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

2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность

ТРИТИЙ И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ. КОНТРОЛЬ ВЕЛИЧИНЫ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОЙ ДОЗЫ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПРИ ПОСТУПЛЕНИИ В ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Методические указания МУ 2.6.1.15-02

Издание официальное

gost.e-ecolog.ru

Содержание

1. Область применения 60
2. Нормативные ссылки 60
3. Термины и определения. 61
4. Общие положения. 62
5. Организация контроля внутреннего облучения персонала группы А. 65
6. Определение содержания трития в организме и дозы внутреннего облучения. 68
Приложение А (Рекомендуемое) Обоснование методов индивидуального контроля облучения персонала группы А тритием 71
Приложение Б (Обязательное) Определение периодичности контроля внутреннего облучения персонала тритием 72
Приложение В (Обязательное) Определение среднегодового удельного содержания окиси трития в организме человека 73
Приложение Г (Справочное) Пределы доз для профессионального облучения персонала 75
Приложение Д (Обязательное) Расчет дозы облучения по результатам измерения удельного содержания трития в жидкой фазе организма 76
Приложение Е (Обязательное) Измерение объемной активности в водных пробах организма 77
Приложение Ж (Рекомендуемое) Экспресс-метод оценки дозы облучения оксидом трития 80
Приложение И (Рекомендуемое) Рекомендации по снижению дозы облучения персонала при аварийном (повышенном) поступлении трития 82
Приложение К (Справочное) Библиография 83

Предисловие

Методические указания МУ 2.6.1.15-02 «Тритий и его соединения. Контроль величины индивидуальной эффективной дозы внутреннего облучения при поступлении в организм человека» 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 научно-исследовательский институт 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

ТРИТИЙ И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ. КОНТРОЛЬ ВЕЛИЧИНЫ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОЙ ДОЗЫ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПРИ ПОСТУПЛЕНИИ В ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Методические указания МУ 2.6.1.15-02

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. Методические указания (МУ) распространяются на проблему контроля доз внутреннего облучения персонала при поступлении трития и его соединений.

1.2. Методические указания по контролю величины индивидуальной эффективной дозы внутреннего облучения при поступлении трития и его соединений определяют:

- порядок проведения индивидуального дозиметрического контроля (ИДК) внутреннего облучения персонала;
- требования к методикам выполнения измерений содержания трития в организме;
- порядок определения поступления трития в организм и расчет годовой эффективной дозы внутреннего облучения.

1.3. Методические указания предназначены для применения на предприятиях и в организациях Министерства Российской Федерации по атомной энергии и учреждениях (организациях) Федерального управления «Медбиоэкстрем».

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 8.417-81 - ГСИ. Единицы физических величин.
- ГОСТ Р 8.565-96. ГСИ. Метрологическое обеспечение эксплуатации атомных станций. Основные положения.
- ГОСТ 4.59-79. СПКП. Средства измерений ионизирующих излучений. Номенклатура

показателей.

• ГОСТ 12.1.005-88 - ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

• ГОСТ 12.1.016-79 - ССБТ. Воздух рабочей зоны. Требования к методикам измерения концентраций вредных веществ.

• ГОСТ 8.207-76 - ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.

• ГОСТ Р 51000.1-95 - ГСС. Система аккредитации в Российской Федерации.

• ГОСТ Р 22.0.05.94 - БЧС. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения.

• ГОСТ 27451-87. Средства измерений ионизирующих излучений. Общие технические условия.

• *СП 2.6.1.758-99. Нормы радиационной безопасности - НРБ-99.*

• СП 2.6.1.799-99. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности - ОСПОРБ-99 .

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

• МИ 2336-95. Характеристики погрешности результатов количественного химического анализа. Алгоритмы оценивания.

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

• МИ 2334-95 - Смеси аттестованные. Порядок разработки, аттестации и применения;

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

• МИ 1832-88 - ГСИ. Сличение групп средств поверки одинакового уровня точности. Основные правила.

• МУ 2.6.1.016-2000. Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в контролируемых условиях обращения с источниками излучения. Общие требования. Методические указания. Федеральное управление «Медбиоэкстрем», Минатом России, Минздрав России. М., 2001.

• МУ 2.6.1.026-2000. Дозиметрический контроль профессионального внутреннего облучения. Общие требования. Методические указания. Федеральное управление «Медбиоэкстрем», Минатом России, Минздрав России. М., 2001.

• 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 России. М., 1994.

3. Термины и определения.

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

3.1. **Доза поглощенная (D)** - величина энергии ионизирующего излучения, переданная веществу:

$$D = \frac{d\bar{\varepsilon}}{dm},$$

где $d\bar{\varepsilon}$ - средняя энергия, переданная ионизирующим излучением веществу, находящемуся в элементарном объеме, а dm - масса вещества в этом объеме.

Энергия может быть усреднена по любому определенному объему, и в этом случае средняя доза будет равна полной энергии, переданной объему, деленной на массу этого объема. В единицах СИ поглощенная доза измеряется в джоулях, деленных на килограмм ($Дж \cdot кг^{-1}$), и имеет специальное название - грей (Гр). Использовавшаяся ранее внесистемная единица рад равна 0,01 Гр.

3.2. **Доза эффективная (Е)** - величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности. Она представляет сумму произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты:

$$E = \sum_T w_T H_T,$$

где H_T - эквивалентная доза в органе или ткани Т, а w_T - взвешивающий коэффициент для органа или ткани Т.

Единица эффективной дозы - зиверт (Зв).

3.3. **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).

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

3.5 **Класс соединений при ингаляции** - класс, к которому относятся химические соединения радионуклидов при их ингаляции в зависимости от скорости перехода радионуклида из легких в кровь за счет процессов химического растворения. Распределение химических элементов по классам при ингаляции приведено в приложении П-3 НРБ-99.

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

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

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

3.9. ***Предел годового поступления (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.

3.10. **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.

3.11. **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. Общие положения.

4.1. Радиационная безопасность является системой мер для обеспечения безопасности источника излучения и защиты настоящего и будущего поколения людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующих излучений.

При этом охрана здоровья людей от вредных воздействий ионизирующего излучения *обеспечивается путем соблюдения основных принципов и норм радиационной* безопасности без необоснованных ограничений полезной деятельности источников ионизирующих излучений в различных областях хозяйства, в науке и медицине.

4.2. Радиационная безопасность включает:

• процедуры и устройства для удержания доз облучения и ущерба от возникновения

неблагоприятных последствий ниже установленных пределов на таких возможно низких уровнях, которые реально достижимы;

• средства достижения защиты людей от воздействия ионизирующих излучений и обеспечения их безопасности;

• процедуры и устройства для предотвращения аварий и для смягчения последствий аварий в случае их возникновения.

4.3. В нормах радиационной безопасности НРБ-99 проведено четкое разграничение методов обеспечения радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении практической деятельности (эксплуатации источника ионизирующего излучения) в нормальных условиях и в случае радиационной аварии. В нормальных условиях безопасность работников обеспечивается путем управления источником ионизирующего излучения (ИИИ). При этом величина годовой эффективной дозы облучения персонала, обусловленная практической деятельностью, является показателем управляемости и безопасности источника.

4.4. Индивидуальный дозиметрический контроль персонала является одной из мер контроля за безопасностью состояния источника. Превышение установленного дозового предела следует рассматривать как показатель ослабления контроля над источником, ухудшение параметров его безопасности. Проведение мероприятий для ограничения величин индивидуальной годовой дозы облучения персонала является мерой обеспечения условий безопасности эксплуатации источника.

4.5. Для целей оперативного контроля за состоянием источника облучения персонала предприятия по согласованию с Регулирующим органом устанавливаются контрольные уровни. Их значения должны учитывать достигнутый уровень радиационной безопасности и регламентировать условия, которые обеспечивают приемлемую безопасность источника.

4.6. Обнаруженное превышение контрольных уровней является основанием для исследования причин этого превышения и вмешательства в процесс эксплуатации техногенного ИИИ путем проведения мероприятий для обеспечения более безопасной эксплуатации источника, и, как следствие, уменьшение величины индивидуальной годовой дозы облучения персонала.

4.7. Целью контроля внутреннего облучения персонала является консервативная оценка величины индивидуальной годовой эффективной дозы внутреннего облучения персонала.

4.8. Результаты контроля внутреннего облучения персонала применяются:

• для демонстрации того, что облучение работника не превышает уровня, установленного НРБ-99;

• для оптимизации радиационной защиты, а именно:

- для выявления источников и путей поступления радионуклидов (соединений трития) в организм в нормальных условиях, при инцидентах и авариях;

- для подготовки необходимых данных для управления источниками прогнозирования доз внутреннего облучения при отдельных технологических операциях;

• для подтверждения данных контроля радиационной обстановки на рабочих местах стационарными средствами контроля.

