных газов через некоторые материалы. Заводская лаборатория, 1972, № 5, с.172.

9. Эванс Э. Тритий и его соединения. Перевод с английского. М.: Атомиздат, 1968.

10. Бернетос В.И. и др. Прямые измерения тритированных соединений. В книге «Техни-

ка исследования радиоактивных препаратов». М.: Госатомиздат, 1962, с.249.

11. Wood M.J., McElroy R.G.C., Surrette R.A., Brown R.M., Tritium Sampling and measurement, Health Phys., 1993, V.65, N 6, pp 610-627.

12. Алексеев В.Г. Сапрыкин П.В., Чаев В.А., Гаврилов Ю.В. Низкофоновый автоматический счетчик НАГ-3М. Приборы и техника экспериментов, 1971, № 1, с.247.

Полиграфучасток ФГУП «ВНИИФТРИ». Тир. 250
Зак. № 177

gost.e-ecolog.ru