4.9. Характеристикой воздействия источника внутреннего облучения на работника является величина активности соединений трития, поступивших в течение года в организм человека с воздухом рабочих помещений через органы дыхания и через кожу тела - пары тритированной воды, НТО. Величина этого поступления определяет величину годовой эффективности дозы внутреннего облучения, Е:

$$E = \sum_{i=1}^{3} П_i \cdot e_i^{ВНУТР}, \qquad (4.1)$$

где: Е - суммарная эффективная доза от поступления соединений трития в организм, Зв; $П_i$ - величина активности i-го соединения трития, поступившего в организм человека в течение года, Бк/год; $e_i^{ВНУТР}$ - дозовый коэффициент для i-го соединения трития.

Значение пределов годового поступления, допустимой объемной активности воздуха и дозового коэффициента приведены в Приложении 1 НРБ-99 (таблица 1).

Таблица 1. *Основные характеристики соединений трития.*

Вид соединений трития	Дозовый коэффициент, $e_i^{ВНУТР}$, Зв/Бк	Предел годового поступления $ПГП_{ПЕРС}$, *Бк в год*	Допустимая объемная активность $ДОА_{ПЕРС}$, *Бк/м*^{3}
Оксид трития НТО, ДТО, T_2O пары тритированной воды	$1{,}8\ 10^{-11}$	$1{,}1\ 10^{+9}$	$4{,}4 \cdot 10^{+5}$
Тритированный (CH_3T)	$1{,}8 \cdot 10^{-13}$	$1{,}1 \cdot 10^{+13}$	$4{,}4 \cdot 10^{+7}$
Газообразный тритий (НТ, ДТ, T_2)	$1{,}8\ 10^{-15}$	$1{,}1 \cdot 10^{+13}$	$4{,}4 \cdot 10^{+9}$

4.10. В качестве основного метода контроля эффективной дозы облучения дозы внутреннего облучения персонала группы А настоящими методическими указаниями предлагается прямой метод контроля внутреннего содержания трития в жидкой фазе организма, основанный на измерении объемной активности в выделениях организма: конденсат паров воды из выдыхаемого воздуха и моча. Обоснование (концепция) этого метода приводится в приложении А.

4.11. Для контроля внутреннего облучения персонала группы Б, кроме прямого метода, допускается расчетный метод. В этом случае поступление радионуклидов в организм ($П_i$) определяется временем работы T_i и объемной активностью соединения трития в воздухе на рабочем месте (C_i), а эффективная доза - произведением поступления на дозовый коэффициент, по формулам:

$$П_i = C_i \cdot V \cdot T_i, \qquad (4.2)$$

$$E_i = П_i \cdot e_i^{ВНУТР}, \qquad (4.3)$$

$$E = \sum_{i=1}^{3} E_i, \qquad (4.4)$$

где: V - интенсивность воздухообмена в легких, равная $2{,}5\ 10^3$ м^3/1700 час $\approx$ 1,5 м^3/час; T_i - время работы, в часах, при средней объемной активности i-го соединения трития в Бк/м^3; E_i - эффективная доза от поступления в организм i-го соединения трития, Зв;

4 12. Для организации контроля внутреннего облучения персонала предприятий Министерства РФ по атомной энергии настоящими методическими указаниями вводятся контрольные уровни (КУ) величины годовой эффективной дозы внутреннего облучения тритием и его соединениями, которые, с учетом того, что при работе с тритием возможно воздействие на персонал других радиационно-опасных факторов, составляют:

1. Уровень регистрации $У_Р$, равный 1,0 мЗв в год.
2. Уровень исследования $У_И$, равный 5,0 мЗв в год.
3. Уровень вмешательства $У_В$, равный 10 мЗв в год.

Для женщин в возрасте до 45 лет соответствующие уровни должны быть уменьшены в 20 раз. Кроме того администрация предприятия, в зависимости от достигнутого уровня внутреннего облучения и наличия других радиационно-опасных факторов, может устанавливать более низкие величины годовой эффективной дозы для контрольных уровней.

4.13. Для оптимизации индивидуального контроля внутреннего облучения персонала по результатам измерения содержания трития в жидкой фазе организма, в приложении В расчетным методом определено среднегодовое содержание его в жидкой фазе и организме в целом, приводящее к облучению 20 мЗв в год и равное: $1{,}2 \cdot 10^6$ Бк/л ($3{,}2 \cdot 10^{-5}$ Ки/л); $5{,}2\ 10^7$ Бк (1,4 мКи), соответственно.

При среднегодовом уровне активности в организме человека, равном КУ, эффективная доза облучения будет составлять 10 мЗв в год.

4.14. При индивидуальном контроле доз внутреннего облучения персонала группы А тритием величину индивидуальной годовой эффективной дозы E_P принимают равной:

$$E_P = \begin{cases} 0 \text{ при } E < У_P \\ E \text{ при } E \geq У_P \end{cases}. \qquad (4.5)$$

5. Организация контроля внутреннего облучения персонала группы А

5.1. Порядок введения контроля внутреннего облучения.

5.1.1. Индивидуальный дозиметрический контроль (ИДК) внутреннего облучения персонала группы А вводится:

• для работников, у которых по данным систематического контроля радиационной обстановки на рабочих местах поступление трития в течение года может привести к облучению с величиной эффективной дозы внутреннего облучения, превышающей 1 мЗв; или

• для работников на рабочих местах, у которых сумма отношений среднегодовых объемных активностей соединения трития в воздухе рабочих помещений (C_i) к соответствующим активностям $ДОА_i$, регламентированных НРБ-99 и приведенных в таблице 4.1, превышает 1/20:

$$\sum_{i=1}^{3} \frac{C_i}{ДОА_i} \geq \frac{1}{20}. \qquad (5.1)$$

В зависимости от достигнутого уровня руководством предприятия по согласованию с регулирующим органом допускается введение контроля внутреннего облучения и при более низких уровнях эффективной эквивалентной годовой дозы.

5.1.2. ИДК внутреннего облучения вводится также при проведении новых технологических операций, а также операций, для которых отсутствуют систематические данные контроля или при проведении которых возможно выделение соединений трития в воздух рабочего помещения.

5.2. Порядок проведения контроля внутреннего облучения персонала тритием.

5.2.1. Устанавливаются четыре вида контроля внутреннего облучения персонала группы А тритием:

• информационный контроль;

• текущий контроль;

• оперативный контроль;

• аварийный (специальный) контроль.

5.2.2. Информационный и текущий контроль осуществляется при длительном (хроническом или многократном) поступлении трития; оперативный и аварийный - при ожидаемых разовых или аварийных поступлениях.

5.2.3. Каждый вид контроля проводится согласно программе контроля, утвержденной руководством предприятия (подразделения) и согласованной местными органами госсанэпиднадзора. В программе контроля должен быть установлен объем контроля, включающий следующее:

• список подлежащих контролю лиц или рабочих мест, технологических операций с указанием категории контроля: выборочный или полный контроль;

• метод контроля: индивидуальный дозиметрический контроль или коллективный: расчетный по концентрации соединений трития в воздухе или по результатам выборочного контроля содержания трития в организме;

• периодичность контроля.

5.3. Информационный контроль.

5.3.1. Информационный контроль проводится:

• для получения исходной информации о контролируемом контингенте:

- при введении в действие МУ;

- при приеме на работу нового работника;

- ежегодном медицинском обследовании всех работников относящихся

к персоналу группы А;

• для внепланового определения годовой дозы внутреннего облучения при увольнении работника, если результатов других видов контроля недостаточно для установления годовой дозы облучения;

• для определения необходимости проведения выборочного контроля облучения работников подразделения с целью получения информации о дозах облучения и принятия решения о введении ИДК для отдельных работников в соответствии с п.5.3.3.

5.3.2. Выборочный контроль проводится для персонала, непосредственно занятого на выполнении технологических операций при работе с тритием и постоянно или периодически выполняющего работы в технологическом помещении.

5.3.3. Периодичность выборочного контроля, в зависимости от степени занятости в условиях тритиевой опасности по категориям, устанавливается:

• 1 раз в квартал;

• 2 раза в год (1 раз в полгода).

5.3.4. Принятие решения о переходе от информационного контроля к текущему контролю доз внутреннего облучения производится:

• для отдельного работника - при обнаружении превышения контрольного уровня содержания трития в организме, соответствующего $У_Р$;

• для всех работников (для категории, группы по профессиям) - при превышении контрольного уровня у 30% работников.

5.3.5. Работник (профессия), относительно которых принято решение о введении текущего контроля ИДК на основании данных, полученных при проведении информационного контроля, сроком до конца календарного года, но не менее чем на 3 месяца, вносится во временный список лиц для проведения ИДК. По окончании календарного года (3 месяца) на основании величины годовой эффективной дозы внутреннего облучения принимается решение о целесообразности проведения текущего контроля доз внутреннего облучения:

• если величина индивидуальной дозы внутреннего облучения $Е_Р$ превышает или равно $У_Р$, то работник вносится в постоянный список для проведения текущего контроля ИДК;

• если величина индивидуальной дозы внутреннего облучения $Е_Р$ не превышает $У_Р$, то работник переводится из текущего контроля в информационный.

5.4. Текущий контроль.

5.4.1. Текущий контроль является основным видом ИДК работников. Для которых согласно требованиям разделов 5.1 и 5.2 введен индивидуальный контроль внутреннего облучения персонала тритием и его соединениями.

5.4.2. Текущий контроль проводится согласно специальной программе, разработанной в соответствии с п.5.2.3. Периодичность контроля, в связи с малым периодом полувыведения трития из организма ($Т_{1/2} \approx 10$ сут.), определяется экспериментально, в зависимости от состояния радиационной обстановки на рабочем месте. Рекомендации по определению периодичности контроля приведены в приложении Б.

5.4.3. Если в течение календарного квартала содержание трития в организме человека при текущем контроле не превышает установленного уровня КУ, то определение величины индивидуальной дозы при проведении очередного измерения содержания трития в организме можно не производить, фиксировать только результаты контроля.

5.4.4. При превышении контрольного уровня КУ при очередном контроле рассчитывается доза облучения, и если ее величина не превышает 1/4 от установленного годового $У_И$, то для этого работника продолжается программа текущего контроля.

При превышении 1/4 $У_И$ производятся исследования (ревизия) состояния безопасности источника поступления соединений трития в воздухе на данном рабочем месте. Если величина дозы превышает 1/4 $У_В$, то необходимо проведение корректирующих действий, направленных на повышение безопасности техногенного источника поступления трития в воздух рабочего помещения.

5.4.5. По истечении календарного квартала по результатам текущего контроля рассчитывается эффективная квартальная доза облучения $Е_Р$(кв), которая заносится в банк дан-

ных БД ИДК. Если $E_{Р(кв)}$ меньше 1/4 $У_Р$, то данный работник исключается из программы текущего контроля. При превышении 1/4 $У_И$, 1/4 $У_В$ принимаются действия аналогичные п.5.4.4.

5.4.6. В конце года производится вычисление среднегодового удельного содержания трития в жидкой фазе организма и эффективной дозы облучения персонала тритием, и сравнение ее с контрольными уровнями регистрации. При превышении годовых значений $У_И$ и $У_В$ действия аналогичны п.5.4.4. Годовую дозу облучения заносят в БД ИДП.

5.5. Оперативный контроль.

5.5.1. Оперативный контроль организуется при проведении персоналом работ по нарядам-допускам, связанных с возможностью повышенного поступления трития в организм, и осуществляется для всех участников таких работ. Проводится аналогично текущему контролю, проводимому в соответствии с подразделом 5.4. При этом необходимо учитывать характер работ, радиационную безопасность и ожидаемое поступление трития в организм (постоянное, разовое) и соответствующим образом изменить график периодичности контроля.

5.5.2. Работник, не включенный ранее в постоянный список для проведения ИДК, и относительно которого принято решение о введении ИДК на основании п.5.5.1, вносится во временный список лиц для проведения ИДК текущего контроля до окончания срока действия наряда.

5.5.3. После окончания работ по наряду-допуску в течение одних суток проводится контроль внутреннего содержания трития в организме и расчет величины эффективной дозы облучения с учетом выведения трития (последнее измерение) из организма (1,5 месяца), поступившего за время проведения работ по наряду.

5.5.4. После окончания работ по наряду работник, в зависимости от условий проведения дальнейших работ и величины полученной дозы заносится в постоянный список работников текущего контроля ИДК (полученная доза выше $У_Р$) или переводится в информационный контроль.

5.6. Аварийный (специальный) контроль.

5.6.1. Аварийный (специальный) контроль проводится в случае радиационных инцидентов, когда интеграл дозы облучения от поступивших соединений трития $Ψт_i$, хотя бы для одного из работников превышает годовое поступление (см. приложение В) с целью быстрой сортировки людей по величине поступлений радионуклидов в организм и оценки последствий аварии.

5.6.2. В ближайшее время после аварийного инцидента выявляются все работники, находящиеся во время аварийного инцидента в рабочем помещении, и на основании результатов дозиметрического контроля содержания трития в воздухе рабочих помещений и времени нахождения в рабочем помещении рассчитывается поступление трития в организм.

5.6.3. Производится отбор и анализ проб мочи или конденсата паров выдыхаемого воздуха, спустя 2...4 часа после выхода из рабочего помещения, начиная с работников, у которых в соответствии с п.5.6.1 обнаружено максимальное поступление трития в организм.

5.6.4. Производится расчет дозы облучения с начала календарного года с учетом разового (аварийного) поступления трития в организм. Если доза облучения работника за время работы с начала года не превышает предела годовой дозы за соответствующий период с начала года до момента аварии плюс 1,5 месяца $E_{Р}(t)_i + E_{Р}(t)_{доп}$, то для данного работника продолжается текущий контроль.

5.6.5. При превышении $E_{Р}(t)_i + E_{Р}(t)_{доп}$ годовой дозы работник направляется в медицинское лечебное заведение для принятия мер по снижению величины эффективной дозы облучения путем ускорения водного обмена организма (т.е. уменьшения периода полувыведения трития из организма).

5.6.6. Для определения фактического периода полувыведения трития из организма в течение этого времени увеличивается частота проведения контроля до 1–2 раз в сутки.

5.7. Требования к методике индивидуального контроля содержания трития в организме персонала.

5.7.1. Требования к метрологическому обеспечению контроля облучения персонала изложены в ГОСТ 26 846-86, а также в МУ 2.6.1.026-2000, аттестация и построение методик выполнения измерений - в ГОСТ Р 8.563-96.

5.7.2. Согласно закона «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.

5.7.3. Для определения содержания трития в пробах жидкой фазы организма должна использоваться аппаратура, позволяющая измерять содержание объемной активности трития в воде не менее $3 \cdot 10^4$ Бк/л с относительной погрешностью в доверительном интервале 95% не более 50%.

5.7.4. Дополнительная погрешность вследствие увеличения времени между двумя последовательными отборами проб мочи или конденсата по сравнению с ежедневным отбором проб не должна превышать:

- для постоянно (ежедневно) работающих ..... ±20%;
- для периодически работающих ..... ±40%.

5.7.5. При выборе средств измерений (СИ) и методики выполнения измерений (МВИ) необходимо руководствоваться требованием не превышения следующих погрешностей определения операционных величин при контроле доз внутреннего облучения тритием:

- на уровне основных дозовых пределов ..... ±40%;
- на уровне 1/5 основных дозовых пределов ..... ±80%;
- на уровне регистрации ($У_Р$) дозы ..... в два раза.

5.7.6. Погрешность (неопределенность) величины, определяемой по результатам радиационного контроля (Δ), следует оценивать как:

$$\Delta = \sqrt{\Delta^2_{ОПЕР} + \Delta^2_{РК}}, \qquad (5.2)$$

где: $\Delta_{ОПЕР}$ - погрешность определения соответствующей операционной величины согласно МВИ; $\Delta_{РК}$ - неопределенность распространения результатов систематических измерений величины на реальный объект контроля (погрешность организации радиационного контроля, обусловленная его представительностью). В погрешность $\Delta_{РК}$ не включаются неопределенности принятых в обосновании Норм и используемых в радиационном контроле дозиметрических моделей и их параметров.

6. Определение содержания трития в организме и дозы внутреннего облучения

6.1. Общие положения. В общих положениях методики определения содержания трития в организме должно быть описано поведение (метаболизм) соединений трития при поступлении и распределении в органах и тканях организма. В соответствии с этим выбирается метод контроля. В приложении А показано, что тритий, независимо от вида соединения, переходит в виде оксида (НТО) в жидкую фазу организма и в течение 2–4 часов равномерно распределяется во всех жидкостях организма и практически равномерно облучает все мягкие ткани человека.

6.1.1. На основании этого выбран метод контроля, основанный на периодическом отборе проб мочи или конденсата и определения объемного содержания трития в этих пробах.

6.1.2. В связи с малым периодом полувыведения НТО из организма необходимо экспериментально для каждой категории работающих определять периодичность отбора проб. Периодичность и порядок отбора и подготовки проб, погрешность, обусловленная периодическим отбором проб, должны быть указаны в методике. Порядок определения периодичности контроля приведен в приложении Б.

6.1.3. В методике должны быть указаны удельное содержание величин контрольных уровней ($У_Р$, $У_И$, $У_В$) при превышении которых необходимо применять соответствующие реше-

ния и меры воздействия (приложение В, Г).

6.1.4. Измерение содержания трития в жидкой фазе организма, аппаратура, порядок измерения, расчет погрешности.

Погрешность при доверительной вероятности 95% не должна превышать:

- на уровне регистрации $У_Р$ ..... ±35%;
- на уровне исследований $У_И$ ..... ±30%;
- на уровне вмешательства $У_В$ и выше ..... ±20%.

6.1.5. Требования к квалификации оператора:

- к измерениям трития в жидких пробах допускаются лица, с квалификацией не ниже техника, имеющие навыки работы на установках с жидким сцинтиллятором, расчетами статистических погрешностей;
- к отбору проб допускаются лица с квалификацией лаборанта, имеющие навык работы и знающие методики отбора проб;
- к анализу результатов измерений и расчетом доз облучения допускаются лица с квалификацией старшего техника или инженера, знающие закономерности поведения трития в организме, формирования дозы облучения и погрешности, вносимые при различных периодичностях отбора проб.

6.2. Определение годовой дозы облучения персонала.

6.2.1. Для персонала группы А, постоянно работающего с тритием, производится текущий контроль внутреннего облучения путем периодического отбора проб мочи или конденсата выдыхаемого воздуха. Периодичность контроля определяется «Программой контроля...».

6.2.2. Результаты измерения содержания трития в жидкой фазе организма заносятся в протокол измерений, где указывается дата и время отбора и измерения проб и величина объемной активности трития в пробе.

6.2.3. По окончанию квартала вычисляется среднее за квартал содержание трития в жидкой фазе организма человека и определяется индивидуальная доза облучения человека за квартал. Методика расчетов средней квартальной дозы приведены в Приложении Д.

6.2.4. При аварийном контроле (работе по нарядам при выполнении особо опасных работ, с повышенным содержанием трития, в аварийных ситуациях, ликвидации последствий аварии и т.д.) отбор проб и анализ их производится после окончания работы или ежедневно, если работа продолжается несколько дней и, по результатам ежедневного контроля, объемное содержание трития в организме не превышает величины КУ (см. Приложение Г).

6.2.5. При превышении контрольного уровня определяется поступление трития в организм ($П_{АВАР}$) и вычисляется ожидаемая доза облучения человека путем умножения ($П_{АВАР}$) на дозовый коэффициент ε (см. Приложение Д).

6.2.6. Определение годовой эффективной дозы облучения при текущем контроле производится путем сложения индивидуальных квартальных доз облучения, вычисленных в соответствии с п.6.2.3. Если при аварийном контроле поступление трития не превышало 5 КУ (ожидаемая доза облучения 50 мЗв), то полученная при этом доза учитывается в годовой индивидуальной дозе облучения. При превышении - учитывается отдельно как аварийное облучение.

6.3. Экспрессная оценка поступления оксида трития в организм при инцидентах или авариях.

6.3.1. Экспрессная оценка может производиться только при наличии в воздухе рабочих помещений одного из соединений трития - оксида трития.

6.3.2. Метод контроля основан на определении концентрации оксида трития в воздухе рабочих помещений диффузионными индивидуальными (носимыми) пробоотборниками HTO.

6.3.3. Экспресс метод целесообразно применять при выполнении программы аварийного (специального) контроля, когда возможно поступление в организм человека относительно высокой (больше КУ) активности трития и необходимо относительно быстро после окончания работы, не дожидаясь времени, необходимого для равномерного распределения его в жидкой фазе организма.

6.3.4. Поступление паров тритированной воды в организм П и ожидаемая доза облучения Е(τ) вычисляется следующим образом:

$$П_{НТО} = 18 \cdot C_{ПР}, Бк \qquad (6.1)$$

$$E(\tau)_{НТО} = П_{НТО} \cdot e_{НТО}^{ВНУТР} = 32{,}4 \cdot C_{ПР}, Зв \qquad (6.2)$$

где: 18 - коэффициент, зависящий от градуировки и интенсивности поступления паров тритированной воды ингаляционным путем и через кожу (1,8 $м^3$/час); $C_{ПР}$ - объемная активность в дистиллированной воде (сорбент НТО) прибора, Бк/л; $e_{НТО}^{ВНУТР} = 1{,}8 \cdot 10^{-11}$ Зв/Бк - дозовый коэффициент для паров тритированной воды (НТО).

Более подробно экспресс-метод изложен в приложении И.

6.4. Оформление результатов определения индивидуальной дозы внутреннего облучения.

6.4.1. Результаты расчета оформляются протоколом и заносятся в БД, форма которого зависит от конкретной реализации БД ИДК. Для каждого лица из группы А персонала должна быть предусмотрена регистрация результатов ИДК в карточке индивидуального контроля (ежеквартальная и ежегодная) и на магнитных носителях.

6.4.2. При контроле внутреннего облучения расчетное значение дозы получается на основе инструментальных измерений, поэтому необходимо иметь базу данных этих первичных измерений, которая может быть использована при пересчете значений дозы, в случае изменений или уточнений в методике выполнения расчетов.

6.4.3. В БД ИДК должно быть отражено следующее:

- входные данные о контролируемом работнике (фамилия, имя, отчество, табельный номер, год рождения, место работы и т.п.);
- краткая информация о характере работы;
- периодичность отбора проб и измерения трития;
- использованная методика измерений.

6.4.4. В системе учета (базе данных) результатов ИДК отражаются сведения о значениях эффективной дозы за год, а также суммирование накопленной дозы за весь период работы с указанием способов их получения; раздельно фиксируются дозы при нормальных условиях работы и дозы, обусловленные возникновением аварийных ситуаций или аварий.

6.4.5. Записи результатов ИДК хранятся в течение всего срока работы и в последующем до достижения работником возраста 75 лет или не менее чем в течение 30 лет после окончания работы в условиях воздействия ионизирующих излучений.

Приложение А (Рекомендуемое)
Обоснование методов индивидуального контроля облучения персонала группы А тритием

Обычно тритий присутствует в воздухе рабочих помещений в форме либо НТ (газообразный тритий) либо НТО (пары тритированной воды). Также на рабочем месте тритий может присутствовать значительно реже в виде тритий содержащих органических соединений, аэрозолей металлов и органических соединений, содержащих тритий. Если взаимодействие НТ и НТО с организмом человека изучено достаточно широко (Pinson and Langham 1980, Bolonov M.Y., Likhtarev I.A. - 1984, Robin L. Hill and John R. Jonson 1993) то, к сожалению, об остальных соединениях известно немного и вообще не существует дозиметрических моделей для специфических соединений [7].

В результате поступления трития с воздухом в эффективную дозу делается 2 вклада:

1) доза облучения легких от трития, содержащегося в легких (не зависит от формы (вида) трития);

2) доза общего облучения тела, которая почти исключительно определяется концентрацией НТО в мягких тканях организма.

При этом дозу в легких трудно оценить, поскольку энергия не будет поглощаться в чувствительных к облучению клетках дыхательного тракта. Энергия может быть потеряна в воздухе легких и тканях, расположенных над клетками, если тритий содержится в твердых частицах.

Нормами радиационной безопасности НРБ-99 установлены нормативы для следующих соединений трития:

- пары тритированной воды, НТО;
- газообразный тритий, НТ;
- тритированный метан, CH_3T;

Рассмотрим пути поступления в организм и метаболизм (поведение) этих соединений в организме человека.

Пары тритированной воды поступают в организм человека ингаляционным путем и через кожу тела. При этом если человек не работает (в покое), поступление через кожу примерно равно поступлению ингаляционным путем, при физической работе в организм поступает ингаляционным путем вдвое больше паров НТО. Однако при работе в перчаточных боксах через кожу рук может поступать до 90% НТО (Беловодский Л.Ф., Гаевой В.К., Гришмановский В.И., «Тритий»).

При поступлении в организм НТО практически полностью (~99%) усваивается организмом. Газообразный тритий при ингаляционном поступлении в организме человека только $1 \cdot 10^{-2}$ % окисляется до воды и задерживается в жидкой фазе организма.

Тритированный метан при ингаляционном поступлении в организм усваивается организмом 1% в виде (предполагаем) тритированной воды.

Поступившая в организм НТО быстро смешивается с водой тела так, что через 2–4 часа *устанавливает равномерное распределение НТО в жидкой фазе организма и удельное со*держание ее в поте, слюне, моче, крови и в выдыхаемом паре через 2 часа одинаково.

Из содержащихся в организме НТО примерно (0,5–4,0)% атомов трития обратимо замещают водород (Н) связях OH, NH, SH органических молекул и около 1% активности постепенно внедряется в устойчивые связи CH - органически связанный тритий (ОСТ).

Вклад в дозу от облучения ОСТ составляет примерно 4% от облучения тритием, содержащимся в жидкой фазе организма. Период полувыведения НТО из организма стандартного человека находится в пределах 6–12 суток, в среднем составляет 10 суток.

Следовательно, измеряя удельное содержание трития в пробах мочи, конденсата выдыхаемого воздуха можно определить содержание его в организме и вычислить индивидуальную эффективную дозу облучения человека.

Приложение Б (Обязательное)
Определение периодичности контроля внутреннего облучения персонала тритием

Для определения оптимального соотношения между трудозатратами на проведение контроля и достоверностью получаемых результатов вычисления эффективной дозы облучения тритием, в связи с малым периодом полувыведения его из организма ($T_{1/2}$ = 10 суток), важное значение имеет выбор периодичности контроля.

Периодичность контроля для различных видов работ и занятости персонала может существенно различаться, поэтому экспериментальное определение должно производиться раздельно для определенных категорий работающих, с учетом их занятости и состояния радиационной обстановки на рабочих местах.

Экспериментальное определение периодичности контроля для однородной по условиям работы группы проводится следующим образом.

Б.1. Из группы «категории персонала с одинаковыми условиями работы» выбирается примерно (15...20)% работников (но не менее 5 чел) и проводится ежедневный отбор и анализ проб мочи или конденсата выдыхаемого воздуха в течение 2–3 месяцев. При этом объемную активность трития в субботу и воскресение рассчитывают по результатам контроля содержания трития в пятницу и в соответствии с выражением $C^6 = C^5 \exp(-\ln 2 \frac{1}{10})$ и $C^7 = C^5 \exp(-\ln 2 \frac{2}{10})$. Здесь C^5, C^6 и C^7 - удельное содержание трития в жидкой фазе организма в пятницу, субботу и воскресение, соответственно.

Б.2. Определяется средняя за период контроля объемная активность трития в этих пробах ($\overline{C_1}$) по соотношению:

$$\overline{C_1^{(1-7)}} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^{n} (C_1^X)_j, \qquad (Б.1)$$

где $\overline{C_1^{(1-7)}}$ - удельное содержание трития в ежедневных пробах мочи или конденсата; n - количество проанализированных проб.

Б.3. Выбирается из всего массива проб и определяется среднее удельное содержание трития в них по следующему алгоритму:

- $C_2^{1,5}$ - пробы, отобранные два раза в неделю - в каждый понедельник и пятницу;
- $C_2^{2,4}$ - то же, во вторник и четверг;
- $C_1^1, C_1^2, , C_1^3, C_1^4, C_1^5$ - пробы, отобранные один раз в неделю - в понедельник, вторник, среду, четверг и пятницу, соответственно.

Б.4. Затем для каждой выборки, в соответствии с формулой Б.1 вычисляем средние значения $\overline{C_2^{1,5}}, \overline{C_2^{2,4}}, \overline{C_1^1}, \overline{C_1^2}, \overline{C_1^3}, \overline{C_1^4}, \overline{C_1^5}$, где в приведенных обозначениях верхний индекс означает дни недели (с понедельника по пятницу), нижний - количество проб, отобранных за неделю.

Б.5. Определяем погрешность, вносимую различной периодичностью отбора проб, C_V^X по сравнению с ежедневным отбором проб $\overline{C_1^{(1-7)}}$ по формуле:

$$\overline{\Delta C_V^X} = \left| \frac{\overline{C_V^X} - \overline{C_1^{(1-7)}}}{\overline{C_1^{(1-7)}}} \right|, \qquad (Б.2)$$

Б.6. Исходя из допустимых погрешностей $\Delta_{РК}$ - неопределенность распространения результатов систематических измерений операционной величины на объект контроля (погрешность организации контроля, обусловленная его представительностью - $\Delta_{РК} = \overline{C_V^X}$), $\Delta_{ОПЕР}$ - погрешность определения операционной величины (объемного содержания трития в пробах мочи и конденсата) согласно МВИ (см. Приложение А), с учетом трудозатрат на проведение контроля выбирается оптимальное значение периодичности отбора проб.

Б.7. При периодичности отбора проб конденсата, мочи у всех работников, работающих с тритием *не реже двух раз в неделю - исследование по пунктам (Б.1 - Б.6) можно не проводить.*

Приложение В (Обязательное)
Определение среднегодового удельного содержания окиси трития в организме человека

В.1. При индивидуальном контроле производится измерение удельного содержания трития в жидкой фазе организма (моча, конденсат выдыхаемого воздуха). Для расчета дозы *внутреннего облучения человека в Зв необходимо знать годовое допустимое содержание* трития в организме человека, соответствующее пределу дозы. Расчет допустимого содержания трития в организме человека при дозе 20 мЗв/год представлен ниже.

В.2. При расчете среднегодовой концентрации трития в жидкой фазе организма приняты следующие исходные данные:

В.2.1. Время работы персонала в течение календарного года составляет (без учета отпуска) при непрерывной работе 47,2 недели (1700 час/36 часов/неделя) или 330 дней ($2{,}75 \cdot 10^7$ сек).

В.2.2. Критическим органом являются мягкие ткани человека, масса которых, за исключением массы костей (7 кг для стандартного человека), составляет $6{,}3 \cdot 10^4$ г (70 кг - 7 кг), так как при равномерном распределении окиси трития в жидкой фазе организма принимается, что происходит практически равномерное облучение всех мягких тканей.

В.2.3. Средняя энергия испускаемого бета-излучения трития на 1 Бк (E_β) составляет $E_Р$ = 5,54 кэв.

В.2.4. Коэффициент качества излучения трития равен 1.

В.2.5. Доза, создаваемая в организме человека $R_г$ на 1 Бк, будет равна:

$$R_г = 1{,}6 \cdot 10^{-10} \frac{E_\beta}{M} = 1{,}6 \cdot 10^{-10} \frac{5{,}54 \cdot 10^{-3}}{6{,}3 \cdot 10^4} = 1{,}41 \cdot 10^{-17}\ Зв/распад,$$

где: $1{,}6 \cdot 10^{-10}$ - переходный коэффициент от МэВ/г к Гр; $\bar{E} = 5{,}54 \cdot 10^{-3}$ - средняя энергия бета-частиц трития, МэВ.

В.2.6. Масса воды, содержащаяся в организме стандартного человека, равна $4{,}3 \cdot 10^4$ г (43 л).

В.2.7. Период полувыведения окиси трития равен $T_{1/2}$ = 10 суток.

В.2.8. Предел дозы внутреннего облучения организма в течение времени работы за год составляет 20 мЗв. Тогда усредненная за год мощность дозы внутреннего облучения тритием (ΔР) будет равна:

$$\Delta P_г = \frac{20 \cdot 10^{-3}\ Зв}{2{,}75 \cdot 10^7\ с} = 7{,}27 \cdot 10^{-10}\ Зв/с.$$

В.3. Содержание трития в жидкой фазе организма (q) будет равно:

$$q = \frac{\Delta P}{R_г} = \frac{7{,}27 \cdot 10^{-10}}{1{,}41 \cdot 10^{-17}} = 5{,}2 \cdot 10^7\ Бк\ (1{,}4\ мКи).$$

В.4. Объемное содержание трития жидкой фазе (q) равно

$$q = 5{,}2 \cdot 10^7 \text{ Бк} / 43 \text{ л} = 1{,}2 \cdot 10^6 \text{ Бк} / \text{л} \ (3{,}2 \text{ Ки} / \text{л}).$$

В.5. При расчетах удельного содержания трития в жидкой фазе не учтена доза облучения за счет трития, остающегося в организме на конец текущего года по следующим причинам:

- для вновь поступающих на работу в течение текущего года, содержания трития в организме у которых в момент начала работы нет, доза за счет распада, оставшегося на конец первого (части первого) года облучения трития, будет компенсироваться за счет накопления его в начальный период работы;
- для продолжающих работу с тритием - будет учтена в следующем году;

В.6. Для прекращающих работу необходимо учитывать дозу облучения тритием до полного выведения его из организма.

В.7. Для оптимизации текущего контроля внутреннего облучения персонала тритием контрольные уровни удельного содержания трития в жидкой фазе организма равны:

- *уровень регистрации* $У_{Руд}$, *равный* $6 \cdot 10^4$ *Бк/л* ($1{,}6 \cdot 10^{-6}$ *Ки/л*);
- уровень исследований $У_{Иуд}$, равный $3 \cdot 10^5$ Бк/л ($8{,}0 \cdot 10^{-6}$ Ки/л);
- уровень вмешательства $У_{Вуд}$, равный $6 \cdot 10^5$ Бк/л ($1{,}6 \cdot 10^{-5}$ Ки/л).

Приложение Г (Справочное)
Пределы доз облучения персонала

В соответствии с НРБ-99 представлены категории облучаемых лиц и пределы доз для профессиональных работников.

Г.1. Устанавливаются следующие категории облучаемых лиц:

- персонал (группа А и Б);
- все население, включая лиц из персонала, вне сферы и условий их профессиональной деятельности.

Г.2. Для категорий облучаемых лиц устанавливаются три класса нормативов:

- основные пределы доз (ПД);
- допустимые уровни монофакторного воздействия для отдельных радионуклидов (пути поступления или иного воздействия, являющиеся производными от основных пределов доз);
- контрольные уровни (дозы, уровни, активности, плотности потоков и др.). Их значения должны учитывать достигнутый уровень радиационной безопасности и обеспечивать условия, при которых радиационное воздействие будет ниже допустимого. Для персонала группы А установлены следующие основные пределы доз:
- эффективная доза: 20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год;
- эффективная доза за год:
  - в хрусталике глаза - 150 мЗв;
  - в коже - 500 мЗв;
  - в кистях и стопах - 500 мЗв.

Для персонала группы Б допустимые уровни облучения составляют 1/4 от уровней персонала группы А.

Г.3. Основные пределы доз облучения не включают в себя дозы от природного и медицинского облучения, а также дозы вследствие радиационных аварий.

Для трития и его соединений НРБ-99 в приложении Г установлены следующие нормативы для профессиональных работников группы А:

Таблица Г.1. *Значения дозовых коэффициентов, пределов годового поступления с воздухом и допустимой среднегодовой объемной активностью в воздухе для соединений трития*

Соединение трития при ингаляции	Дозовый коэффициент при поступлении с воздухом $e^{ВНУТР}_{Н-3}$, Зв/Бк	Предел годового поступления $ПГП_{ПЕРС.}$, Бк/год	Контрольный уровень КУ содержания НТО в организме, Бк, (объемное содержание в жидкой фазе организма, Бк/л)*	Допустимая среднегодовая активность в воздухе, $ДОА_{ПЕРС.}$, Бк/м^3
Пары тритированной воды (НТО)	$1{,}8\cdot10^{-11}$	$1{,}1\cdot10^{+9}$	$2{,}6\cdot10^{+7}$	$4{,}4\cdot10^{+5}$
Тритированный метан (CH_3T)	$1{,}8\cdot10^{-13}$	$1{,}1\cdot10^{+11}$	$6{,}0\cdot10^{-5}$	$4{,}4\cdot10^{+7}$
Газообразный тритий (НТ)	$1{,}8\cdot10^{-15}$	$1{,}1\cdot10^{+13}$		$4{,}4\cdot10^{+9}$
* Приведен для содержания трития в жидкой фазе организма.				

Для оптимизации индивидуального контроля внутреннего облучения персонала по результатам измерения содержания трития в жидкой фазе организма, расчетным методом определено среднегодовое содержание его в жидкой фазе и организме в целом, приводящим к облучению 20 мЗв в год и равное: $1{,}2\cdot10^{6}$ Бк/л ($3{,}2\cdot10^{-5}$ Ки/л); $5{,}2\cdot10^{7}$ Бк (1,4 мКи),

соответственно.

При среднегодовом уровне активности в организме человека, равном КУ, эффективная доза облучения будет составлять 10 мЗв в год.

Приложение Д (Обязательное)
Расчет дозы облучения по результатам измерения удельного содержания трития в жидкой фазе организма

При текущем контроле индивидуальная доза внутреннего облучения работника определяется ежеквартально следующим образом:

Д.1. Определяется среднее за квартал удельное содержание трития в жидкой фазе организма контролируемого работника ($q_{ОРГ}$) по соотношениям:

- при равномерной периодичности отбора проб - $\overline{C} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^{n} C_j$. (Д.1)

- при неравномерной периодичности отбора проб, когда интервал времени между отборами проб не постоянен - $\overline{C} = \sum_{j=1}^{n} C_j \cdot \Delta t_j \Big/ \sum_{j=1}^{n} \Delta t_j$, (Д.2)

где: n - количество измерений содержания трития в течение квартала; C_j - содержание трития в пробе, Бк/л; Δt_j - интервал времени между отбором предыдущей и i-й пробы (сутки/часы).

Д.2. Определяем индивидуальную дозу облучения ($E_{КВ}$) за квартал по соотношению:

$$E_{КВ} = K \cdot T_{КВ} \cdot \overline{C_{КВ}}, Зв \qquad (Д.3)$$

где: $T_{КВ}$ - время работы в течение квартала (за период контроля), сутки; $\overline{C_{КВ}}$ - средняя удельная концентрация содержания трития в пробах конденсата или мочи за квартал, Бк/л; $K = 5{,}05 \cdot 10^{-11}$ (Зв/сутки)/(Бк/л) - коэффициент равный дозе облучения человека за одни сутки при единичной удельной концентрации (1 Бк/л) трития в организме человека:

$$K = \frac{0{,}020\ Зв}{1{,}6 \cdot 10^{6}(Бк/л) \cdot 330(сут)} = 5{,}05 \cdot 10^{-11}(Зв/сут)/(Бк/л).$$

Д.3. При прекращении контакта с источником поступления трития в организм (при уходе работника в отпуск, а также в случае аварийного поступления трития) доза облучения за время полного выведения трития из организма вычисляется по соотношению:

при уходе в отпуск $E_{ОСТ} = 43 \cdot C \cdot e_{НТО}^{ВНУТР}$, (Д.4)

где: 43 - содержание воды в организме стандартного работника, л; $e_{НТО}^{ВНУТР} = 1{,}8 \cdot 10^{-11}$ Зв/Бк - дозовый коэффициент (см. приложение Г); С - удельное содержание трития в жидкой фазе организма при последнем измерении перед прекращением контакта с источником поступления трития в организм, Бк/л.

Приложение Е (Обязательное)
Измерение объемной активности в водных пробах организма

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

В настоящих МУ предлагается определять содержание трития в пробах конденсата выдыхаемого воздуха и пробы мочи.

Порядок отбора и измерения проб рассматривается ниже.

Е.1. Отбор проб.

Е.1.1. Отбор проб для определения содержания трития в организме должен производиться:

- в специально оборудованном, чистом, не загрязненном тритием, помещении, расположенном вне производственного здания или в «чистой» зоне производства, где проводятся работы с тритием;
- при текущем контроле - не ранее, чем через 2 часа после окончания работы с тритием и выхода из грязной зоны. Поэтому можно рекомендовать отбирать пробы перед началом смены;
- при аварийном контроле, когда по результатам контроля содержания трития в воздухе рабочих помещений поступление трития в организм отдельных работников может значительно превышать годовое, для оценки поступления трития. Первый отбор проб производится через 30–40 минут после выхода из грязной зоны. Второй - для уточнения величины аварийного поступления трития в организм - через 2–4 часа;
- объем пробы зависит от удельного содержания трития в пробе и чувствительности, используемой для измерения трития в пробах, но должен быть не менее 2–3 мл для конденсата выдыхаемого воздуха и не менее 20–30 мл для проб мочи;
- периодичность отбора проб, для определенного вида, определяется Программой проведения контроля, разрабатываемой в соответствии с Приложением Б настоящих МУ.

Е.1.2. Отбор проб конденсата выдыхаемого воздуха.

Е.1.2.1. При отборе проб конденсата выдыхаемого воздуха необходимо исключать попадание в пробу слюны, которая может вызывать гашение сцинтилляций при измерении содержания трития на жидкостном сцинтилляционном счетчике.

Е.1.2.2. Отбор проб конденсата паров воды из выдыхаемого воздуха производится следующим образом: выдыхаемый воздух через трубки поступает в охлаждаемую до температуры значительно ниже температуры выдыхаемого воздуха (температуры тела человека) сосуд, где происходит полное или частичное вымораживание паров воды. При получении необходимого объема воды в охлаждаемом сосуде отбор пробы прекращается.

Е.1.2.3. Рекомендуемая схема установки приведена на рис.Е.1.

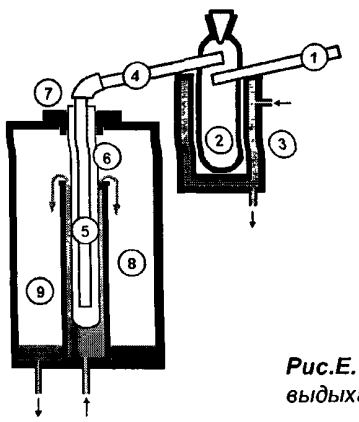

Рис.Е.1. *Установка для отбора проб конденсата выдыхаемого воздуха*

При отборе проб выдыхаемый воздух проходит через стеклянный мундштук (1), брызгоулавливатель (2), помещенный в обогреватель (3). При этом капли слюны оседают в брызгоулавливателе, а выдыхаемый воздух по стеклянной трубкам (4) и (5), соединенным с брызгоулавливателем резиновыми трубками, поступает в пробирку (6), закрепленную с помощью резинового кольца (7) в холодильнике (8), размещенном в бачке (9). Обогреватель брызгоулавливателя нагревается горячей водой (температура 50–60 °С), пробирка охлаждается холодной водой при температуре (10–14) °С подаваемыми из сети горячего и холодного водоснабжения.

После отбора проб установка разбирается. Отсоединяется мундштук и трубка (4) от пробоотборника и извлекается трубка (1) из пробирки. Пробирка извлекается из холодильника, закрывается резиновой пробкой и, с соответствующей маркировкой, передается на измерение содержания трития в пробе. Пробы конденсата выдыхаемого воздуха после отбора не требуют дополнительной обработки при приготовлении счетных образцов. Брызгоулавливатель и трубки направляются на дезактивацию.

Для следующего пробоотбора собирается установка с использованием новых (прошедших дезактивацию) брызгоулавливателей и соединительных трубок.

Е.1.3. Отбор проб мочи.

Е.1.3.1. Отбор проб мочи производится следующим образом:

• небольшую часть мочи (10–20) мл сливают в унитаз;

• после этого мочу, объемом (20–30) мл, отбирают для анализа в промаркированные стеклянные банки объемом 50–100 мл с плотно закрывающимися крышками.

Е.1.3.2. Пробы мочи, при непосредственном введении в жидкий сцинтиллятор, могут вызывать дополнительное гашение (по сравнению с дистиллированной водой) за счет цвета и наличия химических примесей. Поэтому, особенно если используется установка без автоматического определения пробы, необходима подготовка проб при приготовлении счетного образца, которая заключается в осветлении и освобождении от химических примесей.

Е.1.3.3. Осветление проб производится следующим образом:

• в пробу мочи объемом 15–20 мл вносят 1 г активированного угля, перемешивают и нагревают в течении 10–15 минут без кипения (на водяной бане);

• пробу охлаждают и фильтруют через фильтр синяя, белая лента;

• осветленную пробу передают на измерение.

Е.1.3.4. Освобождение от химических примесей производится путем дистилляции пробы при температуре 80–90 °С. При этом отбирается проба мочи объемом 10–15 мл и для исключения фракционирования трития производится полная перегонка пробы. В полученном дистилляте пробы мочи производится измерение содержания трития.

Е.2. Измерение проб.

Е.2.1. Измерение содержания трития производится на жидкостной сцинтилляционной установке методом сравнения скорости счета от измеряемой пробы со скоростью счета стандартного образца следующим образом:

Е.2.1.1. Готовятся счетные образцы пробы: фоновый и стандартный следующим образом:

• в измерительную кювету пипеткой (микропипеткой) вводится определенный объем отобранной пробы;

• затем в кювету с помощью пробоотборника (дозатора) вводится также фиксированный объем жидкого сцинтиллятора (коктейля);

• кювета закрывается пробкой и тщательно перемешивается. Счетный образец готов к измерению;

• аналогично готовятся фоновый и стандартный образцы, но вместо пробы в фоновый образец вносится чистая, не содержащая трития, вода, а в стандартный - стандартный образец тритиевой воды СОТВ, представляющий собой раствор оксида трития в дистиллированной воде, что обеспечивает идентичность образцов по составу.

Е.2.1.2. Измеряется скорость счета от приготовленных образцов в следующей последовательности: фонового образца ($n_Ф$), стандартного ($n_{ст}$) и исследуемой пробы ($n_{пр}$) и вычисляется объемное содержание трития в пробе ($С_{ПР}$) по соотношению:

$$C_{ПР} = C_{СТ}\frac{n_{ПР} - n_{Ф}}{n_{СТ} - n_{Ф}}, \text{ Бк/л} \qquad (Е.1)$$

где: $C_{СТ}$ - объемное содержание трития, введенного в стандартный образец (СОТВ), Бк/л.

Е.2.1.3. Жидкостной сцинтилляционный счетчик должен обеспечивать измерение объемного содержания трития в пробах мочи и конденсата не ниже, чем 0,1 $У_Р$, или меньше $3 \cdot 10^3$ Бк/л с относительной погрешностью в доверительном интервале 95% не более ±50%.

Е.2.1.4. Рекомендуемая аппаратура для измерения содержания трития в пробах приведена ниже.

1. Автоматизированный портативный радиометр низкоэнергетических радионуклидов трития, углерода-14, фосфора-32 и др. РКБ-05П (ПРТ-1М).

Основные характеристики:

- диапазон измерения активности трития в пробах воды в жидком сцинтилляторе объемом до 10 мл - $(1,0–1 \cdot 10^4)$ Бк при объемной активности ($5 \cdot 10^2–5 \cdot 10^6$, Бк/л);
- общее время измерения до 100 мин;
- автоматическое измерение до достижения заданной погрешности (5–20%);
- время непрерывной работы, не менее, часов:
  - *с аккумулятором* EX-5P C 8
  - с сетевым питанием 24
- масса прибора, не более, 10 кг.

Прибор обеспечивает: автоматическое представление на жидко-кристаллическом дисплее результатов и погрешности измерений; запоминание 32 результатов измерений с передачей данных по интерфейсу RS-232 при подсоединении к ПК. Поставщик - изготовитель прибора АОЗТ «СНИИП-АВЕРС» (МАЭ РФ, Москва).

2. Низкофоновый альфа/бета жидкостной сцинтилляционный счетчик Tri-Carb 2700 SR.

3. Ультранизкофоновый жидкостной сцинтилляционный счетчик Tri-Carb 2750 TR/LL.

Счетчики состоят из контролируемого компьютером настольного жидкостного сцинтилляционного анализатора, специально разработанного для обсчета образцов с предельно низкой активностью и анализа альфа-, бета-излучающих радионуклидов.

Эффективность регистрации трития может достигать 66%. Средняя величина фона - 17,3 имп./мин. Минимальная регистрируемая объемная активность порядка 1 Бк/л. Счетчик укомплектован реверсивным конвейером на 408 стандартных флаконов объемом 20 мл.

Правильная идентификация образцов обеспечивает вывод номера протокола, номера кассеты, номера образца и задаваемых пользователем параметров, а также сохранение в файле данных и информации о времени счета для каждого образца.

Эти счетчики поставляются фирмой PACKARD (США). Жидкостные сцинтилляционные счетчики для регистрации трития, близкие по параметрам счетчиков фирмы PACKARD, поставляет финская фирма Pribori Oy, являющаяся представителем фирмы WALLAC.

4. Жидкостной сцинтилляционный счетчик для регистрации альфа-, бета-активных нуклидов WinSpec.

5. Жидкостной сцинтилляционный счетчик для регистрации альфа-, бета-излучающих нуклидов Quantulus.

Эффективность регистрации трития - 20%, фон 1–4 имп./мин, минимальная регистрируемая объемная активность может достигать 1–2 Бк/л.

Жидкостные счетчики 2–5, позволяющие регистрировать низкие уровни трития, могут использоваться также для контроля содержания трития в объектах внешней среды, продуктах питания и т.п.

Приложение Ж (Рекомендуемое)
Экспресс-метод оценки дозы облучения оксидом трития

Ж.1. Оценка поступления оксида трития в организм и дозы облучения человека производится по результатам измерения содержания трития в воздухе с помощью носимых индивидуальных пробоотборников оксида трития, изображенных на рис.Ж.1.

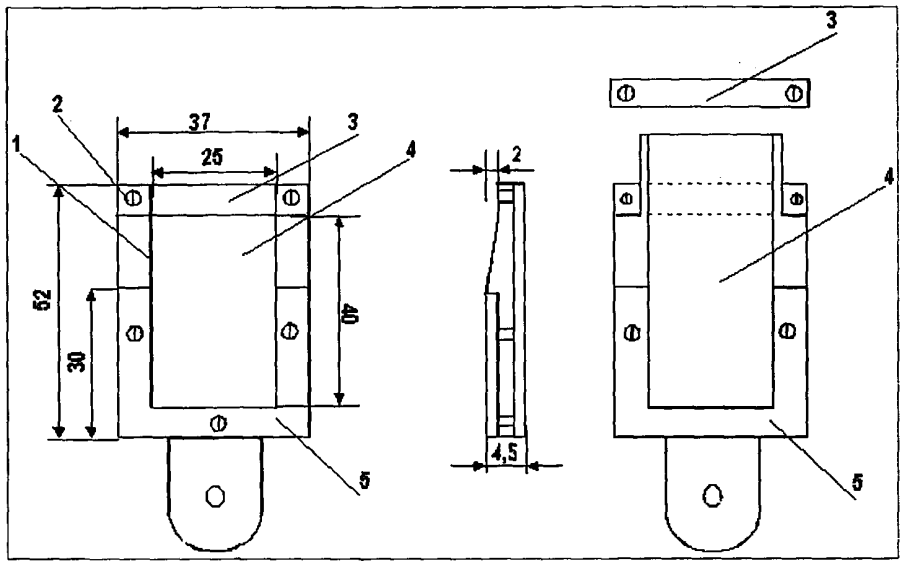

Рис.Ж.1. *Общий вид диффузионного прибора.*

Основным элементом прибора является пакет (4), заполняемый дистиллированной водой, закрепленный на основании (5) с помощью рамки (1) и болтов (2). Герметизация пакета после заполнения водой (2 мл) осуществляется планкой (3) и винтами (2).

При экспозиции прибора в среде (воздух), загрязненной НТО, последняя, путем диффузии поступает во внутреннюю полость и растворяется в дистиллированной воде. После экспозиции в лаборатории измеряется удельная активность НТО в воде прибора. Концентрация оксида трития в воздухе ($C_{ВОЗД}$) вычисляется по формуле:

$$C_{ВОЗД} = \frac{k \cdot C_{ПР}}{t_{ЭКСП}}, \qquad (Ж.1)$$

где: $C_{ВОЗД}$ и $C_{ПР}$ - объемное содержание трития в воздухе и в воде пробоотборника, соответственно, Бк/л; k - градуировочный коэффициент, час; $t_{ЭКСП}$ - время экспозиции прибора, час.

Градуировочный коэффициент определяется экспериментально, при экспозиции (выдержке) прибора в среде с известным содержанием НТО в течение времени $t_{ЭКСП}$. После измерения содержания НТО в воде прибора вычисляется k по формуле:

$$k = \frac{C_{ВОЗД} \cdot t_{ЭКСП}}{C_{ПР}}, \qquad (Ж.2)$$

Для прибора, изображенного на рис.Ж.1, приводятся следующие, полученные экспериментально, характеристики:

- материал пакета - пленка ПВХ, рецептуры 80/277[1], толщиной $2{,}25 \cdot 10^{-2}$ см;

[1] Для различных партий материала градуировочный коэффициент может отличаться в два раза. Поэтому для каждой партии материала градуировочный коэффициент следует определять экспериментально.

- рабочая поверхность пакета - 20 $см^2$;
- сорбент НТО - дистиллированная вода, объемом 2,2 мл;
- рабочая температура - +20±10 °С;
- относительная влажность - 0–100%;
- минимальное (максимальное) время экспозиции - 0,5 ч (7 суток);
- градуировочный коэффициент - $2 \cdot 10^{-2}$.

Ж.2. При известной концентрации оксида трития в воздухе поступление в организм может быть вычислено по формуле:

$$П = (V_Л + V_К) \cdot C_{ВОЗД} \cdot t_{РАБ}, \qquad (Ж.3)$$

где: $C_{ВОЗД}$ - содержание НТО в воздухе, $Бк/м^3$;

$V_Л = 1,2$ - вентиляция легких, $м^3$/час;

$V_К = V_Л/2 = 0,6$ - поступление НТО через кожу из воздуха, $м^3$/час;

$t_{РАБ}$ - время работы в часах.

Ж.3. Контроль с использованием индивидуальных диффузионных приборов целесообразно проводить на работах, где возможно высокое поступление НТО в организм, так как здесь не надо ожидать равномерного распределения оксида трития в организме (2–4 часа) после окончания работы с тритием.

Ж.3.1. Определение поступления НТО в организм экспресс методом производится следующим образом:

• перед началом работы выдаются работнику два прибора, которые закрепляются на груди и на спине;

• после окончания работы - забираются приборы и производится измерение содержания трития в их воде;

• вычисляется поступление НТО в организм путем совместного решения уравнений (Ж.1 и Ж.3):

$$П = (V_Л + V_К) \cdot 10^3 \cdot k \cdot C_{ПР}, \qquad (Ж.4)$$

где: 10^{-3} - коэффициент, согласующий размерности единиц.

После подстановки $V_Л$, $V_К$ и k получим:

$$П = 18 \cdot C_{ПР}. \qquad (Ж.5)$$

Ж.3.2. Ожидаемая доза облучения организма будет равна

$$E = П \cdot e_{Н-3}^{ВНУТР} = 32,4 \cdot C_{ПР}, \qquad (Ж.6)$$

где: $e_{Н-3}^{ВНУТР} = 1,8 \cdot 10^{-11}$ - дозовый коэффициент, Зв/Бк.

Ж.3.3. Экспериментально определенная погрешность оценки дозы этим методом составляет 50–60%.

Приложение И (Рекомендуемое)
Рекомендации по снижению дозы облучения персонала при аварийном (повышенном) поступлении трития

Доза облучения человека тритием, поступившим в его организм, может быть вычислена по формуле:

$$Д_2 = П \cdot P_i \cdot \int_0^{\tau} \exp(-0{,}693 \cdot t / T_{1/2})\, dt,$$

где: П - поступление трития в организм, Бк; P_i - мощность дозы облучения человека на 1 Бк/с, равная $1{,}41 \cdot 10^{-17}$ Зв/Бк; $\exp(-0{,}693 \cdot t/T_{1/2}) = T_{1/2}/0{,}693$ - функция удержания, равная количеству распадов за время выведения трития из организма, Бк; $T_{1/2}$ = 10 сут = $8{,}64 \cdot 10^5$с - период полувыведения трития из организма; τ - принимается для персонала - 50 лет, для трития достаточно 2–3 мес.

Тогда доза облучения за время полного выведения трития из организма, равная $Д = П \cdot 1{,}41 \cdot 10^{-17} \cdot T_{1/2}/0{,}693$, будет прямо пропорциональна длительности периода полувыведения, следовательно, уменьшая период полувыведения трития можно снизить дозу облучения тритием, получаемую за время выведения его из организма. В работе Pinson E.A. and Langham W.H. приводится случай: период полувыведения трития из организма человека при поступлении воды в количестве 2,7 л/сутки составлял примерно 10 суток. При увеличении поступления воды до 12,8 л/сутки период полувыведения уменьшился примерно до 2,4 суток. При круглосуточном введении этого количества воды период полувыведения уменьшился бы до 1,5 суток.

При заражении человека тритием МКРЗ (NCRR 1980) рекомендует:

1. Прием жидкости через рот (например, воды, фруктового сока, чая, кофе или пива) в количестве 3...4 л/день.

2. Капельное вливание 5%-ой глюкозы или физиологического раствора под наблюдением врача параллельно с ежедневным контролем мочи.

В работе (Shigefumu Orade 93 г) описывается эффективность форсирования диуреза применением изотопического физиологического раствора с 5%-ой глюкозой, 20 мл хлорида калия и фуросемида у работников, зараженных тритием.

В соответствии с вышеизложенным рекомендуется:

1. При разовом поступлении трития в организм равном $П_i < 1{,}1 \cdot 10^9$ Бк работника направлять в поликлинику (здравпункт) для увеличения скорости объема воды в его организме, путем введения мочегонных, потогонных препаратов.

2. Ежедневно (или 2 раза в сутки) отбирать и анализировать у него пробы мочи или конденсата выдыхаемого воздуха до снижения объемного содержания трития в жидкой фазе организма до $1{,}2 \cdot 10^6$ Бк/л.

3. Расчет дозы облучения человека проводить по результатам ежедневного контроля (см. формулы 5.1 и 5.2 приложения В) или по формуле:

$$E = (П_{НАЧ} - П_{ОСТ}) \cdot e_{H-3}^{ВНУТР} \cdot \frac{T_{1/2\,ФАК}}{10} + П_{ОСТ} \cdot e_{H-3}^{ВНУТР}, \qquad (И.1)$$

где: $П_{НАЧ}$ и $П_{ОСТ}$ - содержание трития в организме начальное и оставшееся после форсирования водного обмена, соответственно; $e_{H-3}^{ВНУТР} = 1{,}8 \cdot 10^{-11}$ Зв/Бк - дозовый коэффициент; $T_{1/2ФАК}$ - период полувыведения, определенный по результатам ежедневного контроля при форсировании водного обмена, сутки.

Приложение К (Справочное) Библиография

Публикация 56 МКРЗ: Age - Dependent Doses to Members of the public from Intake of Radionuclides: Part 1, ICRP Publication No. 56, Ann. ICRP 202, Pergamon Press, Oxford, 1989.

Публикация 60 МКРЗ: Радиационная безопасность. Рекомендации МКРЗ 1990г. Пределы годового поступления радионуклидов в организм работающих, основанные на рекомендациях 1990г. Перевод с английского, М., Энергоатомиздат, 1994г.

Публикация 67 МКРЗ: Age - Dependent Doses to Members of the public from Intake of Radionuclides: Part 2, Ingestion Dose Coefficients, ICRP Publication No. 67. Ann. ICRP 23 3/4, Elsevier Science, Oxford, 1993.

Публикация 71 МКРЗ: Age - Dependent Doses to Members of the public from Intake of Radionuclides: Part 4, Inhalation Dose Coefficient, ICRP Publication No. 71. Ann. ICRP 26, Elsevier Science, Oxford, 1996.

Balonov M. I.; Likhtarev I.A. The metabolism of H-3 compounds and limits for intakes by Workers. Healt Phys 47; 761-771; 1984.

Pinson E.A.; Langham W.H. Physiology and toxicology tritium in man. Healt. Phys. 38: 1087-1110 80.

Robin L.Hill and John R. Johnson. Metabolism and dosimetry tritium. Health. Phys v.65 N 6. 628-647.

NCRP: Report N 65; 1980-106-108, 135.

Shigefumi Orad and Noriyuk; Momoshima Overview of tritium: characteristics, sources, and Problems. Health, Phys. V 65, N 6, 1993.

Нормы радиационной безопасности (НРБ-99): Гигиенические нормативы. СП-2.6.1-758-99. М.: Минздрав России, 1999, 116 с.

Зыков В.М., Гаевой В.К., Куколкин А.А., Гришмановский В.И. Контроль содержания трития в организме и оценка дозы внутреннего облучения тритием. «Дозиметрический и радиационный контроль при работах с радиоактивными веществами и источниками ионизирующего излучений». Методическое руководство. Том 2. Индивидуальный контроль. Радиометрия проб. (под редакцией В.И. Гришмановского) Энергоиздат, 1981г., с. 128.

Гаевой В.К., Беловодский Л.Ф., Гришмановский В.И., Нефедов Н.В. Экспрессная оценка поступления окиси трития в организм человека. Там же, с. 137.

Антошкин А.И., Гаевой В.К., Гришмановский В.И., Ромашова Л.И. Относительные измерения объемной активности окиси трития в водных пробах. Там же, с. 176.

Беловодский Л.Ф., Гаевой В.К., Гришмановский В.И. Тритий. М., Энергоатомиздат, 1985г. Балонов М.И. Дозиметрия и токсикология трития. М.: Энергоатомиздат, 1982г. Окись трития. Под ред. Ю.И. Москалева, М., Атомиздат, 1967.

gost.e-ecolog.ru